309.024

ATOMTECHNIKAI TÁJÉKOZTATÓ

1. ÉVF. 1. SZÁM 1958. ÁPRILIS

AZ
ORSZÁGOS ATOMENERGIA BIZOTTSÁG
MEGBÍZÁSÁBÓL KIADJA A
MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZET DOKUMENTÁCIÓS
CSOPORTJA

Fizikai Kutató Intézet
I/665/S/Sz.loo+15 példa. 160.old.

A T O M T E C H N I K A I T Á J É K O Z T A T Ó

1.évf. 1. szám. 1958. március

K i a d j a:
Az Országos Atomenergia Bizottság megbízásából a
MTA Központi Fizikai Kutató Intézete
Dokumentációs Csoportja.

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

T A R T A L O M :

Oldal

Az atomenergiával fejlesztett villamosáram költsége
- Goldring, M.B.A. 1

Hasadó fütőanyagok költségeiben mutatkozó bizonytalanság
- Nucleonics szerkesztősége 28

Szovjet atomerőművek főbb karakterisztikái előzetes tervek alapján 37

Szovjet atomerőmütervek 38

A reaktorépitás fejlődése az Egyesült Államokban .. 42, 73

Hütőrendszerek befolyása magreaktorok gazdaságosságára
- A. Setzwein 8o

Szerves folyadékokkal moderált és hütött teljesitményreaktor,
- H.Polak 97

Rádióizotópok tudományos kutatásban való alkalmazásának nemzetközi konferenciája 112

Egy hasadási plazmareaktor
- R.L. Aamodt 127

Termonukleáris fuzió 131

Hirek 147

I/665/S/Sz.

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

Mary Goldring, B. A.
Economics of Atomic Energy, Butterworths Scientific Publications
London, 1957 5. fej. 61-82 old.

Az atomenergiával fejlesztett villamosáram költsége

Amióta csak rájöttek arra, hogy atomhasadás utján villamosenergiát lehet fejleszteni, erősen sürgetik a szakembereket, hogy számokban fejezzék ki, mibe kerül az atomenergia fejlesztette villamosáram. Talán még tulságosan is sürgették őket. Rengeteg sok az olyan tényező, amely csak feltételezésen és elgondolásokon alapszik és az is marad, amig csak az atomerőmüveket ténylegesen fel nem épitették és üzembe nem helyezték, tehát sem a tudósoktól sem bárki mástól emberi számitás szerint nem várhatunk durva közelitéseknél többet. Különös ezzel szemben az a tény, hogy amenynyában szakemberek végeznek számitásokat az atomenergia költségével kapcsolatosan, a kapott számadatok mindennek mondhatók, csak durva becslésnek nem. Döntő határozottsággal állitják azt, hogy országunkban a legegyszerü tipusu atomerőmü által fejlesztett villamosáram költsége brutto o.73 d[+]/kWóra, vagy netto o.16d/kWóra/ ami a szokványos átlagos széntüzelésü erőmüvekkel fejlesztett villamosenergia ára/ miután tekintetbe vették az erőmü által egyuttal termelt plutonium értékét. A laikus erre mérhetetlenül csodálkozik, hogyan lehetnek ebben ilyen biztosak. Tényleg meg tudják állapitani előre a költségeket egészen egy penny századrészig? Miért igyekeznek számitásaikat két tizedes pontig terjedő pontosságig elvégezni, mikor bárki más ezt kilowattonként 3 farthing[++]ra kerekitette volna?

[+]d = penny = 1/12 shilling

[++]1 farthing = o.25 penny

I/665/S/Sz.

Eltekintve atomerőművek üzemeltetésének költségétől, két fontos tétel van, melyek az atomi villamosenergia árára döntő befolyást gyakorolnak, éspedig az uránium ára és a plutónium ára. Ennek a két fémnek nincsen szokványos értelemben vett piaci ára. Ára a szó szoros értelmében meg nem becsülhető. Nos, ha már most bárki is közelitő becslést akar végezni az atomi villamosenergia költségére vonatkozóan, valamiféle árat kell adnia ennek a két tételnek. Ezután már a tudósok kiszámolhatják a villamosáram költségét akár a penny két tizedéig terjedő pontossággal. Ha azonban számitásba vesszük, hogy az ilyen számitások mögött csupán hipotézisek állnak, maguk a szaktudósok sem várhatják, hogy számitásaikat tulkomolyan vegyék.

Eredetileg az atomenergia azért tünt fel rendkivül vonzónak, mert rendkivül kis sulyu üzemanyagból óriási hőenergiát igért. A legkorábbi, legkisebb hatásu erőművekben is egy tonna uránium képes lo.ooo tonna szén munkájának elvégzésére és olyan kaliberü tudósok mint Sir John Cockroft biznak abban, hogy a konstrukció javitásával egyetlen tonna uránium végülis egy millió tonna szén munkáját tudja majd elvégezni. A szükséges tüzelőanyagmennyiség ilyen csökkentésével várható annak a bonyolult közlekedési hálózat kiküszöbölhetősége, mely ma szükséges ahhoz, hogy ennyi tonna szenet évente az erőmüvek telepeire szállitsanak, ezzel megszünnének a nagy szénraktárak a kazánházak körül és ezáltal lehetségessé válik, hogy elektromos áramot termeljenek a szokványos üzemanyagforrásoktól, /szénbányáktól, olajmezőktől és finomitóktól/ távoli vidékeken is. Atomerőművek beruházási költsége várhatóan nagyobb, mint a szokványos széntüzelésü erőmüvekó, de a telep üzemi költsége, különösen pedig kis üzemanyagköltsége ezt előreláthatóan ki fogja egyenliteni.

Mikónt számitsuk ki azonban az ilymódon termelt energia összköltségét? Az atomenergia költségét nem is tárgyalhatjuk teljességében. Három fokozatot különböz-

tetünk meg a költségek tárgyalásánál. Első népésként itt vannak azok az állomások, melyek most máris felépithetők. Hatásfokuk nem kiugróan jó, bekerülési áruk nagyjában versenyképes a széntüzelésü erőművekével, de csak olyan országokban, ahol a szén drága. A második fokon a reaktorok általános hatásfoka jóval nagyobb, mivel dusitott atomi üzemanyagot használnak, ami lehetővé teszi, hogy maga az erőmü növelje a hőmérsékletet és nyomást és ezáltal a költség csökken. A harmadik fokon az erőtelep ujfajta reaktortipust használ fel, kisméretü, kompakt szoritó máglyát, mely legalább annyi uj atomi fütőanyagot termel, mint amennyit eléget és az ilyen tipusu erőtelep villamosenergiafejlesztési költségei várhatóan nagy megtakaritásokat mutatnak.

A teljesitményreaktorok fejlődésében ez a három fokozat elég hosszu évek mulva követi egymást. Mig azonban a reaktorok tervezése ezalatt az időszak alatt radikálisan megváltozik, azok a tényezők, melyek egy atomerőmütelep költségét alkotják, nem fognak változni. Elsősorban tehát meg kell állapitanunk melyek ezek a tényezők, majd látni fogjuk, hogy ezek értéke a reaktortervezésben fellépő fejlődés folytán mennyire fog változni.

Épitési költségek.

A kézenfekvő kiindulási pont az épitkezési költség. Atomerőállomás létesitésénél a beruházási költség 6o százaléka a generátorok és turbinák, 4o százaléka pedig a reaktor és kazánjai épitésére megy, igen különböző becslések vannak azonban arra vonatkozólag, hogy mi lenne a telep felépitési költsége. Országunkban /Anglia/ a vállalatok nógy különálló csoportja versenyben egymással az Elektromos Ügyek Főigazgatósága által felállitandó első három atomerőmü terveinek elkészitésében. Az ajánlatok 1956 szeptember végén futottak be, a szerződésekről pedig 1956 vége felé adtak ki jelentést. Ezek 25o.ooo- 3oo.ooo kW teljesit-

mónyü erőmüvek lesznek és a beruházási költségük kilowattonként 100-145 angol fontot tesz majd ki, ami a tervezéstől függően brutto 35-40 millió fontot ad egy kész atomerőmüre számitva. Közönséges, széntüzelésü erőmü felépitésének költsége országunkban egy kilowattra számitva 60 font körül mozog, azaz kevesebb, mint az atomerőmüvek költségének kb. a fele. Kedvező helyeken a közönséges széntüzelésü erőmüvek épitési költsége egészen 50 fontig is csökkent. A szakemberek biznak abban, hogy az atomenergiatelepek beruházási költségét sikerül majd lecsökkenteni, de igen nehéz lesz ilyen nagy különbséget áthidalni. Fejlettebb tipusu reaktorok olyan technikai problémák megoldását kivánják, melyek csak igen költséges módszerekkel érhetők el.

Az általános vélemény az atomerőmü épitési költségeivel kapcsolatosan az USA-ban majdnem azonos fenti adatokkal. Konvencionális erőtelep épitésével kapcsolatos beruházási költség Amerikában L7o/kW. Tervezési tanulmányokban, különböző amerikai vállalatok atomerőmüvek felépitésének költségét általában L 9o és L13o per kW intervallumba esőnek. Ezek a számok általában optimistábbak mint a brit számitások, de nem alapulnak komoly, tényleges létesitmény felépitési munkájáért folyó versenyben tett ajánlaton. A költségek mindig kedvezőbbek papiron, mint gyakorlatban. Szakemberek egyetértő véleménye szerint mind itt, mint az USA-ban az atomi épitkezési költségek valamivel nagyobbak, mint a széntüzelésü erőtelepeké.

Ez a vélemény azonban korántsem általános. Az orosz tudósok ugyanis tényleges megtakaritásra számitanak fejtegetéseik alapján atomerőmüvek beruházási költsége tekintetében is. Azzal érvelnek, hogy épitési költség atomerőmüveknél annyival kevesebb, hogy ezáltal a felépitési költségnek is kevesebbnek kell lennie és a következő számadatokat hozzák fel ennek bizonyitására:

A Szovjetunióban 1oo.ooo kW teljesitményü széntüzelésü- és atomerőmühöz szükséges anyagok mennyiségének összehasonlitása:

Anyag vagy felszerelés	Széntüzelésü	Atomerőmü
Gép berendezés	2,7oo tonna	7oo tonna
Fémszerkezetek	1,25o tonna	9oo tonna
Hőállóanyagok	1,5oo tonna	5oo tonna
Szénmozgató gépezet, szállitó eszközök	2,8oo tonna	semmi
Beton	4,ooo m^3	9ooo m^3
Épületek /kivéve a turbinaházat/	75,ooo m^3	5o.ooo m^3
Telephely	37 hold	12 hold
Belső energiafogyasztás	8,ooo kW	5,ooo kW

Nyugati megfigyelő azt a megjegyzést tehetné, hogy egy tonna gépészeti berendezés egy atomerőmüben valószinüleg sokkal többe kerül, mint egy széntüzelésü erőmü gépészeti berendezés egy tonnája, de ez nem érvényteleniti teljesen az összehasonlitást. Semmit sem tudunk az orosz gépészeti költségekről, de mind a brit, mind az amerikai atomprogrammokkal kapcsolatos egynéhány gépészeti munka költsége rendkivül nagy volt, még atomi szinten is.

A szokásos kamatláb kihatása nem döntő tényező a költségek tekintetében, de teljesen nem mellőzhető. Hosszú lejáratu kölcsönök kamatlába közmüvek által történő kölcsönvevés esetében Angliában 1956-ban 4.5 % volt, ami évi 1,35o.ooo t-ől egészen 1,8oo.ooo fontig emelkedő kamatterhet jelent egy 3oo.ooo kW teljesitményü atomerőmü esetében, azaz 6 4,1os-től t 5,15s közötti összeget évente egy beruházott kW-ra esően. Kamatteher ugyanilyen teljesitményü széntüzelésü erőmünél 81o.ooo fontot vagy t 2.14 s/kW-t tenne ki évente. Olyan időkben, mikor

a pénz drága és a kölcsönzés nehéz, a nagyobb beruházási költség az atomerőmü ellen szól. Azok a müszaki emberek, akik igyekeznek atomerőmüveket létesiteni, legnagyobb erőkifejtésüket arra összpontositották, hogy ezt a beruházási költséget versenyképesebb szintre hozzák.

Üzemanyagköltség.

Ezek után most már az a kérdés, hogy mennyi üzemanyagra van szüksége a reaktornak és azt milyen áron lehet megvásárolni. Vegyük az egyszerü Calder Hall tipusu reaktort, mely természetes urániummal müködik. Az Atomenergiahatóság egy 3oo.ooo kW teljesitményü, két reaktorból álló berendezés egyszeri feltöltésének költségét 5oo tonna legyártott tápelem esetén tonnánként lo vagy 2o millió fontra becsüli kerek számban. Ez a nómileg spekulativ szám magában foglalja az összes költséget, nevezetesen a nyers érc rendkivül tiszta urániumfémmé való finomitásának, ennak a fémnek tápelemrudakba való alakitásának és a rudak speciális, a reaktormagba illeszthető tokokba való helyezésének költségeit. Hogy közelitőleg szemlóltessük, hogy ezek a költségek hogyan változhatnak megyjegyzzük, hogy a tokok nagytisztaságu aluminiumból, melynek tonnája 33o font, vagy tiszta cirkoniumból, melynek ára tonnánként 25.ooo font, vagy tonnánként loo.ooo fontba kerülő berilliumból készülhetnek. Egyszerüség kedvéért az üzemanyag számlát rendésen kerek számokban adjuk meg. Pontosan, üzemanyagra 29 fontot számitanak minden beruházott kilowattra esően, vagyis 8.7 milliót egy 3oo.ooo kW-s erőmü esetében.

Ismeretlen tényező az üzemanyag élettartama. Valamennyi eddig épitett nagyméretü reaktor, és ezek közé tartozik Windscale and Calder, plutonium-termelésre készültek. Tápelemeiket szándékosan rövid élettartamunak tervezték. Ezeket a reaktorból kiveszik, amint elég plutonium

koncentrálódott, melyet ezután kivonnak és a fennmaradó hasznos urániummennyiséget ujból kezelés alá veszik és visszahelyezik a reaktorba. Ha arra várnának, hogy a hasadó uránium nagyobb része felhasználódjók, az a veszély forogna fenn, hogy az értékes plutonium ennek a fémnek egy másik, nem hasadó alakjával, a fel nem használható plutónium 240-nel szennyeződik; ez továbbá azt jelentené, hogy évekig kellene várni, mielőtt egyáltalán lehetne a reaktorból plutoniumot kapni. Valamennyi ugynevezett, az Atomenergiahatóság által épitett erőmü, /kettő Calderben, másik kettő pedig Annan-ba Skóciában/, ezeken az elveken épülnek fel. Tulajdonképpen óriási plutoniumgyárak, melyek mellőktermékként villamosenergiát fejlesztenek. Egyáltalán nem gazdaságos energiatermelés céljából készültek és a terveknek az a jellegzetessége, mely nem teszi gazdaságossá a villamosenergia-termelésüket éppen a tápelemek eme gyors cserélési rendszere, hiszen ezeket átlagosan minden három hónapban kiveszik a reaktorokból. Ilyen okból kifolyólag Calder Hall költségei nem tekinthetők ugy, mintha egy elsősorban a Központi Villamosenergia Hatóság számára készült, plutoniumot csak mellőktermékként termelő erőtelepről volna szó.

Egy tisztán villamosenergiafejlesztésre szolgáló erőmünél az első 10 millió font értékü üzemanyagtöltést természetesen a lehető leghosszabb ideig kivánják használni. A tápelemek kémiai feldolgozása és kezelése jóval többe kerül mint maga az urániumfém, tehát ezt a költségtételt minimális szinten kell tartani. Nincsen biztos támpontunk arra vonatkozólag, hogy egy uránium tápanyagrud milyen hosszu ideig ad le hasznos hőmennyiséget. Mikor 155 elején az Angol Fehérkönyvet az atomenergiával kapcsolatban kiadták, találgatásképpen az üzemanyagtöltés élettartamát 3-5 évben adták meg, de amint a tervezés halad, két és fél év látszik a valószinübbnek. Egész nyersen azt mondhatjuk, hogy az üzemanyagköltség évente esetleg 2

millió fontra is lemehet, de könnyen kiteheti ennek az összegnek a kétszeresét is.

A becslések azért ilyen kétségbeejtően bizonytalanok, mivel a szakemberek még nincsenek tisztában azzal, hogy a tápelemek mikónt viselik el a reaktorban való folyamatos kitételt. Annyi minden történik, amitől az elemek sérülést szenvedhetnek és megzavarhatja a stacionárius láncreakciót, melytől az egész üzembentartás függ. Valahányszor egy urániumatom hasad, töredék részecskék maradnak utána. Ez a hasadási hulladék, az atomreaktor hamuja. Egy csésze eltörésekor, ottmarad egy halom törött porcelán. Egy tojás két megkülönböztethető egészre esik szét, mint a fehérje és a sárgája. Az uránium atom ezt a második elvet követi. A termókek nem törött urániumból, hanem egy sereg különböző elemből állnak, melyek ezelőtt nem voltak ószlelhetők. Legáltalánosabb hasadási termókek a stroncium és cézium, de található ott sok minden más is, közöttük xenon és kripton gáz. Amint ezek a hasadási termókek a tápelemrudakban felgyülemlenek, fokozatosan "mérgezik" a reakciót, azaz elkezdik a láncreakciót fenntartó neutronok mind nagyobb számban való abszorbeálását és ugyanakkor elkezdik feszíteni és nyujtani a fémet, melybe be vannak zárva. Különösen a gázok teszik ezt, mivel nagyobbra tágulnak, mint az eredeti uránium. Ha ezeket csak hamunak nevezzük, azt hihetnó az ember, hogy ártalmatlan üledók, a valóságban ezzel szemben sok kellemetlenséget okozhatnak.

Az uránium fütőanyag és külső tokja ugyancsak romlanak a hasadási folyamat és az ezt kisérő erős sugárzás okozta deformáció következtében. Ez a romlás a rudakon belüli fokozatos mérgezési folyamattal együttesen, azt jelenti, hogy a tápelemek hőkeltési cóla már nem lesznek alkalmasak jóval azelőtt mielőtt a bennük levő uránium utolsó hasadó atomja is hasadt volna. Eltömődnek hulla-

dóktermókekkel, vagy sugárzás ós belső feszültsóg következtóben repednek meg és deformálódnak.

Vissza kell most tórnünk az angol becslésekhez, mivel itt gyakorlatilag több munkát végeztek, mint bárhol másutt az ilyen korai reaktorokból nyerhető, értókesithető atomenergiával kapcsolatban. Sir Joh Cockcroft számitása szerint az első urániumtöltések élettartama 3ooo mW nap per tonna, azzal a komoly fenntartással, hogy bizonyos időnek el kell telnie, amig ezt a számot elérjük. Ez nem azt jelenti, mintha egész 3oo.ooo kW erőmü egy nap alatt egy mázsa urániumot használna fel, ez egyszerüen nem más, mint a reaktor hőmennyiségónek mórtóke. Hogy ebből a hőből mennyi villamos energia termelhető, az a mórnökök ügyességótől függ, mellyel ezt a máglyán átáramló hütőközegre át tudjuk vinni.

Ezt a számitást ugy kell tekintenünk, mint a világ egyik vezető atomfizikusának a jövőre vetitett kalkulációját. Ami a pontos tervezósi számadásokat illeti, az elmóleti tudósok nem tudtak semmiféle pontos adatot előirni az Elektromos Hatóság számára tónyleges reaktorok tervrajzain dolgozó mórnököknek, bár ezek a reaktorok lesznek az elsők, melyeket speciálisan a maximális üzemanyag-élettartam szemelőtt tartásával terveznek, a maximális lutónium termelós elóróse helyett. Igy az erőmüvek üzemanyagköltségónek kórdóse függőben marad. Ez a megoldás egyáltalán nem kielógitő, mivel kótségkivül a fütőanyag egyik legdöntőbb tónyező, mely az atomenergia költségót megszabja.

Összköltség.

Az Angliában óptendő első tisztán villamosenergia értókesitósóre kószülő erőtelepekről kikerülő áram költségót az Atomenergiahatóság vezető gazdasági tanácsadója J.A. Jukes a következőképpen bontja fel. A Köz-

ponti Villamosenergia Hatóság számára a négy ipari csoport által készitett ajánlat költségeinek durva átlagát véve kiszámitotta, hogy egy 3oo.ooo kilowattos atomerőmü, a korai tervezések szerint, kilowattonként kb. 13o fontos költséget jelent. Ez a szám természetesen társaságonként és helyenként változásokon megy át, de Mr. Jukes számadatai elfogadható képet adnak arról, hogy az atomi erőművek költségei miből tevődnek össze.

A beruházási költség számadatai a következők:

Reaktorok	32%	vagy 12.5	millió font
Egyéb müvek	68%	vagy 26.5	" "
Uránium üzemanyagtöltés		8.7	" "
Teljes beruházási ktg.		47.7	millió

Ha ez a beruházási költség a szokásos 2o év alatt amortizálódik, akkor kilowattóránként o.37 és o.4 penny közötti költséget kapunk. Jukes az üzemanyagköltséget is beruházási költség számba veszi és kW-óránként további o.o5 - o.o6d-t vesz számitásba üzemanyagkamat-költség cimén, a Központi Villamosenergia Hatóság azonban ezzel nem ért egyet és az üzemanyagköltséget az erőmü üzemeltetési költség számláján kivánja szerepeltetni. Miután kilowattóránként o.22 és o.25d közötti költséget számit üzemanyagcserére és o.o5d-t üzemköltségre, Juke kWó-ként o.69-o.76d teljes bruttóköltséget kap. Más szóval véleménye szerint atomi villamosáram fejlesztés költségének egyharmad részét az üzemanyagköltség, kétharmad részét a beruházási költség teszi ki.

Ebből kitünik, hogy milyen fontos a helyi kamatláb kérdése. Az Angliára vonatkozó számadatokban az amortizációt 8%-os kamatláb mellett számitották. Jukes azonban hasonló számitásokat végzett az európai viszonyokra vonatkoztatva 13%-os kamatlábat véve számitásba. Ez rögtön növeli az amortizációs számot kb o.56-o.6d kWó-

kónti költségre és a bruttó bekerülési árat igen közel hozza ld per kWó-hoz. Fenti számokból kitünik továbbá a fütőanyag élettartamának fontossága az erőmü gazdaságossága szempontjából. Az üzemanyagköltségszámla azon a feltételezésen alapul, hogy egy tonna uránium 3 millió kilowatt-nap hőt szolgáltat és nyiltan bevallják, hogy ezt a hatásfokokot eleinte bizony nehéz lesz elérni. Egyszóval, minthogy az üzemanyag élettartama bizonytalan, az összköltség mintegy egyharmadát kitevő üzemanyagköltség szintón bizonytalan, ± 5o % erejéig.

Plutonium eladási ára.

Ez a kép egyik fele, a másik elóggé kézzelfogható: arra a plutonium-mennyiségre vonatkozik, melyet az erőmü reaktorai villamosenergiafejlesztés közben termelnek. Ez a plutónium az erőmü részére második jövedelmi forrást jelent és az atomenergiatermelés gazdaságossága nagymértékben azon fordul meg, hogy mi lesz a plutonium ára. Ez azonban még nehezebben számitható ki, mint az uránium valószinü ára. A plutonium nem olyan áru, melyet valaha is vettek vagy eladtak volna /még kormányok között sem/ és csak valami feltételezett árhoz juthatunk el következtetés alapján.

Itt a számitás valóban bonyolulttá válik. Egy erőmü élettartamát 15-2o évnek vehetjük, mely idő alatt folyamatosan évente bizonyos mennyiségü plutóniumot termel. Feltételezhetően ugyanezen idő alatt más erőtelepek is létesülnek, melyek állandóan növelni fogják a világ plutonijm készletét. Az a feltételezett ár, melyet a plutónium ma elérhet - majd később látni fogjuk, hogy ezt milyen elgondolással kapjuk - ritkaság folytáni ár, amelynek esnie kell, amint a plutoniumkészletek növekednek. Az atomerőmü jövedelmi számláján a plutonium ellenértéke az erőmü élettartama alatt bizonyára csökkenni fog.

I/665/S/Sz.

Szaporitó reaktorok kihatása.

Amig az első atomerőművek üzemben lesznek, atomi üzemanyagban reaktorok részére, melyek az 196o-as és az 197o-es évek elején épülnek, elég nagy lehet a kereslet ahhoz, hogy az árakat viszonylag közelitően a mai szinten lehessen tartani, de valamikor a 6o-as évek táján az ellátás kezdi elérni a keresletet, ez azután erősen befolyásolja majd az abban az évtizedben felépitendő erőművek netto üzemköltségét. Ha megfelelő számu szaporitó reaktor kapcsolódik be a közszolgáltatási villamosenergiatermelésbe, ami valószinüleg csak az 196o-as évek végére várható, akkor az atomi üzemanyag költsége előreláthatóan kb. éppen akkora lesz, mint a feldolgozási költség; mint ahogyan ma a kereskedelemben kapható nitrogén ára, megfelel a nitrogén levegőből való kivonási költségének. Ezért alapvetően megtévesztő, ha fejlettebb tipusu reaktorok költségeit mai üzemanyagköltség mellett kalkuláljuk, de eléggé meglepően, a tudósok ezt gyakran nem veszik észre. Az atomenergiával fejlesztett villamosáram költségeinek számitásával kapcsolatban egyes legátfogóbb áttekintések, melyek az USA-ban készültek, az elkövetkező 2o évben bizonyos meghatározott áru villamosenergia valószinü szükségletéből kiindulva vizsgáljuk a különböző tervezésü reaktorok költségeit, hogy lássák melyik az, amelyik ezeken a meghatározott különböző árakon villamosenergiát tud termelni.

Igy a következő eredményekre jutunk:

Reaktor-tipus	Költség centekben kilowattóránként
Dusitott üzemanyaggal müködő, régebbi elvek szerint tervezett reaktortipus	o.6 - o.7
Nehézvizes reaktor, természetes uránium üzemanyaggal, igen kedvező feltételek mellett	o.5 - o.4
Közönséges vizhütésü reaktor, dusitott üzemanyaggal	o.5
Különböző tipusu szaporitó reaktorok	o.5 - o.4

Ezek a számok jóval derülátóbbak, mint az angol számitások, melyek, összehasonlitás céljából, az első brit erőmüvek által termelt villamosenergia költségét kilowattonként o.7 - o.5 cent között adják meg. Az amerikai számitások azonban a/ sokkal fejlettebb tipusu reaktorokkal foglalkoznak és b/ feltételezik, hogy az uránium és plutonium ára valamenynyi reaktornál azonos. Ez nem veszi figyelembe azokat az árváltozásokat, melyek a reaktor gazdasági élettartama folyamán felléphetnek, nem olyan árváltozásokat, melyek napjainktól addig az időig következnek be, amig a reaktorok fejlettsége eléri azt a fokot, hogy kereskedelmi forgalomba kerülhessenek. "Dusitott" és szaporitó elven alapuló reaktor-tervek a reaktorfejlődés ütemezésében a 2. és 3. fokozatba tartoznak, mely időpontban magfütőanyagok már sokkal bőségesebben állnak majd rendelkezésre, mint manapság. Feltünő jelenség lenne, ha egy az 196o-as évek végén müködő szaporitó reaktor ugyanolyan áron adhaná el az általa termelt plutóniumot, mint amennyit ma kapna érte.

I/665/S/Sz.

Az első atomerőműveknél a plutonium árát inkább logika, mint részletes kalkuláció szabta meg. Árának felső határát majd nem a nukleáris üzemanyagban mutatkozó valószinü hiány, hanem az fogja megszabni, hogy mibe kerül ugyanakkora mennyiségü uránium -235 előállitása egy gázdiffuziós telepen. Ez igen bonyolult és költséges eljárás és annyi villamosenergiát emészt fel, mint amennyit az igy nyert uránium egy atomerőmüben valaha is termelni fog, ugyhogy gazdasági szempontból sok szól az ellen, hogy az uránium - 235 hosszu ideig legyen üzemanyagforrás. Általánosságban szólva azonban a plutonium és az uránium-235 felcserélhető. Mindkettő nagykoncentrációju, kevés nem hasadó anyagot tartalmazó atomi üzemanyag. Ha a kettő közül a plutonium lenne a drágább, akkor uránium -235-t alkalmaznának helyette.

Sok számitgatás történt az uránium 235 elképzelhető kereskedelmi árával kapcsolatbsan. Az USA-ban ugy számitották, hogy grammonként 3o dollárra is rughat, azaz majdnem 11 fontot tehet ki. Angliában lo-12 fontnak vették grammját. Eddig egyetlen olyan állam van, mely ténylegesen ad el uránium -235-t és ez az Egyesült Államok. De az amerikai árak nem tekinthetők mérvadónak az uránium -235 valószinü szabadpiaci árára vonatkozólag. Az amerikai árpolitika célja most inkább az, hogy atomenergiafejlesztési kisérletekre ösztönözzön, mind otthon, mind a külföldön és nem tükrözi a tényleges termelési költséget. Pl. uránium -235-ért az amerikaiak eleinte grammonként 25 dollárt kértek; mikor az Atomenergiabizottság elnöke a Genfi Atomenergia-Konferencián bejelentette, hogy országa kutatási célokra hajlandó dusitott üzemanyagot rendelkezésre bocsátani, ez volt a rögzitett ár. Egy évvel később történt a második bejelentés, hogy 4o.ooo kg-nyi óriási mennyiség uránium -235üt helyezett tartalókba az Egyesült Államok polgári használatra, mely mennyiség fele belföldi fogyasz-

tásra, a másik fele pedig diffuziós berendezésekkel nem rendelkező országokba való exportra van szánva. Az Egyesült Államok igazgatási szervei akkor azonban rájöttek arra,hogy amig sok külföldi kormány, sőt az országon belüli kereskedelmi vállalatok is, hajlandók voltak az uránium -235 grammjáért 25 dollárt fizetni, midőn azt kutatási célt szolgáló 2-3 kg-os mennyiségben vásárolták, ezzel szemben ez nem állt módukban akkor, mikor erőmüvek részére több tonna üzemanyag rendelésóről volt szó. Ezért 1956 novemberében az uránium -235 árát leszállitották grammonként 16 dollárra és ugyanakkor ajánlatot tettek arra, hogy tisztán polgári célra, 12 és 15 dollár grammonkónti áron visszavásárol bármennyi plutoniumot, vagy uránium -233-t, melyet a külföldi országok teljesitményreaktorai a vásárolt üzemanyagból kiterméltek.

Már az eredeti 25 dolláros árnál is feltételezhető volt, hogy az jóval az előállitási költség alatt van; Az Egyesült Államok óriási méretü hadi beruházásokat eszközölt diffuziós üzemek vonalán, mely tételeket a költségvetés honvédelmi kiadási számláján irták le. Ezek termelésének tekintélyes része több, mint a szükséglet és igy az Atomenergiabizottság megengedheti magának azt, hogy ezt a mennyiséget olyan áron hozza forgalomba, ami alig fedezhet többet, mint az üzemek puszta üzemeltetési költségét. Mert csakis igy járhat el akkor, ha nehézvizért tonnánként 63.ooo, dollárt, azaz 22.4oo fontot számit. Ha az Egyesült Államok uránium-235 25 dolláros árát vesszük, akkor a plutonium legmagasabb ára grammonként L8 18s, vagy kilogrammonként majdnem 9.ooo font lenne. A grammonkénti 16 dolláros ár a plutoniumnál, majdnem 3 fonttal lenne kevesebb grammonként, de nem volna reális ilyen rendkivül alacsony árat irányadónak tekinteni. Az amerikai uránium használata számos megkötöttséggel jár, ugyhogy bármennyire olcsó is, számos ország bizonyára hajlandó lenne többet fizetni szabad piacon plutoniumért, mint a tulajdon-

képpen államilag szubvencionált, Amerikából importált urániumért.

A minimális ár meghatározása sokkal nehezebb. Számitásba véve a szaporitó reaktorokat, melyek több üzemanyagot termelnek, mint amennyit elégetnek, nem-igen tételezhető fel, hogy olyan üzemanyagok, mint plutonium, magasabb árat érnek el a szabad piacon, mint amennyi puszta előállitási költségük. Azonban ettől még igen távol állunk és amig ez be nem következik, nem látszik valószinünek, hogy a plutonium ára bármely adott időpontban a természetes uránium áránál kevesebb legyen. Egyetlen reaktor sem fog urániumot használni, ha plutonium az olcsóbb üzemanyag. Ahelyett, hogy minden egyes alkalommal ujból friss urániummal töltenék fel a reaktort, a kimerült tüzelőanyagot plutoniummal pótolnák addig, mig a benne levő hasadó atomok száma el nem éri a o.7 %-os természetes szinjét. Ha teljes hasadó-anyag tartalma kimerülne - ami gyakorlatilag soha sem fordulna elő - a plutoniumnak a reakterba való visszavitele azt jelentené, hogy egy rész plutoniumot kellene hozzáadni, minden 14o rész kiégett urániumhoz. Tonnánként 2o.ooo fontos urániumot számitva, ez grammonként kerek számban valamivel kevesebb, mint 3 fontos plutonium árat jelentene, mely mellett kifizetődő volna a plutoniumot ujra bevetni a körforgalomba.

Ezen a kerülőuton át végül is egy gramm plutoniumra 3-tól 9 fontig terjedő lehetséges árig jutunk el. Azaz röviden azt mondhatjuk, hogy a piacon valószinüleg sohasem lehet plutoniumért nagyobb árat elérni, mint amennyibe egy diffuziós üzemből kikerülő urániun -235 kerül, de viszont sohasem lesz olcsóbb, mint amennyibe az a természetes urániun mennyiség kerül, mely ugyanakkora hőt képes szolgáltatni, mint a plutonium. A két szélső eset között azonban igen sok olyan fogyasztó van, akik még jó sok évig e föló a minimum föló verik fel a plutonium árát.

J Jukes az Atomenergia-Hatóság részéről a plutonium távolabbi kilátásait hosszan tanulmányozva, alábbi következtetésre jutott:

Ha az üzemanyagköltség adott hőmennyiség keltésénél plutoniummal fele akkora lenne, mint fűtőolaj esetében, akkor érdemes és gazdaságos volna speciális célu reaktorok, mint hajók és repülőgépek számára, vagy távolfekvő, elszigetelt vidékekre alkalmas tipusok épitése, melyek csak villamosenergiát fejlesztenének, anélkül, hogy melléktermékként hasadóanyagot termelnének. Az 1956 évi olajárak mellett, ekkor a plutonium ára nem adódik többre, mint grammonként legfeljebb 6 font.

Ugyanakkor véleménye szerint azok a szaporitó reaktorok, melyeknek csak egy töltésnyi plutoniumot kellene vásárolniok, azután pedig üzemanyag tekintetében önfenntartókká válnának, könnyen fizethetnének 12 fontot is üzemanyaguk egy grammjáért.

Arra a következtetésre jutott tehát, hogy plutonium grammonként 5-1o font között ingadozó árat érhet el, a termelési költségek levonása után.

Nem nehéz kiszámitani, hogy egy atomerőmü plutoniumtermelése mennyi lehet. Reaktorban elégett minden egyes gramm hasadóanyag egy megawattnap hő ekvivalensét szabaditja fel és minden megawattnapnyi hő megfelelően szerkesztett reaktorban 4/5 gramm plutoniumot termel. Végsősoron, a mérnökök abban reménykednek, hogy ilyen mennyiségü plutoniumot nyernek a Calder Hall-ban üzemben levő két első reaktor 22o tonna üzemanyagából. Az első atomerőmüvek valószinüleg nem tudják még üzemanyagukat ilyen jó hatásfokkal kihasználni.

Calder Hall két reaktorának hőteljesitménye 18o megawatt. Ha feltételezzük, hogy Calder Hall tipikus, kizárólag eladásra szánt áramot termelő reaktor, mely alap-

fogyasztási terhelés mellett müködik, ami azt jelenti, hogy évi 29o napnak megfelelően van üzemben, plutonium termelése valamivel több lenne, mint évi 8o kg. Számitásba véve két hasonló reaktor felépitését a Calder "B" telepen és további négyét Annanban, Skóciában, kerek számban kb 35o kg plutoniummal növekszik évente a Windscale-ben eddig gyártott nem jelentéktelen mennyiség. Ébérségi okokból a Windscale-ben lévő reaktorok hőteljesitményét sohasem közöltók pontosan. Hasonlóképpen Franciaországban egy kicsi és egy nagyméretü reaktor Marcoule-ban, melyek együttes teljesitményét 14o.ooo és 19o.ooo kW közöttire becsülik /attól függően, hogy milyen hőteljesitménnyel üzemeltetik majd a második, a nagyobb reaktort/ évente kb 5o kg plutoniumot fog termelni. Lehetetlen itt pontos adatokat szolgáltatni, mivel a plutonium-termelós mértéke attól függ, hogy a mérnökök milyen hőteljesitmény mellett futtatják majd a reaktort. Az idézett adatok csak az aránylag kezdeti reaktortipusoknál érvényesek. "Szaporitó" reaktorok közel másfél gramm plutoniumot termelnek majd minden gramm elégett hasadóanyagra esően.

Egy kizárólag eladásra szánt áramot termelő erőmü, mely elfogadható számitások szerint a Calder 1oo.ooo kW teljesitményének háromszorosát adja le, előreláthatóan kb fenti mennyiséget termeli. 39 millió fontba kerülő erőmü villamosenergia kapacitása 3oo.ooo kW lenne és évi plutoniumtermelése 2oo.ooo kg. plutonium körül mozogna. A villamosáram ekkor kWóránként 1/2d-től 1d-ig bármibe kerülhet, a plutoniumért pedig kilogrammonként egészen 9,ooo fonttól, 3ooo fontig terjedő árat árhet el. Eléggé megbizható források alapján azonban, a költségek pontosabban is elemezhetők. Tegyük fel, hogy az Atomenergia-Hatóságnak most két fontos pontban igaza van: a villamosáram fejlesztése ténylegesen 3/4d-be kerül kWó-ként és a plutonium kg-jáért 6.ooo-től 12.ooo fontig terjedő árat fizető vevőket lehet találni, ami a finomitási költségeket tekintetbe véve, az erőmü számára kg-onként 5.ooo-től 1o.ooo fontig terjedő tiszta

nyeresóget jelent, vagy óvente 1-2 milliós jövedelmet a plutonium eladásából. Ezek a feltevések adják ki azt az összeget, amely végig a Hatóság számitásainak alapját képezte.

3oo.ooo kW telj. erőmü beruházási ktg-e	39 millió font
Üzemanyag beruházási ktg.	8.7 millió
Fejlesztett vill.energia bruttó ktg.	o.76d kWó-ként
Jóváirás plutoniumeladásért, az erőmü számára a felhasznált tüzelőanyag tonnánként 5ooo font jóváirást számitva	o.o7 d kWó-ként

/ Ezek a számitások azon a feltételezésen alapulnak, hogy az erőmü alapfogyasztásnak megfelelő terhelóssel dolgozik, 8o %-os terhelési tónyezővel számolva. Atomerőmüvek nagy beruházási költsége elkerülhetetlennó teszi, hogy alapfogyasztási szolgáltatásra alkalmazzák ós az a tóny, hogy a reaktorok stacionárius hasadási sebesség mellett állandó üzemben tarthatók, müszakilag erre igen alkalmassá teszik/

Igy a villamosáram netto költségekónt vagy /a/ o.6d-t kapunk kWó-ként, vagy valamivel 3/4d alatt. Ezt most vesszük ószre egy korszerü széntüzelésü erőmütől származó o.6d-nyi egységárral.

A Hatóság atomerőfejlesztette villamosáram költségót legszivesebben o.6d per kWó-ban adja meg, ami azon alapul, hogy a plutoniumért feltehetően közelitően sem kapható a maximális ár. Ez óvatos, konzervativ becslés legalább is a kezdeti időre, mert máris igen valószinünek látszik, hogy az elektromosenergia előállitásának brutto költsége az Atomenergia-Hatóság első erőmüveiben nem lesz olyan magas, mint az itt számitott egységenkónti 3/4d. Először is az erőmüvek nagyobbak mint várható volt és a méretekben mutatkozó növekedést anélkül értók el, hogy az ópitkezósi költségek megfelelően emelkedtek volna. Az történt ugyanis, hogy

uj eljárásokat fejlesztettek ki vastagabb nagynyomásu tartályok hegesztésére és addig a tartályok vastagsága szabott korlátokat Calder Hall teljesitményének. Ez az egy változás tette lehetővé, hogy biztos nézhessünk annak a napnak elébe, amikor a villamosáram költsége kWó-kónt brutto fél penny-re csökken az üzemanyag élettartamában mutatkozó bizonytalanság ellenére.

Hasadási hulladéktermékek értékesitése.

Lehetséges, hogy az erőmüveknek lesz még egy harmadik jövedelmi forrásuk is, ami az üzemanyag hasadási hulladéktermékeinek az eladásából adódik. Ezeket korábban csak kellemetlenségként fogták fel, de tudósok tudatában voltak annak a tónynek, hogy ezek a lehető legnagyobb intenzitásu sugárforrások, melyekkel valaha is találkoztunk. Ezek a hasadási hulladékok erősen rádióaktivak. Sok közülük gyorsan elhal, de a hasadt atom részecskói közül a két legaktivabb, mint a stroncium és a cézium óriási erejü sugárzást bocsátanak ki 3o-4o évig is. Előzetes kisérletekkel kimutatták, hogy ilyen erejü sugárzás kómiai változásokat idéz elő anyagokban - nagyjában olyan változásokat, amilyeneket a mai vegyiipar a hő és nyomás együttes erejével hoz létre. A hasadási hulladéktermékek rádióaktivitását felhasználó rádiókómia ezért valószinüleg elfogadott ipari technikává válik. Végső soron ezek a termékek legalábbis olyan fontosakká válnak, majd az iparban, mint maga az atomenergia, az mindenesetre bizonyos, hogy sokkal gyökeresebb változásokra vezethetnek. Lépések történtek azirányban, már 1956-ban, hogy a Windscale hulladékokból kismennyisógü stroncium és cézium mennyisógeket készitsenek kisérleti célra. A stroncium-9o-ért millicurieként 6 shillinges árat számitottak, ami azonban hiánycikk árnak számit és bizonyára később csökkenni fog.

I/665/S/Sz.

Egy elég nagyméretü telepről származó összhulladékmennyiség mintegy 5 %-át kitevő stroncium évente o.4 megacurie-t tehet ki, ami már számottevő mennyiség. De ma tulkorai volna, ha a hasadási termékek értékesitését az atomenergia jövedelmi számláján szerepeltetnénk. Az Atomenergia Hatóság által kalkulált o.6 d kWó-kónti ár plutoniumon kivül semmiféle más mellóktermók értékesitését sem veszi számitásba sőt, annál sem a maximálisan elérhető árat veszi alapul. Ha a plutonium kezdetben ennél magasabb árat ór el, akkor az első atomerőművek, legalább is Angliában, nyilvánvalóan versenyképesek lesznek a szóntüzelésü erőművekkel szemben.

Az Atomenergia Hatóság plutonium-árkalkulációja feltételezi, hogy jobb hatásfoku reaktortipusok elterjedését megelőzi a hozzájuk szükséges koncentrált atomüzemanyagok árának esése. Értékesitési célokat szolgáló nem az Atomenergia Hatóság birtokában levő atomerőművektől származó plutoniumot várhatóan polgári használatra tárolják és nincsen értelme annak, hogy ennek árát a piac számára ne tegyók elérhetővé. Fenti költségszámitások a legegyszerübb reaktortipusra vonatkohnak, ez nem más mint egy grafittal töltött igen nagynyomásu tartály, melyben a grafitot keskeny, természetes urániumból készült tápelemrudak szövik át. A reaktorba gázt vezetnek be, ami áthaladás közben és a tápelemrudak körül felmelegszik, majd külső kazánokba szivattyuzzák, ahol a benne levő hő a turbinák meghajtására szolgáló gőzt fejleszti.

Dusitott tápanyagu reaktorok.

Ezt az elrendezést választották meg brit alaptervkónt, mivel jóllehet igen költséges és hatásfoka sem a legjobb, mégis a gázhütésü, természetes uránium fütésü reaktor volt a szakemberek által ismert legmegbizhatóbb tipus, mely Angliában a szóntüzelésü erőművekkel szemben verseny-

képes áron tudott villamosáramot termelni, bármennyire is nem versenyképes ez a tipus olyan országokban, mint pl. az USA, ahol a fütőanyag olcsó. A reaktorvilág eme T modelljét lehet javitani, ha a tervezők már tisztában látják a gépészeti problémákat, mégis következő nagy lépés a reaktortervezés terén a dusitott üzemanyagok használatával következik be. Ha a természetes uránium o.7 százalékos hasadó atomarányszámát sikerül egy, kettő, sőt öt százalékra emelni, akár plutonium, akár uránium -235 hozzáadásával, akkor az egész berendezés hőmérsékletét nagymértékben növelhetjük, ami viszont az áramfejlesztő üzemrésznek jobb gőzhőmérsékletet ad. Másodsorban a reaktor méretének valószinü csökkenése is megtakaritást jelent. Dusabb üzemanyag esetében kevésbé kell félni a reaktor "mérgezés"-étől, és a reaktor anyagában fellépő neutronabszorpció kockázata nem olyan kritikus, mint az első tipusoknál. Több neutron van jelen dusabb, hasadóképesebb üzemanyagban, ami a mérnökök számára nagyobb lehetőségeket biztosit az anyagok kiválasztásában.

A reaktortervezésben a képzelőerő jóval több teret nyer; a hőt a reaktorból folyékony fémmel, mint pl. nátrium vonják ki; máshol vizet alkalmaznak erre a célra, sőt ujabban a kutatás kiterjed szerves anyagokra, mint a diphenil is. Egy ujabb rendszer kiküszöböli a bonyolult kazán-rendszert és a reaktort ugy tekinti, mint egy óriási forraló edényt, melyben a tápelemek körül forr a viz és a gőzt közvetlenül a reaktorból vezetik ki. Ennek az a hátránya, hogy a turbinákat rádióaktiv gőzzel szennyezi be, de ez talán nem tuldrága ár azért, hogy megszabaduljunk a kazánoktól.

Többszáz változat dolgozható ki "dusitott" üzemanyag alapján, ha megfelelő mennyiségü koncentrált hasadóanyag áll rendelkezésre a dusitáshoz. Drágán érjük ezt el diffuziós üzemből kikerülő uránium -235 használatával.

olcsóbb, de lassubb módszer az, ha természetes uránium fütésü reaktorokat épitünk és megvárjuk, mig az általuk termelt plutonium piacra kerül.

A reaktorokkal kapcsolatos minden fejlesztési munkának kettős célja van, az egyik, hogy a reaktor müködését egyszerüsitsük és igy a teljesitménynek jelenleg szabott korlátozások enyhithetők legyenek, a másik pedig az áramot termelő szaporitó reaktorok tökéletesitése. A kutatók a második célkitüzést jobban megközelitették, mint az elsőt, de vannak elgondolások a két célkitüzésnek egy berendezésben való megvalósitásával kapcsolatban.

Szaporitó reaktor alapjában kicsi, szilárd, majdnem kizárólag tiszta hasadóanyagból álló magból áll. A komplett méretü kisérleti reaktor, mely Dounreay-ben épült egy majdnem tiszta uránium-235-ből álló kb. 0.08 m^3 méretü maggal rendelkezik. Ezt a magot szaporitóanyagból álló burok veszi körül. Ez lehet uránium-238, mely esetben a reaktor plutoniumot termel, vagy pedig toriumfóm, ami uránium-233-má változik, ami természetben nem található és éppen ugy hasad, mint az uránium-235.

Egy kismérető kisérleti szaporitó reaktor, mely Harwell-ben dolgozik, kétszer annyi üzemanyagot termelt, mint amennyit elégetett, de ez tulságosan jó hatásfok ahhoz, hogy normálméretü üzemtől ilyent lehetne remélni.

Semmi alapvető oka sincs annak, hogy a szaporitó reaktorok, vagy bármely más reaktor egy szilárd burekkal körülvett szilárd magból álljon, olymódon fejlesztve az elektromos áramot, mint az első reaktorok: azaz egy a magtól a kivülálló kazánokba hőt szállitó hütőanyag segitségével. A reaktorokkal kapcsolatos minden müszaki nehézség arra összpontusul, hogy megkeressük a megfelelő anyagot arra, hogy az üzemanyagot befogadja, valamint az alkalmas közeget,

amit a hő kicserélésére a magon keresztül szivattyuzhatunk. Korrózió, sugárzás okozta károsodás, robbanási veszély, neutronbefogás, hőállóság, anyagok közötti vegyi kölcsönhatás, ezek azok a problémák, melyeken a tervezőnek keresztül kell rágnia magát.

Mindezen nehézségek kiküszöbölésére egy mód van. Ha az üzemanyagot és hütőanyagot folyadék vagy zagy alakjában összekeverjük és az egész keverék együtt szivatytyuzható körbe. Ez a homogén reaktor elve /a többit heterogénnek nevezzük/. A berendezés közepében áll egy akkora tartály, mely elégséges annyi atomüzemanyag befogadására, amennyi a láncreakció fellépésóhez szüksóges. A tartályból csövek vezetnek a hőkicserélőkbe, és a hőkicserélőkből vissza a tartály aljába. Körbe, körbe, jár a rendszerben az urániumkeverék. A láncreakció megszakitás nólkül folyik a központi tartályban, de amint a forró keverók a csöveken keresztül kimegy, a reakció megszünik, mivel a csövekben az uránium térfogat tekintetében nem elóggó koncentrált. Az uránium térfogatában igy bekövetkező változás a láncreakciót a tartályra korlátozza. A keverók a vezetókeken át a hőkicserélőkbe, majd onnan vissza, a tartályba jut. A szaporitó réteg ugyanazon a végtelen uton kering körbe a tartályon kivül. Az egész idő alatt mind az üzemanyag, mind a szaporitó réteg keverékéből kivonnak egy kis mennyiségét, az egyikből azért, hogy az elégett üzemanyag kivonható legyen, a másikból pedig a folyamatban termelt uj hasadó anyag eltávolitása céljából. Más szelepeken át folyamatosan friss üzemanyagot és friss szaporitó keveréket fecskendeznek be a körbe, a kivett anyag pótlására. Csodálatosan egyszerü elgondolás, de hogy müszakilag sikeresen üzemeltethető-e, az más kérdés. A keverók rendkivül rádióaktiv lesz, erősen korrodáló és robbanókony; ezt nem lesz könnyü biztonságosan egy keskeny cső- és tartály-hálózatban tartani és valószinüleg nem is lehetséges, ha a zagy, amint az várható, két éven belül keresztülrágja magát a magot tartó tartályon.

Logikailag a homogén reaktor fejlődésének legmagasabb fokát talán az orosz tudósoknak az az elgondolása képviseli, hogy szivattyuk, vezetékek és hőkicserélők kiküszöbölésével az üzemanyagkeveréket egyszerüen forraljuk fel és ennek gőzét vigyük át egyszerüen a turbinákba.

Ami a laikust gyakran csodálkozásba ejti és különösnek találja az az, hogy minden egyes tudós azt állitja - sőt számokkal bizonyitja - hogy kedvenc elgondolása éppen versenyképes lesz szóntüzelésü erőmüvek költségével. A laikus azonban okosabban teszi, ha csodálkozását a tudósok jelenlétében nem juttatja kifejezésre, mert ilyen vitában ők képviselik mind a birót, mind az esküdtszéket.

1957 márciusában Sir Christopher Hinton számitásaiban klasszikus példát adott arra vonatkozólag, hogy a tudósok miként képzelik el a jövőben az atomenergia-költségek alakulását, - az ő számadatait, melyek két tizednyi pontosságig terjednek, idéztük fejezetünk elején. A következő táblázat is Sir Christophertől származik.

	196o	197o	198o	199o	
Értékcsökkenés	o.37	o.3o	o.36	o.22	penny/kW
Üzemanyagtöltésre kamat	o.o6	o.o4	o.o3	o.o2	"
Üzemanyagtöltés-csere	o.24	o.13	o.o8	o.o6	"
Üzemeltetési ktg.	o.o6	o.o5	o.o4	o.o3	"
Összesen	o.73	o.52	o.41	o.33	"
Plutonium értékesités /jóváirás/	o.o7	o.o5	o.o3	o.o1	"
Villamosáram netto ktg.	o.66	o.47	o.38	o.32	"

Ezek a számok csupán a költségek várható alakulását kivánják szemléltetni, számitásba véve a reaktoroknál mutatkozó müszaki változásokat, az üzemanyag árának csökkenését és kisebb épitési költségeket. 199o-ben, tehát 33 év mulva Sir Christopher számitása szerint az üzemanyagköltség 75 %-kal, és az épitkezési költség 4o %-kal való csökkené-

se következtében az atom-villamosáram netto költsége éppen a felére esik. Ez meg is történhetik, jóllehet kérdéses, hogy vajon a költségtényezők mindegyikének alakulása ennyire pontosan előreléthető volna. Ennek az időszaknak a végén azonban, a tudósok már arra számitanak, hogy elkövetkezik a termonukleáris energiatermelés megvalósitásának ideje, a második nagy lépés azon az uton, melyen az atomenergiát az emberiség szolgálatába állitsuk.

Termonukleáris energia.

Az ut a termonukleáris energiához vezet, amely olyan üzemanyagot használ, ami olyan bőségesen áll rendelkezésünkre, mint a viz, vagy levegő, amelyből kivonjuk. A tudósok szerinti "lassu" neutronok - ami 2o-1oo m-es jelent mp-kénti sebességet jelent, képesek arra, hogy egy uránium-atomot hasitsanak, de óriási sebességgel haladó neutronokra van szükség ahhoz, hogy két atom fuziója létrejöjjön. Hidrogénbombát a magjában levő miniatür atombombával gyujtjuk be és ettől az első robbanástól a részecskék rendkivül nagy sebességet kapnak, ami azután létrehozza a második, még félelmetesebb robbanást. Hidrogénenergia reaktor egy monumentális laboratóriumi készülék által - mint amilyenek most az elméleti magkutatásban alkalmazott lineáris gyorsitók - mesterségesen óriási impulzusra felgyorsitott részecskék utján lenne beinditható. Egy 1956-ban Harwellben tartott előadáson Kurcsatov professzor, az orosz tudós ismertette, hogy miként sikerült egy néhány töredék másodpercre majdnem egy millió C^{o} hőmérsékletet elérni olymódon, hogy hidrogéngáz csövön igen nagyerejü villamosáramot vezettek keresztül. Ezek a hőmérsékletek igen közel járnak a fuziós folyamathoz szükséges hőmérsékletekhez, de még nem elég közel ahhoz, hogy azt mondhassuk, hogy az oroszok megoldották volna a szabályozható fuzió problémáját. Maga Kurcsatov professzor is azt mondta, hogy nem hiszi, hogy ezzel a kisérlettel további előhaladást lehetne ezen a vo-

nalon elérni, azonban jelek vannak arra, hogy Harwell-ben erősen hasonló vonalon dolgoznak és sikerre van kilátás. Az atomok egyesülésénél azonban több energia szabadul fel, mint az atomok hasadásánál a hasadási folyamat során és igy a termonukleáris energia termelés megvalósitása olyan célkitüzés, melyet már müszaki okokból is igyekeznünk kell elérni, nem pedig csupán azért, mert a világon a hidrogén-üzemanyag olyan bőségesen áll rendelkezésre. Angliában erősen kezdenek bizni abban, hogy ez husz éven belül lehetővé válik.

Végkövetkeztetés.

Itt hozzávetőlegesen szemléltettük, hogy mi várható a reaktortechnika fejlődése terén is milyen általános változásokat hoz ez létre a reaktorok alakjában. Az erőtelepek költségét meghatározó tényezők közül elsőnek az épitkezési költséget vesszük, ami ma viszonylag magas, de ez valószinüleg csökkenthető; második a szükséges üzemanyag ára és minősége, mint természetes uránium, dusitott uránium, vagy tiszta hasadó anyag, továbbá ezek cserélési szükségességének gyakorisága és harmadsorban nézzük a reaktorban termelt plutonium, vagy uránium elérhető árát.

Ez az utolsó tétel bizonyára változni fog a piaci helyzetnek megfelelően és mivel egy sorozat erőmü melléktermékeként előállitott plutonium az ezután következő atomerőtelep sor üzemanyagforrása lesz, a plutonium árának változása a majdan épitendő erőtelepekről jövő villamosenergia árát éppugy befolyásolja, majd, mint az erőtelepek ezzel kapcsolatos bevételi számlája.

Atomüzemanyagok és atomenergia piaci árának alakulása tekintetében a vélemények egészen különbözők lehetnek.

I/665/S/Sz.

Nucleonics
16/No1, pp.5o-53 / January 1958/

Hasadó fütőanyagok költségében mutatkozó bizonytalanságok felmérése.

Nyomásos vizhütésü reaktor tüzelőanyag-költségének tanulmányozása alapján 3-as bizonytalansági faktort találtak főleg a plutonium eladási árában és a gyártási költségekben mutatkozó különbségek folytán.

A különböző tényezők közül, melyek a gazdaságos atomenergia fejlesztette villamosáram utjában állnak, mindenképpen a fütőanyagköltség a legfontosabb akadály. Ha sikerül bebizonyitani, hogy az atomerőmüvek a szokásos erőmüvek kb 3 mill/kwó-nyi /mill a cent 1/1o-ed része/ országos átlagánál kisebb fütőanyagköltséggel tarthatók üzemben, akkor a villamosenergiaipar komolyan foglalkozik majd teljesitményreaktorok épitésének gondolatával még akkor is, ha a beruházási költség kWó-ként esetleg még mindig nagyobb.

Ugyanakkor, ha a becsült költségekben mutatkozó eltérések bizonyitóknak tekinthetők, ugy látszik, hogy a fütőanyagköltség az, melyet az összes költségtényező közül a legkevésbé tudunk megérteni.

Felismervén a tüzelőanyagköltség fontosságát és az abban ezidőszerint mutatkozó bizonytalanságot, az Amerikai Nukleáris Társaság new-yorki részlege nemrégen egyik összejövetelét arra szánta, hogy tisztázza a tüzelőanyagköltségre vonatkozó kérdést. Helybeli tagjai résztvettek egy tüzelőanyagköltségankéton, melynek célja egy szokványos nyomásosvizreaktor tüzelőanyagköltségében mutatkozó eltérések felbecsülése volt. A csoport a költségek felső és alsó határát megállapitotta és a kettő közötti különbség 3-as

tényezőt adott. A plutonium ára ós a gyártási költségek terén mutatkozó különbség okozta a fütőanyagköltség felső és alsó határa közötti eltérést, ugyanis a plutonium grammját 3o dollárban, vagy 12 dollárban számolva, a különbség kwóránként 1.3 mill-re emelkedik.

Az össz-tüzelőanyagköltséget egyetlen szokványos reaktortipusra vonatkoztatva a becslést hét különböző szempontból végezték, minden egyes szempont kiértékelését egy-egy megfelelő szakemberre bizva. A kiválasztott reaktortipus szabványos nyomás alatti vizzel hütött, 5oo eMw mellett üzemeltetett 34 atm-ás gőzt fejlesztő reaktor. A reaktormag kezdeti töltése 25.ooo kg 3 %-os dusitásu UO_2 rozsdamentes acélcsövekbe zárt golyócskák alakjában. Üzemeltetés során a hasadás, vagy befogás folytán felbomlott minden U-235 atomra esően o.4 plutoniumatom keletkezését tételezzük fel. A reaktormagot 22o kg U-235 elégése után távolitják el, tehát mikor a dusitás 2 %-ra csökkent. A költségszámitásokban 8o %-os üzemeltetési tényezőt tételeztünk fel.

Feladatunk az volt, hogy a tüzelőanyag minden egyes költségtényezőjére kiszámitsuk az alsó és felső határt, azzal a feltételezéssel, hogy az erőmü 1962-ben kerül üzembe. Ezeknél a kalkulációknál lehetséges jövőbeli müszaki fejlődést nem vettünk számitásba.

Hasadóanyag-költség.

A költségszámitásoknál továbbá feltételeztük azt, hogy minden egyes U-235 atomhasadásra esően, o.18 számu U-235 atom fogódik be és azt is hogy minden reaktormagtöltés a teljes mag-cseréig a reaktorban marad, minden változtatás, vagy részleges feltöltés nélkül.

Tekintetbe véve 1% veszteséget az UF_6-nak UO_2-vé történő átalakitása során, valamint a kiégett üzemanyag ujbóli finomitásánál az AEC hivatalos árjegyzéke dusitott urániumra vonatkozólag a tiszta hasadó anyag bekerülési árát megtöltésenként a következőképpen szabja meg:

22.22o kg kölcsönvett U értéke /3% U-235/	$ 8,333,ooo
Az ujrafeldolgozó telepről visszaküldött 21.48o kg U-ért /2 % U-25/ jóváirva	4,726.ooo
Értékcsökkenés az urán minőségében és mennyiségében beállott veszteség folytán	3,6o7.ooo
Maximális jóváirás plutóniumért /a/ $ 3o/gm	- 2,64o.ooo
Minimális netto költség	$ 2,55o.ooo

Mivel az AEC urániumot nem ad el, csupán dusitott urániumot belföldi fogyasztók részére kölcsön ad, fenti kiadásokhoz "használati dijat" kell hozzáadnunk.

A használati dij általában 4% az USA-ban, de ez is változhat, ha a kamatlábak észlelhetően változnak, és természetesen más dijtételt találunk egyéb államokban.

A használati dij attól az időponttól fizetendő, amikor az anyag kikerül a diffuziós üzemből egészen addig, amig az elhasznált üzemanyagot ujra feldolgozzák és a kormány rendelkezésére nem bocsátják. A dijtétel a diffuziós üzemből eredetileg kikerülő mennyiség teljes értékén alapul, a számla rendezésére viszont akkor kerül sor, ha a reaktormagot ujra feldolgozták.

Azt az időt, ameddig használati dijat kell fizetni, a következőképpen számitjuk ki:

	Idő /hónap/
Üzemanyag készitésének ideje /UF_6-ból/	3
Készletezési idő a reaktor helyén	6
Kisülés utáni lehülési idő	4
Átszállitási idő, ujra feldolgozás stb.	3
	16
Reaktormagban való felhasználás ideje	16
összesen	32

$$\text{Használati dij} = 4\% \times \frac{32}{12} = 10\%$$

Miután a "vásárolt" uránium eredeti értéke 8,333.ooo dollár, az összes használati dij egy reaktormagtöltés egész élettartamára számitva $ 833,ooo

Gyártási költségek.

Az üzemanyaggyártásnál fellépő költségeknél az uralkodó tényező a tápelemek megtervezésénél előirt toleranciák mértéke. Hogy megbizható képet kapjunk, a gyártási költségek becslése a következő gyártási előirások alapján történt, melyek mind a gyáros, mind a tervező szempontjából elfogadhatónak tünnek.

UO_2 gömböcske:

Átmérő	o.346 ± o.oo2 "
Hossz	o.346 ± o.oo5 "
Sürüség	az elméleti sürüség 95%-a $lo.4\ g/cm^3$
Suly	5.55 g/golyócska
golyók száma	$\frac{25 \times lo^6\ g/mag}{5.55\ g/golyócska} = 4.5 \times lo^6\ \frac{golyó}{mag}$

Tápelem:

Átmérő	o.4oo"
Aktiv hossz	6 láb
Golyó/rud	2o8
rud/per köteg	64
köteg/per mag	338

Az összköltség egy a fenti előirásoknak megfelelően elsőizben gyártott reaktormagnál 675.ooo és 1,3oo.ooo dollár között mozog, de ha ezt a reaktormagot a gyakran jóval szorosabb müszaki előirásoknak megfelelően állitanák elő, a költség esetleg 2,ooo.ooo dollárra emelkedhet./Meg kell jegyeznünk, hogy mind a mai napig szóbanforgó tipusu tápelemeket senki sem gyártott még olyan olcsón, mint az itt felső határként megadott 2 millió./

Ujrafeldolgozási költség

Az eddig rendelkezésre álló ujrafeldolgozási költség adatok teljesen spekulativ jellegüek miután egy feltételezett üzemben feltételes eljárásokról van. Ezek közül talán a legmegbizhatóbbnak látszik az AEC által 1957 márciusában javasolt Többcélu Kémiai Feldolgozó Üzem. Ez az üzem egyrészt természetes, vagy kissé dusitott urániumot termelne napi 1 tonna mennyiségben /PUREX üzemrész/ másrészt

a DAREX üzemrészben különböző üzemanyagok feldolgozásával foglalkoznának. Az AEC az üzem felépitésének költségeit 2o,57o.ooo dollárra becsüli és az évi üzemköltség, beleértve a hulladékeltávolitást, amortizációt, AEC rezsiköltséget és egyéb nem megfogható kiadást 4,592.ooo dollára értékeli. Ezen az alapon a magánfél részére az üzem használatának napi költsége 15.3oo dollárt tenne ki. A használati időbe beleértendő a mag feldolgozásának ideje az oldó-extrakciós üzemrészben, valamint az üzemrész beindításának, leállitásának és tisztitásának ideje.

A szóbanforgó tipusu mag ujrafeldolgozásának ideje 22 napot venne igénybe és ehhez járul még az üzem beinditására, leállitására és tisztitására szolgáló 8 nap. Ilymódon az ujrafeldolgozási költség az AEC hipotetikus üzemében 46o.ooo dollárra rugna.

Szállitási költségek.

Jóllehet a kiégett üzemanyag szállitásának költsége nem tartozik a főbb kiadási tételek közé, megkisóreltük, hogy megállapitsuk ennek a költségnek a mértékét és a leggazdaságosabb módszert meghatározzuk. - Ha feltesszük, hogy az erőtelep és az ujrafeldolgozó üzem közötti távolság 2ooo mérföld, a teljes mag szállitási költsége kb 22o.ooo dollárt tenne ki.

Termikus hatásfok.

A szóbanforgó 34 Atm-ás ciklus termikus hatásfoka kb. 25%.

Költségek összegezése.

Az eddig tárgyalt különböző költségtényezők maximális és minimális értékét az 1. táblázatban tüntettük fel egyrészt, mint a magra eső teljes költséget, másrészt minz a termelt hő ára centben egy brit termikus egységre számitva.

I/665/S/Sz.

A hasadóanyag költsége, miután hivatalos AEC árjegyzéken alapszik, elég pontosan meghatározott. Az értékkülönbség főleg onnan ered, hogy a plutonium visszavásárlási árát 12, vagy 3o dollárba számitják grammonként.

A táblázatból látható, hogy a gyártási költségben mutatkozik a legnagyobb bizonytalanság. Az ujrafeldolgozás és szállitás pontosabban ismertek és valószinüleg az elég szorosan megadott határok között mozognak a költségek. "Egyób üzemanyag költségek" a gyártási költségekhez hasonlóan elég nagy szórást mutatnak.

A teljes költséget mill/kwó-ban ugy kapjuk meg, hogy az első táblázatban szereplő részösszegeket megszorozzuk minden egyes oszlopban a hőekvivalenssel. Ez maximálisan 6.2 mill/kwó és minimális 2.o mill/kwó-t ad. Ebben az számban nem foglaltatik benne o.35 mill/kwó-t jelentő reaktormag leltári értékére számitott tehertétel. Az elégési paraméterek, melyeket eme számok levezetésónél feltételeztünk egy 7.5oo Mwnap/tonna /Mwd = megawatt per nap/ kisugárzást jelentenek. A tüzelőanyagköltséget más sugárzási szintekre is számitották azzal a feltételezéssel, hogy a hasadó anyag árának kivételével, a költségtényezők forditottan arányosak az elégéssel. Az eredményeket a 3. táblázatban közöljük. A reaktorban levő mag leltári értékére számitott tehertétel növekszik a jobb elégéssel, mivel erősebben dusitott üzemanyagot használnak. A mag leltári értékére reaktoron kivüli állapotban számitott tehertétel mely azonban bennfoglaltatik az üzemanyagköltségben, csökken az elégési fokkal. A tonnánkónti 5ooo-25.ooo Mwnap/tonna elégési tartományban az előbbi tehertétel o.3o-ról o.7o mill/kwó-ra emelkedik, az utóbbinál pedig o.4o-ről o.2o mill/kwó-ra csökken.

Minden szinten azt látjuk, hogy az üzemanyagköltség terón mutatkozó ingadozás egy 3-as tónyezőnek felel meg. Az országban általános átlagban 2.7 mill/kwó tüze-

lőanyagköltség széntüzelésü erőtelepeknél legalább a két oszlop értéke között mozog a számitott elégési szintek mellett. Érdemes megjegyezni, hogy a plutonium árának különbsége állandó 1.3 mill/kwó különbséget okoz a maximum és minimum között.

Tehát, ha az ember mindenre vonatkozóan optimista, kivéve a plutonium árát, ami azt jelenti, hogy 1.3 mill/kwÓ-t ad hozzá a kisebb értékü oszlophoz, akkor az üzemköltség nem lenne versenyképes mindaddig, amig 15.ooo mwnap/tonna elégést nem sikerülne elérni.

1. Táblázat

Üzemanyagköltség részletezése hipotetikus viznyomásos reaktornál

	Felső határ Összköltség magonként	Hő ára cent/10^6 kgkal	Alsó határ Összkölts. magonként 10^3 doll.	Hő ára cent/10^6 kgkal
1. Hasadóanyag	2,55o	66,4	967	25.2
2. Gyártási ktg.	2,ooo	52,oo	3oo	8,o
3. Ujrafeldolg.	46o	12,o	285	7,6
4. Elhasznált üzemanyag szállitása	22o	5,6	16o	4,o
5. Vegyes feldolgozási ktg.	1,25o	32,4	4o8	1o.8
Összesen	6,48o	168,4	2.12o	55.6
6. Netto üzemi hatásfok	25%		28%	
7. Sugárzási szint: 7,5oo Mwnap/tonna				

I/665/S/Sz.

2. Táblázat /Vegyes feldolg.ktg./

Folyamat	Maximális ktg.		Minimális ktg.	
	dollár/kg,	dollár/mag	dollár/kg,	dollár/mag
UF_6-ból				
UO_2	3o	75o.ooo	lo	25o.ooo
UNH-ból				
UF_6	12	28o.ooo	3	66.ooo
PuNH-ból				
fém	2,4oo	22o.ooo	looo	92.ooo
	részösszeg	1,25o.ooo		4o8.ooo

3. Táblázat: Üzemanyagköltség az elégési fok függvényeként.

Sugárzási szint Mwnap/tonna	Felső határ mill/kwó	Alsó határ mill/kwó
5.ooo	7.9	2.6
7.5oo	6.2	2.o
lo.ooo	5.2	1.8
15.ooo	4.3	1.5
2o.ooo	3.8	1.3
25.ooo	3.5	1.2

Atom Industry 1958 februári sz. 13.old.

Szovjet atomerőművek főbb karakterisztikái előzetes tervek alapján.

	Széntüzelésü atomerőmüvek	Atomerőművek. 1	2	3
Elektromos teljesitmény MW	4oo	4oo	42o	3oo
Hatásfok /brutto/%	3o	35.6	27.6	21.4
		Grafittal moderált vizhütésü reaktor /az eredeti szovjet-tipusból fejlesztették ki/	viznyomásu reaktor	nehézvizzel moderált, gázhütésü reaktor
Fütőanyag	Szén	kismértékben	kissé dusitott uránium	természetes uránium
Beruházás 1 kW teljesitményre esően %	loo	15o	125	2oo
1 kW teljesitményre eső összköltség %	loo	loo	8o	125
Az elektromos energia összköltségből a fütőanyagra eső arány	loo	9o	6o	5o

I/65/S/Sz.

Atom Industry, 1958 Január

Szovjet atomerőmü tervek.

A következő néhány éven belül a Szovjetunió kettő és kettő és fél millió kilowatt összkapacitásu atomerőműveket fog épiteni. Ebbe tartoznak majd az első nagy erőtelepek 400.000 és 600.000 kW közötti kapacitással és kis kapacitásu kisérleti állomások különböző tipusu reaktorokkal.

N.A. Nikolajev az USSR Atomenergiafelhasználási Központi Igazgatóság igazgatóhelyettese a Trud egyik munkatársának nyilatkozott az USSR atomenergiaporgramjára vonatkozólag mikoris kifejtette, hogy csak nagyméretü atomerőművek gazdaságosak. Ilyen erőtelepeken ugyanis nagy reaktorok állithatók be, kevésbé dusitott tápanyag használható fel és teljesebb elégés biztositható. Az uj erőtelepeken 100.000-200.000 kW-os reaktorok lesznek üzemben. A jelenlegi ötéves terv három különböző tipusu nagy atomerőmü épitését irányozza elő.

Az első fajta egy a Szovjetunióban már müködő erőmühöz hasonló. Korszerü 100.000 kW-os nagynyomásu turbinákkal látják el. A nyomás 90 atmoszférás és a tulhevitett gőz hőfoka 500 C^{o} lesz. Ezen a telepen a tulhevités a reaktorban történik. Ezért nem lesz szükség tulhevitőre, ami a gőzgenerátor legköltségesebb része.

Nikolajev szerint az ilyen tipusu atomerőállomás termikus hatásfoka viszonylag nagy - több, mint 35 % lesz.

A második fajta erőtelep nagynyomás alatti vizzel hütött reaktorokkal fog rendelkezni. Az egyes reak-

torok és a telep teljes egészében kis energiák mellett működik, ami növeli a telep megbizhatóságát és lehetővé teszi, hogy az alapfelszerelést javitsák és ellenőrizzék, anélkül, hogy a reaktort és a müvet le kellene állitani. Kissó dusitott uránium, cirkonium ötvözet burkolatban szolgál majd a reaktor tápanyagául.

Feltételezik, hogy a villamosáram költsége ennól az erőmünól versenyképes lesz az eddigi leghaladottabb tipusu, szokványos tüzelőanyagot használó erőmüvek termelési költségéhez viszonyitva.

A harmadik fajtánál, mely Nikolajev szerint különösen érdekes, moderátorként nehézvizet alkalmaznak és 6o-7o atm. nyomás alatt zárt rendszerben cirkuláló széndioxidot alkalmaznak hütési célra.

A reaktorban 5oo C^{o}-ra hevitett széndioxid a gőzgenerátorba kerül és a másodlagos körfolyam vizét melegiti fel, majd egy üvegfuvó visszahajtja a reaktorba.

Miután moderátorként nehéz vizet használnak, a reaktor természetes urániummal táplálható, ami sokkal olcsóbb, mint a dusitott uránium. Az ilyenfajta erőtelepnek ez a legnagyobb előnye.

A viszonylag kiskapacitásu négy kisérleti erőtelepről szólva, melyeket a mostani ötéves terv keretében sokatigérő reaktortipusok kipróbálására kivánnak felépiteni, Nikolajev a következőket mondta:

"Ezen berendezések egyike /7o.ooo kW/ vizforraló reaktort kap. Az ebben a reaktorban termelt telitett gőz 29.atm. nyomás alatt közvetlenül a turbinába jut."

Rámutatott arra, hogy mivel ez a gőz rádióaktiv lesz, valószinüleg el kell majd látni a turbinát egy biztonsági védőréteggel és ugyanakkor távvezérlést is alkalmaznak.

I/665/S/Sz.

Nikolajev az egyszeri körfolyamos elrendezést igen kedvezőnek és sokatigérőnek tartja, mivel lényegesen leegyszerüsiti az erőmü beruházási épitkezési költségét és nincsen szükség költséges gőzgenerátorokra.

A második kisérleti állomáson - 5o.ooo kW - moderátorként grafitot és hütőként olvasztott nátriumot alkalmaznak. A nátrium a körfolyamban nyomás nélkül nagy hőmérsékletre hevithető, ami nagynyomásu gőzt fejleszt és ez igen jó hatásfokot biztosit.

Ez a kisérleti erőtelep lehetővé teszi hogy kivizsgálják nagyobb méretü, ilyen tipusu reaktorokat alkalmazó erőtelepek hatásfokának szintjét.

A harmadik kisérleti telep homogén, természetes circulációju reaktorral fog rendelkezni, ahol a tápanyag finom urániumsók porát, vagy oldatát tartalmazó nehézviz - uránium keverék. A reaktor tervei ugy készültek, hogy tápanyagot szaporit a thorium 232- uránium 233.ciklusba. Kétszeres cirkuláció berendezés hüti a reaktort.

Nikolajev kifejtette, hogy jóllehet homogén reaktorok viszonylag kis tápanyagtöltéssel nagy kapacitásuak lehetnek, mint más lassu neutronokkal fenntartott reaktorok, mégsem oldják meg a természetes uránium teljes kiégését.

Ilyen szempontból a negyedik kisérleti telep, gyors szaporitó reaktor alkalmazása mellett elég jó kilátásokat nyujt.

Itt plutoniumot alkalmaznak a sugárzási zónában és uránium -238-at a szaporitó rétegben; egy három körfolyamos 48o C^{o} hőfoku folyékony nátriumos berendezéssel hütik. A másodlagos körfolyam nátrium - kálium ötvözet, vagy nátrium. A 42o C^{o} hőfoku, 32 atm. nyomásu gőz a gőzgenerátorból egy szokványos gőzturbinába kerül.

Arra a kérdésre, hogy ezen reaktorok közül melyiket részesitik előnyben, Nikolajev azt válaszolta, hogy jelenleg ezt még nem lehet megállapitani. Szükséges, hogy először valamennyi reaktort tanulmányozzuk egyik, vagy másik tipus látszólagos előnyei ellenére is.

A hatodik ötéves tervünkben előirányzott nagy atomerőművek és kisérleti berendezések üzemeltetésével szerzett tapasztalatok,szerint lehetővé teszik, hogy megtaláljuk a legjobb utat atomenergiaiparunk fejlesztésére.

Technische Rundschau
5o/3 24. Jan. 1958.

A reaktorépitás fejlődése az USA-ban

B e v e z e t é s

Mind a polgári, mind a katonai célokra szolgáló magreaktorok fejlődésében az Egyesült Államokban hónapról hónapra fontos és uttörő események jegyezhetők fel.

Az állam által erősen szorgalmazott magánvállalati reaktorépitkezés eredményei most kezdenek mutatkozni. Az AEC által a reaktorépitkezésben való részvételre kibocsátott két felhivásra /1955 január és szeptember/ a magánipar részéről lo javaslatot terjesztettek be, melyek közül hetet tárgyalási alapul el is fogadtak. Két szerződés már aláirásra került. Az AEC 3. felszólitására /1957 január/ két javaslatot nyujtottak be, amelyek 2 reaktort 136.ooo kW, illetve 66.ooo kW teljesitménnyel irányoznak elő.

Kilenc további, az EC-től független ipari csoport foglalkozik erőmüreaktorok tervezésével és épitésével. Ezeknek elkészültük után együttesen több mint 1,ooo.ooo kW kimeneti teljesitményt kellene nyujtaniok. Eme erőmüvek egyikének még ez év folyamán el kell készülnie /General Electric, Pleasanton, California/ két további, mely jelenleg épités alatt áll, előreláthatólag 196o-ban kerül üzembe /Commonwealth Edison Co., Consolidated Edison Co./

A Tengerészeti Hatóság és a Babcock et. Vilcox Co valamint George G. Sharp Inc. magánvállalatok között 1957 áprilisában szerződés jött létre egy atomerőhajtásu kereskedelmi hajó épitésére vonatkozólag.

1957 év első felében az Állami Reaktorkisérleti Program két reaktormüve volt üzemben. A kisérleti vizfor-

raló-reaktor /EBWR/, mely a mult év végén vált kritikussá, megkezdhette az Argonne-Nemzeti Laboratorium áramellátását 5ooo kW teljesitménnyel. A nátrium kisérleti reaktor /SRE/ a kaliforniai Santa Susanaban áprilisban érte el a kritikus állapotot és megkezdődhettek az első kisnyomás-kisérletek. Ezek befejezése után a reaktorból nyert hőt 65oo kW elektromos teljesitmény fejlesztése céljából a Délkaliforniai Edison Hálózatnak adják majd el. Ezeken kivül a Hadsereg szállitható teljesitményreaktora 1855 kW teljesitmény fejlesztését kezdte meg Ft. Belvoir-ban /Virginia/. Ennek a tipusnak mind polgári, mind katonai jelentősége van.

A szerves folyadékkal hütött reaktor /OMRE/ melyet a Nemzeti Reaktorkisérleti Állomás Idaho-ban és a homogén reaktor-2, melyet /HRE-2/ megjelöléssel az Oakridge Nemzeti Laboratorium épit, állitólag még ez év folyamán elkészülnek. Az első, kizárólag energiaszolgáltatásra szánt atomerőmü az Egyesült Államokban, a Shippingportban /Pennsylvania/ épülő, nagynyomásu vizzel hütött reaktor ugyancsak folyó évben kerül üzembe.

Jelentős haladás történt katonai célokat szolgáló reaktorok fejlesztése terén. A "Nautilus" tengeralattjáró reaktorát ujból töltötték, miután a tengeralattjáró több mint 62.ooo tengeri mérföldet tett meg üzemanyag felvétele nélkül. A "Seawolf" tengeralattjáró reaktort korlátozott szolgálatrā átvették, de a Tengerészeti Átvételi Hivatal azt ajánlotta, hogy a nátrium-berendezést egy nagynyomásu vizzel hütött, Nautilus-tipusu reaktorral cseréljék ki. A kisérletek a S1G-szárazföldi - prototipusreaktorral West-Milton /New-York/ befejezést nyertek. Tengeralattjárók, valamint egy nagyobb hajó hajtómü-prototipusainak tervezési munkái folyamatban vannak. Egy cirkáló és egy romboló számára ugyancsak továbbfejlesztettek atomhajtómüveket.

I/665/S/Sz.

Az AEC második legnagyobb általános kisérleti reaktorának az Engineering Test Reactor /ETR/-nak épitési munkái befejezés előtt állnak. Továbbá az Idahoban müködő anyagvizsgáló reaktor /MTR/ részére plutoniumból kisérleti tápelemeket készitettek, ki is próbáltak; majd behelyezték a reaktormagba és most tápanyagként használják. További haladást értek el rádióaktiv hulladékanyagok eltávolitási eljárásának fejlesztése terén.

A reaktorépitéssel kapcsolatos fejlődés összesitett áttekintését az 1956. XII. 31-től 1957 VI.3o-ig terjedő félévben az Egyesült Államokban az I. Táblázatban adjuk.

Annak érdekében, hogy az USA reaktorprogramjának áttekintését megkönnyitsük a 2. Táblázatban összeállitottuk az AEC nagyobb kutatási és fejlesztési központjait. Az AEC-vel szerződésben álló vállalat nevét zárójelben jegyezzük meg; a központ igazgatása és üzembentartása a vállalat kezében van.

A 3. Táblázatban feltüntettük az USA-ban épitett, épités alatt álló és tervezett teljesitményreaktorokat, valamint a polgári, vagy katonai célt szolgáló teljesitményreaktorkisérleteket. Alacsonyhőmérsékletü reaktorokat /kisérleti és anyagvizsgáló reaktorok, kritikus egységek/ nem vettünk fel a táblázatban.

A következőkben a reaktorépités különböző szektoraiban elért legujabb eredményeket egyenként ismertetjük.

<u>Polgári teljesitményreaktorok állami épitésének programja.</u> A reaktorépitési program egyik legfontosabb eseménye a mult évben annak a megállapitása volt, hogy teljesitményreaktorok épitési költségei az eddig reálisnak vélt becsléseket nagymértékben felülmulták. Fokozzák tehát az arra irányuló erőkifejtést, hogy olyan reaktortipust dolgozzanak ki, mely versenyképes áron termelhet villamosenergiát.

Az AEC részéről a gazdaságos energiatermelés szempontjából kidolgozásra kerülő tervek a következő reaktorfajták fejlesztését, tervezését, felépitését és üzemeltetését irányozzák elő Nyomásalatti vizhütéses, vizforraló, nátriumgrafit, gyors-szaporitó, vizeshomogén, szerves hütésü és plutoniummázas reaktorok.

A gázhütésü reaktorral történő kisérlettel, mely a Hadsereg reaktorprogramja keretében folyik és mind polgári, mind katonai szempontból fontos, a katonai reaktorok sorában foglalkozunk.

A reaktorkisérletek ilyen nagy számának magyarázatát abban a tényben kereshetjük, hogy az USA-ban a szokványos tüzelőanyagokkal termelt elektromos energia jelenlegi kis költsége nem sietteti kényszeritően a probléma megoldását és igy lehetőség van arra, hogy valamennyi sikertigéró reaktortipust alaposan megvizsgáljanak. Igy megtalálhatják azokat a tipusokat, melyek atomerőművekhez a legalkalmasabbak és a legmegbizhatóbb és leggazdaságosabb áramtermelés szempontjából az USA és más országok számára ajánlatosak.

A nagynyomás alatti vizhütésü reaktor kivételével a kisérleti program reaktorépitkezési nem képviselnek olyan méretü, teljes üzemü erőmüveket, mint amilyenek épitését később az atomenergia gazdasági kihasználásával kapcsolatban tervezik. Ehelyett inkább csak olyan méretü reaktorépitési kisérletekbe fognak, melyek lehetővé teszik bizonyos müszaki problémák megoldását. Io ilyen reaktorkisérletet fejeztek be az USA-ban, 4 épitése folyamatban van, 4 további pedig tervbe van véve.

Nagynyomás alatti vizhütéses reaktor.

Folytatták a Shippingport /Pennsylvania/-ban épülő nagynyomás alatti vizzel hütött reaktormübe további alkatrészek beépitését. Az erőmütelep terveit, mint fő szerző-

dóses társ az AEC-vel kötött szerződésben, a Westinghouse Electric Co. készitette. A Duquesne Light Co. Pittsburg /Pennsylvania/ épiti a tulajdonképpeni reaktoron kivül fekvő erőmüberendezést és ez üzemelteti majd elkészülte után az egész erőművet, ha egyszer elkészült. A telep leadott teljesitményének az előirányzat szerint 60.000 kW-nál többnek kell lennie.

A nagynyomásu kazán, mely a reaktormagot körülveszi, végleges helyére került és a 4 hütőszivattyu közül kettőt már beépitettek, a főgenerátort pedig a mü turbogenerátor oldalán ugyancsak felállitották. A kondenzátor csővezetékeit elkészitették. Segédberendezéseket, kapcsoló- és vezérlőberendezéseket csatlakoztattak. A reaktorüzemépület épitészeti része is elkészült. A munka folyamán a részletes számitások alapján kiderült, hogy a reaktormag költségei az előzetes költségvetéssel ellentétben 37.75 millió dollár helyett 55 millió dollárra fognak rugni!

Kisérleti vizforraló reaktor /EBWR/.

A kisérleti forróvizes reaktort, mely a kritikus állapotot a mult év végén érte el /Lábj.: "kritikussá" válásnak azt nevezzük egy reaktornál, ha a láncreakció beáll és magától fennmarad, azaz önfenntartóvá válik./, febr. 9-én avatták fel és megkezdték vele a széles területet felölelő kisérleteket. Az Argonne-i Nemzeti Laboratóriumokban az alkalommal tartott ünnepségek folyamán az AEC elnöke, Strauss mondotta: "az 1957-es év véleményem szerint az az esztendő, melyben kezdjük learatni nagyvonalu atomenergiaprogramunk gyümölcseit - ez az év az, melyben kutatási és fejlesztési munkánk eredménye kezd mutatkozni, és ezekben az eredményekben vezetőszerepet visz a vizforraló reaktor. Az 1957 év később olybá vehető mint az atomenergia nagykoruvá válásának éve, mert mielőtt véget érne az esztendő, legalább 5, de talán 6 atomerőművünk lesz üzemben egy kb.

I/665/S/Sz.

87.ooo kW-ot szolgáltató összteljesitménnyel és mindez békés célokra."

Az EBWR, az USA első reaktora, mely kizárólag energiatermelésre szolgál, az Argonne-i Laboratoriumok számára 5ooo kW-t szolgáltat. Kisérleti épitkezésként készült nagyobb erőművek tervezéséhez. A reaktort határidőre, 6.1 millió dollár költséggel épitették fel, beleértve az épitési munkákat és a tulajdonképpeni reaktormagot, azonban kizárólag kutatási és fejlesztési célokat szolgál.

Az EBWR üzemi eredményei azt mutatják, hogy minden további nélkül a tervezett 2o Megawatt hőteljesitmény kétszeresét is megtermelné. További teljesitménynövelés főleg hütőközegcirkuláció emelésével érhető el. Jövő üzemi tervek a könnyü vizzel való hütés és moderálás helyett ilyen célra nehézviz alkalmazását irányozzák elő.

Vizforraló kisérleti reaktor No.4. /BORAX/

1957 évben az Argonne-i Nemzeti Laboratoriumokban kisérleteket végeztek ezzel a reaktorral, melyek lehetővé tették, hogy pillanatnyi csucsteljesitményeknél való pontos viselkedését megállapitsák. Stacionárius forralási kisérletek rendes nyomás mellett ugyancsak ismételten történtek, mikoris a leadott teljesitmény elérte a 2,5 megawattot. Jóllehet nagyobb teljesitményeknél a reaktátivitásokban ingadozásokat észleltek, de az általános tapasztalat arra mutat, hogy a reaktor sokkal stabilabb, mint gondolták.

BORAX-4 a korábbi BORAX-3 átalakitásával jött létre, ebbe aluminiumburkolásu uránoxid-thoroxid mag-tápelemeket helyeztek. Főcélja az ilyen magtápelemek biztonsági és stabilitás szempontokból való kipróbálása. A Borax név onnan ered, hogy neutronokkal szembeni biztonsági abszorbensként bórt alkalmaztak.

I/655/S/Sz.

Argonne-i Vizforraló Reaktor /ARBOR/

Az Argonne-i Nemzeti Laboratoriumokban folytatták ennek a vizforraló reaktornak tervezési munkáit.

Nátrium-kisérleti reaktor /SRE/

Április 25-én érte el a nátrium kisérleti reaktor a kritikus állapotot. Az első üzembehelyezésnél a reaktort kb 1 kW /hő/ teljesitmény-leadás mellett üzemeltették. Áramot nem termelt. Az SRE előirányzott teljesitménye 20.000 kW /hő/. Az Atomics International, a North American Aviation Inc egyik alvállalata épitette, Santa Susanna-ban.

Több kisérletet hajtottak végre, hogy a reaktormag viselkedését megállapitsák és valamennyi reaktorrészleg hibátlan müködését biztositsák. Ezek után a kisérletek után a reaktor teljesitményét lassan emelni szándékoznak.

A termelt hő kisérletképpen a Southern Cliornia Edison vállalatnak adják el, hogy az egy állami támogatás nélkül épitett generátor segitségével 6500 kW elektromos teljesitménnyel áramot termeljen.

Gyors-szaporitó reaktor.

Egy uránium 235-tel erősen dusitett pótmagot - ez a Nr.1. /EBR-1/ gyors szaporitó reaktor harmadik magja - állitottak elő Argonne-ben, hogy a reaktort 1957 végére ismét üzemképessé tegyék. Ennek a reaktornak második magját, mely egytransiens-kisérleti sorozatban 1955 novemberében megsérült a Nemzeti Reaktorkisérleti Állomáson /NRTS/ helyreállitották és pontos kivizsgálás végett elküldték az Argonne-i Nemzeti Laboratoriumba. A pótmagot ugy szerkesztették meg, hogy a tápelemek befelehajlása bizonyos hütőközegáramlások-

nál már ne lépjen fel. Ezt a behajlást tekintik a korábbi reaktormaggal észlelt instabilitások okának.

A 2.sz. /EBR-2/ gyors szaporitó reaktor különböző alkatrészeit lemásolták és a reaktor-tartály egy 1:4 méretü modelljével együtt Argonne-ban több kisérletet végeztek velük. Többek között rekonstruáltak több nagy nátriumszivattyut, tüzelőanyagszállitóberendezéseket, hütőrendszereket, melyek a reaktor leállitása után üzembe kerülnek. Ezek az alkatrész és tartozék-próbák a távvezérlési berendezéseknek és az EBR-2 tervében szereplő egyéb ujitások használhatóságát bizonyitják. A H.K. Ferguson Co, Cleveland müszaki-épitkezési előkisérleteket végezhetett. A jelenlegi költségvetés szerint a teljes reaktormü felépitése 29.1 millió dollárt tesz ki, beleértve egy hasadóanyagfeldolgozó telepet. Ezt a munkatervet Argonneból irányitják.

Folyékony plutoniumos reaktor.

Egy kis kisérleti reaktor /LAMPRF-1/, melynél folyékony plutoniumot használnak maganyagként, továbbá épienek a Los-Alamos tudományos laboratoriumában. Különösen tartál szerkezeti elemek előállitásán dolgoztak, mivel ez az anyag a plutonium-okozta korrózióval szemben ellenáll.

Homogén reaktorok.

Az Oak-Ridge Nemzeti Laboratoriumban folytatták a kisérleteket a 2.sz. homogén reaktorral. Mint ismeretes ezeket a kisérleteket mult decemberben félbeszakitották, miután a vezérlőberendezésben komoly meghibásodásbk léptek fel. A vezérlőcsőrendszer rozsdamentes acélból készült csöveit a képződött klorid megtámadta és igy ritkulások álltak be. Most egy ujonnan kifejlesztett csőrendszerben kezdtek áramlási kisérletekbe. Több mint 1200 órán keresztül vizes uranilszulfát oldatot szivattyuztak át a csöveken 280 C^{o}

hőmérséklet és 115 at nyomás mellett. Természetes urániumot a reaktorban uralkodó feltételek mellett 5oo órán át cirkuláltattak. Az eredmények kielégitők voltak.

1957 áprilisában ismételten részletesen megvizsgálták a csőrendszert és a kloridok által megtámadott részeket pótolták. Ezeknek a munkáknak a befejezése után elkezdték az utolsó próbaüzemeltetéseket, ugyhogy rövidesen számitani lehet a reaktor üzembeállitására.

Los-Alamosi teljesitményreaktor /LAPRE/.

1956-ban a LAPRE 1. reaktorral folytatott kisérleteket azok nyilvánvaló sikertelensége miatt abbahagyták. Ez az ugyancsak homogén tipusu reaktor már igen bonyolult szerkezetü volt és főleg azért mondhatta fel a szolgálatot, mivel a hőkicserélőben korrózió lépett fel. Miután azonban a homogén reaktor elve általánosságban helyesnek bizonyult, LAPRE-2 elnevezéssel egy második ilyenfajta reaktort fejlesztettek ki. Ez a reaktor most elkészült, miután a LAPRE-1 hőkicserélőivel kapcsolatban szerzett tapasztalat alapján olyan berendezést állitottak elő, mely korrózióállónak tekinthető.

Szerveshütésü kisérleti reaktor. /OMRE/

A szerves hütésü kisérleti reaktort a Nemzeti Reaktorkisérleti Telep területén, Idaho-ban épitette fel az Atomics International vállalat. A reaktor már megkapta kritikus töltését és a kritikussági kisérletek kedvezően végződtek. Ez a reaktor, mely 5ooo-16ooo kW hőt /áramot nem/ fog termelni annak kikisérletezésére szolgál, vajon szerves anyagok, mint difenil, vagy terfenil alkalmasak-e teljesitmény reaktornál hütő- és moderáló anyagnak.

Folyékony fémes kisérleti reaktor.

A kutatási és fejlesztési munkát folytatták az LMFRE berendezés részein a Brookhaven-i Nemzeti Laboratorium-

ban annak a szerződésnek keretében, melyet az AEC az elmult novemberben a Babcock et. Wilcox Co, New-York vállalattal kötött, folyékonyfémtöltésü reaktor fejlesztésére, tervezésére és épitésére. Többek között grafitra és egyéb reaktorépitési anyagra vonatkozó számitásokat végeztek el és a reaktor belsejében levő magas hőmérséklet melletti üzemhez megfelelő alkatrészeket fejlesztettek és próbáltak ki.

Nyomás alatti nehézvizes reaktor.

Vizsgálatok és kutatási kisérletek folytak a nyomás alatti nehézvizes reaktorok területén a Savannah-River-telepen. Elvégezték az első méréseket ilyen reaktorberendezés több lehetséges elrendezésére vonatkozólag. Tovább folynak a munkák természetes uránium tápelemek kifejlesztésével és egyéb müszaki problémákkal kapcsolatban.

Teljesitményreaktorok bemutatása.

Az AEC három ajánlati felhivással fordult az USA állami és magánintézményeihez, hogy teljesitmény-reaktor bemutatási programjában való részvételre buzditsa ezeket. Az ismert, igen kedvező szerződési feltételek ezeket az intézményeket ajánlattételekre serkentették. Beleértve a két első ajánlatot, melyek az AEC 3. /utolsó/ felhivására érkeztek be, összesen 12 ajánlat futott be. Az első felhivás alapján, mely 1955 januárjában kelt, három ajánlatot szerződés tárgyalási alapjául fogadtak el, mig két szerződést tónylegesen meg is kötöttek. A második, 1955 szeptemberében kelt felhivásra, mely kis atomerőmüvekre kért ajánlatokat, benyujtott 7 javaslatból 4-et fogadtak el tárgyalási alapul.

A 7 elfogadott ajánlat, beleértve a megkötött szerződéseket és a tárgyalás alatt levőket, a 4. táblázatban látható.

I/665/S/Sz.

3. Ajánlati felhivás.

A teljesitményreaktor bemutatási program kiszélesitése révén a 3. ajánlati felhivás az atomerőmüvek kifejlesztésével, megtervezésével és épitésével kapcsolatban, a Bizottság szerint, nem szab korlátot méret és mód tekintetében. Eppen igy nem tüz ki határidőt, vagy ütemezést, kivéve az erőmüvek teljes elkészültének határidejét. Ezt a határidőt 1962 junius 30-ában állapitották meg. Ez a határidő egy kivételével valamennyi reaktorra vonatkozik. A folyadékos magu reaktorokra vonatkozólag egy az AEC által 1957 junius 10-én kiadott közlemény szerint a határidőt "legalább 1963 jun. 30-ig" hosszabbitották meg. Erre a meghosszabbitásra a reaktorok ilyen tipusánál a kutató és fejlesztési munkában, alapvető kutatások terén előre nem látott nehézségek miatti elmaradás következtében van szükség.

A Bizottság különös érdeklődést mutat a/ természetes urániummaggal, nehézviz moderátorral, és b/ uránium, vagy uránium- és tóriumanyagot tartalmazó vizes oldatból, vagy iszapból álló maggal rendelkező reaktorok iránt. Ha ilyen tipusu reaktorokra vonatkozólag a magánvállalatok részéről nem futna be ajánlat, akkor az AEC a Kongresszustól felhatalmazást kér arra, hogy ilyen tipusokat állami programként dolgozhasson ki. Hasonló módon és azonos feltételek mellett a Bizottság időről-időre más reaktortipusokat is felépitésre késznek fog nyilvánitani, ha a müszaki fejlődés ilyen határozatot indokolttá tesz.

A támogatás, melyet az AEC a 3. felhivása keretében biztosit, három általános irányban jelentkezik: a/ Lemond egy bizonyos meghatározott időre a kutatási források és bizonyos irásbeli dokumentáció használatáért járó megállapitott dijról, b/ közösen megállapitott kisérletek és próbák dijtalan, vagy mérsékelt áron való lefolytatása

a Bizottság laboratóriumaiban, ha ezek kivitelezése máshol nem történhetik meg. c/ olyan kutatási és fejlesztési munkák támogatása, melyek szükségesek ahhoz, hogy müszaki vonalon olyan elgondolásokat tökéletesitsenek, melyektől a gazdaságos és biztonságos atomenergiatermelés kielégitő mértékben várható.

Ápr. 3o-án a 3. sz. felhivás keretében a Florida Nuclear Power Co. ajánlatot nyujtott be. Az ajánlat egy természetes uránium töltésü, gázhütésü és nehézviz moderátorral ellátott reaktor épitését irányozza elő Florida középnyugati részén, melynek elektromos teljesitménye 136.ooo kW lenne. Erre a reaktortipusra a 3.sz. felhivás szövegében különös utalás történt.

Máj. 15-én a Northern States Power Co, vállalat melynek müködési területe Minnesota, Wisconsin, Észak- és Déldakotában fekszik, egy vizforraló-atomerőmüre tett ajánlatot azzal, hogy ennek teljesitménye 66.ooo kW elektromos energia lenne. A Középnyugat számos további vállalata kifejezte készségét, hogy eme program kutatási és fejlesztési költségeinek támogatásához hozzájáruljon.

Szerződések.

A Power Reactor Development Co és az AEC között márc. 26-i aláirással létrejött szerződés a második az 1. sz. felhivásra az erőmü bemutatási programmal kapcsolatosan a Bizottsághoz beterjesztett szerződési ajánlatok közül. A szerződés szerint az AEC maximálisan 4.45 millió dollár erejéig végez kutatási és fejlesztési munkákat és 5 évi időtartamra lemond bizonyos mukleáris anyagok használatáért járó szokásos dijról az üzembehelyezés engedélyezése után. Ellenszolgáltatásként a detroiti társaság a Bizottságnak rendelkezésére bocsátja a Monroe/Michigan/-ban müködő, kb. loo ooo kW-t termelő gyors-szaporitó reaktora épitésére és működésére vonatkozó teljes müszaki dokumentációt. Egyidejü

irásbeli megállapodásban kötelezettséget vállalt a Bizottság arra, hogy a szükséges hasadó anyagot a vállalat részére feldolgozza mindaddig, amig a magánipar nem lesz képes arra, hogy ezt a feldolgozást elérhető áron elvégezhesse.

A PRDC reaktorának acélépületét 1957 évben 3,7 km^2 kiterjedésü területen elkezdték épiteni Monroe /Michigan/-ban. Alapozási és alapépitkezési munkák folyamatban vannak.

A Yankee Atomic Electric Co, Bostonban /Massachusetts/-ban 196o-ban kellene elkészülnie. Az AEC által ehhez a programhoz biztositott támogatást szerződésileg fektették le. Ez volt az első szerződés melyet a Reaktorbemutatási program keretében aláirtak/1956 junis/.

Tovább folynak a tárgyalások a Consumers Public Power District, Columbus /Nebraska/ vállalattal a javasolt 75.ooo kW teljesitményü nátrium-grafit erőmüvel kapcsolatban.

A Chugach Electric Association, Anchorage/Alaska/ és a Nuclear Development Corp of America, White Plains, New-York vállalatok együttes ajánlatával kapcsolatosan szerződésileg szabályozták a kutatási, fejlesztési és tervezési munkák értékét 2.2 milliéig egy folyékony nátriummal hütött, nehézvizzel moderált reaktorrendszer lehetőségeinek kipróbálására. Ez a munka egy atomerőmü épitését és későbbi üzemeltetését irányozza elő Anchorage/Alaska/-ban. A reaktor felépitésére vonatkozó hármas szerződést a kutatási munkák befejezte után kötik meg. Az erre vonatkozó tárgyalások folyamatban vannak.

Szerződésre vonatkozó tárgyalások folynak még a Rural Cooperative Power Association, Elk River /Minnesota/ Wolverine Electric Cooperative, Big Rapids /Michigan/ és a City of Piqua, Ohio, vállalatokkal is.

I/665/S/Sz.

További ipari programok

Három további csoport jelentette be további atomerőmü felépitésére vonatkozó szándékát. Ezáltal a magánvállalkozók, vagy ipari érdekeltségek független épitkezési programjainak száma lo-re emelkedett. Ezek közül egyesek költségeit kizárólag magánkézből fedezik. A finanszirozás kérdése egyébként még nem minden esetben szabályozott.

A Pacific Gas et. Electric Co bejelentette, hogy Kaliforniában nagyméretü reaktort kiván épiteni. Ezt esetleg más vállalatokkal közösen kivánják megoldani. A Pg et. E vállalat máris ajánlatokat kapott erre vonatkozólag a General Electric Co és a Westinghouse Electric Corp. cégektől.

A West Penn Group, mely magában foglalja az Ohio-völgy és környékének vállalatait, olyan tervet jelentett be, mely szerint egy kisméretü, kb 13,ooo kW elektromos teljesitményt szolgáltató reaktor-prototipust kiván elkésziteni 1962-ig. Amennyiben a kutatómunka a prototipuson kedvezően alakul, a West Penn azt reméli, hogy egy 2oo,ooo kW-os reaktor épitésének és üzemeltetésének terveibe már 1962 előtt is belefoghat.

Az Isotope Products Inc, Buffalo, New-York vég több vállalattal együtt vizforraló reaktor épitését tervezi kobalt-6o és vizgőz termelése céljából azzal az elgondolással, hogy a vizgőzt egy cellulóze és papirgyárba vezetik be. Ennek a reaktornak terveit a General Nuclear Engineering Corp, Dunedin /Florida/ készitik.

Hogy teljessé tegyük azoknak a magánvállalkozások felsorolását, melyek a korábban emlitettek mellett már régebben jelentették be épitési terveiket, az 5. táblázatban tüntettük fel ezt a hat épitkezési programot.

A fő épitkezési munkát a 18o.ooo kW-s Commonwealth-Edison- Atomerőmünél márciusban és a 27.5oo kW-Consolidated Edison - kombinált atom- és normál erőmünél februárban kezdték meg. Mindkét esetben az épitkezés befejezését 196o-ra irányozták elő. A General Electric és a Pacific Gas Electric Co 5ooo kW-os telepe épités alatt áll és folyó évben befejezést nyer.

A Pennsylvania Power and Light Co. épitkezésével kapcsolatos kutató és előkészitési munka már erősen előrehaladt. A többi feltüntetett vállalat terveit részleteiben még nem ismerjük.

Hajómeghajtó reaktorok.

Az AEC és a Tengerészeti Hivatal memorandumban szabályozták egy első atomhajtásu kereskedelmi hajó épitésére vonatkozó programjukat és ezen tulmenően egy közös távlati programot kereskedelmi hajók számára gazdaságilag versenyképes atomhajtómüvek kifejlesztésére vonatkozólag.

Az első atomhajtásu kereskedelmi hajó. Ápr. 6-án a Babcock et. Vilcox Co.-val szerződés jött létre egy atomhajtómü tervezésére és felépitésére az első atommeghajtásu kereskedelmi hajó számára. A szerződésben leszögeztók, hogy a Babcock et. Wilcox vállalat 9,87 millió dollárban rögzitett ár ellenében a meghajtómüvet, beleértve a reaktort és a gőzgépet tartozékaival leszállitja. Ezzel a programmal kapcsolatban a továbbiakban a Bizottságra háruló kötelezettség, mely többek között magában foglalja a reaktormag tartályának szállitását, a megfelelő reaktor-részek árnyékolásának és a hajtómü beépitésének munkáit, ebben a szerződésben még nem szerepel és későbbi időpontban egyéb kivitelező vállalatokat vonnak be.

A Tengerészeti Hivatal a George Sharp Inc. New-York cégnek adta ki a hajó tervezési munkáit. Ez a vállalat

pedig Walter Kidde Nuclear Laboratories Inc. vállalatot kórte fel szakértőnek a tervezés bizonyos speciális kérdéseivel kapcsolatban. Az AEC és a Tengerészeti Hivatal által közösen kiküldött bizottság, mely a hajóépitő-müveket látogatta végig, jelentésében feltárta a látottak alapján, hogy a vállalatoknál milyen lehetőség, szakerő áll rendelkezésre és hol van megfelelő berendezés ahhoz, hogy ennek a hajónak az épitésében résztvegyenek. Ez a jelentés szolgál egy bizonyos hajóépitő vállalattal kötendő, árat rögzitő szerződésre vonatkozó tárgyalások beinditásának alapjául.

Atomhajtásu kereskedelmi hajók. Mult évben kezdtek bele a sok egyszeri üzemi probléma megoldásába, melyek a hazai és nemzetközi vonalon történő atomhajtásu hajók forgalmának meginditásával jár.

A most tervezés alatt álló hajót olyan amerikai kereskedelmi flotta előfutárjának tekintik, mely később magánvállalkozás tulajdonává válik.

Ennek a programmnak részeként együttmüködés jött létre a Kikötő- Földmérési Hivatal és a Kereskedelmi Kamarával a kikötők felmérésére vonatkozólag. A Kikötőellenőrzési Hivatallal és a Kincstárral tárgyaltak üzemi, tervezési és épitési előirások megállapitása céljából, valamint a különböző Egészségügyi és Jóléti Hivatalokkal, hogy kielégitő egészségügyi és biztonsági feltételeket teremtsenek atomhajtásu kereskedelmi hajókra vonatkozólag. Hajóbiztositási Társaságok ezenkivül előirásokat dolgoztak ki a biztositásokkal kapcsolatban. Az Arthur D. Little, Inc, Cambridge /Mass/ átvette az egészségügyi és biztonsági rendszabályok vizsgálatát az atomhajtásu kereskedelmi hajókkal kapcsolatosan a Ralph M. Parsons Co, Los Angeles pedig megvizsgálta a hasadóanyag szállitásának feltételeit mind szárazföldi, mind viziuton és megfelelő javaslatokat dolgozott ki atomhajtásu hajókra vonatkozólag.

Gazdaságilag versenyképes hajók. Fejlesztési munkákat folytattak közeli és távprogramokkal kapcsolatosan a kereskedelmi hajózásban versenyképes hajtómüvek előállításával kapcsolatban. A következő rendszerekkel kapcsolatos első kutatások befejezést nyertek: szerves hütőanyag; vizforraló három különböző gázhütéses rendszer zárt turbinacirkulációval; kótfajta hélium-grafit rendszer és egy szóndioxidrendszer hidrid moderátorral. A vizsgálatok eredményeinek pontos kiértékelése után kisérletek indulnak meg olyan rendszerekkel melyek a versenyképes atomenergiatermelésre a legnagyobb lehetőséget igérik.

A Westinghouse Electric Co. rendelést kapott egy nagyteljesitményü vizes reaktor vizsgálatára; ez olyan reaktor, mely különösen nagy hőmérsékletek és nyomásviszonyok mellett müködik.

Az American Radiator és Standard Sanitary Corp Redwood City /Cal/ a Stanford Kutató Intézettel együtt megbizást kapott a kereskedelmi hajózás terén lehetséges atomerőalkalmazások vizsgálatára a következő évtizedben figyelembe véve mind az atomüzemü, mind pedig a szokványos hajtómüvek fejlődési irányát. Ezzel a fejlesztési munkával kapcsolatban a magánipar növekvő érdeklődést mutat az atomenergiának a jövendő kereskedelmi hajózásban jutó szerepe iránt. Több hajó-épitő mü késznek nyilatkozott az Állammal való együttmüködésre egy atomhajóépitési program keretén belül.

Katonai reaktorprogram.

A Haditengerészet reaktorprogramja.

A termikus tengeralattjáró -reaktor /LW/S2W/.

A nemzeti Reaktorkisérleti Állomás /Idaho /NRTS/ reaktorberendezése továbbra is üzemben volt, hogy javitott reaktor-

berendezéseket fejlesszenek ós próbáljanak ki, valamint a megfelelő személyzet kiképzése céljából.

Az USS "Nautilus" /SSN571/, tengeralattjárót a General Dynamics Co. Groton /Connecticut/ villamos hajózási osztályán "feltöltöttók", miután 62.560 tengeri mérföldet tett meg, ebből 36.498-at tenger alatt. Ugyanilyen teljesitmény eléréséhez egy szokványos tengeralattjárónak több mint 9 millió liter dieselolajra lett volna szüksége,- olyan mennyiségre, mely 217 tartálywaggon megtöltésére, tehát egy 2 1/2 km hosszu vonatra elég.

A kiégett reaktormagot kivizsgálásra az NRTS-hez szállitották.

A Nautilus tengeralattjáró 1957 ápr. 4-én ismét kifutott a kikötőből és azóta már több, mint 1o.ooo mérföldet tett meg.

Májusban, mikor a Nautilus a Csendes Óceánra futott, hogy ott egy flottagyakorlaton résztvegyen, a Panamából San Diego-ig vezető 3o49 teng. mérf.-nyi utat viz alatt tette meg. Ez a leghosszabb táv, melyet egy hajó felbukkanás nélkül, valaha is megtett viz alatt. Átlagos sebessége 19 csomó volt.

Középméretü tengeralattjáró reaktor. Márciusban az USS Seawolf /SSN575/ S1G szárazföldi prototipusát West Milton, /New-York/-ban üzemen kivül helyezték. Ez a rendszabály annak az elhatározásnak a következménye, hogy a haditengerészet hajóiba nem épitenek be többé nátriumhütésü meghajtóaggregátumokat, a Seawolf tengeralattjáróval végzett kisérletsorozat pedig befejezést nyert. A Seawolf prototipusberendezését körülvevő 7o m-es acélházat más meghajtóaggregátumok prototipusának kipróbálására fogják felhasználni.

I/665/S/Sz.

Eme reaktor lezárásval kapcsolatos határozat alapján a Niagara Mohawk Power Corp. vállalattal a termelt energia eladásával kapcsolatos szerződést már. 21-re felmondták.

1956 jul. 7-től a szerződés felmondásáig 765.160 kW-nyi elektromos energiát adtak 1kWó-ánként o.3 centes áron. Az energiát egy 10.000 kW turbinagenerátor szolgáltatta, melyet a General Electric Co állami támogatás nélkül üzemeltetett. A bevétel 2,295,48 dollár volt. A termelt 2,294.000 kWó-ból csak a felesleg került eladásra, melyre West Miltonban már nem volt szükség.

Az S2G- reaktorberendezéssel hajtott USS Seawolf január 21-én futott vizre, hogy első próbautját megtegye. Febr. 2-án a próbautakat befejezték és márc. 18-21 között a Haditengerészet átvette és megszemlélte a hajót. A szemle eredményeképpen azt javasolták, hogy a Seawolf-ot korlátozott szolgálatra vegyék igénybe és a nátriumberendezést cseréljék fel egy Nautilus-tipusu nyomásalatti vizhütésü berendezéssel. A Seawolf szolgálatbaállitása márc 30-án Groton /Connecticut/-ban következett be.

Épülő tengeralattjáró-reaktor. Folytatták a tervezési és fejlesztési munkákat a General Electric - Knoll-Atomerőlaboratóriumában, Shenectady /New-York/ készülő reaktorhajtómüvön, mely /S4G/ jelzést kapott. Az /S3G/ jelzésü prototipus épitését, West Milton-ban folytatták. Felállitották már egy tengeralattjáró-törzs egy részét, mely a reaktor-prototipus-házat és a gépteret fogja tartalmazni.

Kisméretü tengeralattjáró reaktor. /S1C/ A Combustion Engineering Inc, Windsor, Connecticut müszaki laboratoriumát berendezték egy kisméretü tengeralattjáró reaktor szárazföldi prototipusának felépitéséhez. A tervezési és fejlesztési munkákat folytatták.

Nagyméretü hajó-reaktor. /AlW/ Az ERTS-ben folytatták a reaktor felépitéséhez szükséges berendezéssel kapcsolatos munkákat. Magán a prototipuson a Westinghouse Electric Co. végzi a tervezési és szerkesztési munkákat. Az előirányzott költségek 5.2 millió dollárral összesen 35 millió dollárra emelkedtek.

Cirkáló-program. /FlW/. Tervezési és fejlesztési munkák folynak egy cirkáló-meghajtóreaktoron a Bettis Laboratoriumban /Pittsburgh, Pen/. Ez lesz az első atommeghajtásu tengerenjáró hajó az USA Haditengerészetében. A hajó neve "Long Beach" lesz és a Bethlehem Steel Co., Quincy /Mass/-beli hajóépitési részlegében épitik.

Torpedóromboló-reaktor /DlG/ Februárban kapott megbizást a Knoll Atomenergialaboratorium egy nyomásalatti vizhütésü atomhajtómü kifejlesztésére, melyet egy a rombolók tipusához tartozó tengerenjáró hajón alkalmaznának. Magát a hajótestet és belső berendezést, valamint a gépészeti részt a Bethlehem Steel Co. épiti.

Reaktorok a Hadsereg számára.

Szállitható teljesitményreaktor, /APPR/, egy nyomásos vizhütésü atomerőmü prototipusa, melyet az AEC a Honvédelmi Minisztérium részére fejlesztett ki, ápr. 8-án az US Hadi Müszaki Központjában, Fort Belvoir- /Virginia/-ban elérte a kritikus állapotot. A felavatás ápr. 29-én történt. Az AEC elnöke L. Strauss tengernagy az ünnepségen többek között azt mondta "Törvényszerinti felelősségünk alapján a biztonság és általános honvédelem tekintetében a lehetőség szerint mindent meg kell tennünk .... Közös erőkifejtéseink melyek ezt a sokatigérő reaktort létrehozták, feladatunk egy részét teljesitik, mert ez azt jelenti, hogy a jövőben haderőnk szállitható teljesitményreaktorokkal rendelkezik olyan távoli támaszpontok számára, ahol különben nem rendelkeznének villamosenergiával."

I/665/S/Sz.

Az APPR az első atomerőmü, mely lerögzitett ár melletti szerződésre vagy rendelésre épült. Az atomerőművet, melynek leadott teljesitménye 1855 kW, épitője az Alco Products Inc, Schenectady, New-York hosszabb üzemeltetésre szempontjából próbálta ki. Ennek a reaktornak módositott tipusai a haditerepeken mind fütési célra, mind elektromos áram termelésére szolgáló gőzt fognak fejleszteni.

Az Argonne kisteljesitményü reaktor. Ennek a reaktornak utolsó tervrajzai nagy vonalakban ez év folyamán készültek el. Az épitési munkákat ezen a vizforraló heterogén reaktoron az NRTS-ben folytatták a Fegles Construction Co Inc. Minneapolis/ Minnesota/, mint a legolcsóbb ajánlattevő, kapott megbizást a berendezés szokásos alkatrészeinek elkészitésére, melyek befejezése 1958-ra várható. A Chicago Bridge and Iron Co-t bizták meg az acéltartályok felszereléséve1 és az acélszerkezetek előállitásával. Az épitési költségek a tervezett összeggel szemben az egész épitkezésnél 1.3 millió dollárról 1.98 millió dollárra emelkedtek.

Az Argonne Nemzeti Laboratorium ugyanakkor folytatta a munkát ennek a prototipusnak a magján. Ezek a kisebb erőmüvek arra szolgálnak, hogy messzefekvő katonai támaszpontokon fütést és villamosáramot szolgáltassanak.

Élelmiszerbesugárzó-reaktor. A Bizottság máj. 15-én szerződést irt alá a Kaiser Engineers vállalattal olyan kutató és fejlesztési munkákra vonatkozólag, melyek egy az élelmiszerek sterilizálására szánt reaktor megvalósitását célozzák.

Gázhütésü kisérleti reaktor. Az AEC tárgyalások alapján megállapodást kötött febr. 12-én az Aerojet General Corp. Azusa /Kalif./ vállalattal egy gázhütésü kisérleti reaktor /GCRE/ tervezésére, felépitésére és üzembehelyezésére vonatkozólag. Ez a kisérlet müszaki információ- és tapasztalatok szerzésére szolgál a gázhütésü reaktorok, illetve kisebb

atomerőművekkel kapcsolatosan, melyeket katonai és lehetőleg polgári használatra is, szánnak. A vállalkozó cég az előkészitő kisérletezést befejezte és folytatja a kutatási és fejlesztési munkát. A reaktor alkatrészeinek kipróbálására szolgáló négy gázhütésü berendezés már épités alatt áll.

Korszerübb reaktor-rendszerek. A General Motors Co. Detroit befejezte technikai vizsgálatait egy atomhajtásu távolsági teherkocsival kapcsolatban. A Gilbert Associates Inc. Reading Co ugyancsak befejezte előtanulmányait egy 2o,ooo kW erőmüre vonatkozólag, mely alkalmas külföldön való felállitásra.

A Raython Manufacturing Co, Waltham /Mass/ vállalat egy szállitható folyékony fémes reaktor tervezési munkáit fejezte be. A vonatkozó szerződést az AEC költséghozzájárulása nélkül meghosszabbitották, hogy ennek a reaktornak kipróbálására több időt nyerjenek.

Repülő-reaktor program. A Nemzeti Reaktorkisérleti Állomáson /NRTS/ folytatták az AEC megbizásából a turbinás sugárhajtásu repülőgépek atomhajtásával kapcsolatos kutatásokat. A kisnyomásu tipussal kapcsolatos kisérleti mü épitkezési munkái megindultak. Ezenkivül még egyéb kisérleti és meghajtó-berendezések épitésébe is belefogtak.

Connecticut atomrepülőmotor- laboratorium./CANEL/ Ennek a laboratoriumnak épitése jól halad előre és egy két részlegét már üzembe is lehetett állitani. Ezt a laboratoriumot, melyet az USA Légiereje Middletown-ban épit, a Légierők és az AEC együttes kutatásai számára épitik. Az AEC megbizásából a telepet a Pratt et. Whitney Aircraft Division és az United Aircraft Corp. /East Hartford/ tartja majd üzemben.

Az AEC kutatásokat inditott annak a lehetőségnek tanulmányozására, hogy atomenergiát alkalmazzanak rakéta- és surágrhajtásu motoroknál.

Általános kutatási és fejlesztési problémák.

Müszaki kisérleti reaktor ETR

Az ETR-rel elkészült az Idaho Falls-i Reaktor-kisérleti állomáson szeptember végén az USA legnagyobb és legkorszerübb anyagvizsgáló reaktora. A reaktor neutron-fluxusa 19×10^{14} neutron per /cm^2 x sec/ és lehetővé teszi, hogy kisérleti fülkéiben, melyek 22,5 x 22,5 x 90 cm méretüek és a reaktormagon belül helyezkednek el, viszonylag nagyterjedelmü kisérleti tárgyakat igen intenzivon bombázzunk neutronokkal és gammasugárzással. A kisérleti kamrák elrendezése olyan, hogy részben függőlegesen, részben vizszintesen futnak le a tápelemekhez. A 14 millió költséggel 23 hónap alatt felépitett berendezés magja közönséges vizzel -hütött és - moderált, keresztmetszete 75 x 90 cm. 14 - 18 kg dusitott urániummal töltött MTR tápanyagelemek alakjában, hőteljesitménye 175.000 kW.

Az ETR reaktor, mely igen fontos kutatási eszköz a mgerőmüvek kifejlesztése terén, az AEC atomenergia-programja keretén belül a Phillips Petroleum vállalat igazgatása alá került. Kaiser Engineers volt az épitészeti és épületgépészeti munkák kivitelezője a Phillips Petroleum Co. tervei alapján. A reaktormagot és a távvezérlőberendezést a General Electric Co. Atomenergia osztálya, a reaktorosztályt pedig O.G. Kelley et. Co Boston cég készitette.

Anyagvizsgáló reaktorok. Anyagvizsgáló reaktorokkal történő besugárzás árát 1957 jul. 1-ével 12 %-kal csökkentettók. Ez az árcsökkenés, mely a reaktor beinditása óta már a második, a Phillips Petroleum Co fáradozásainak köszönhető, mely a személyzet célszerübb kihasználásával igyekszik az üzemeltetési költséget mérsékelni.

I/665/S/Sz.

Reaktor-tápanyagok fejlesztése.

Dusitott tápanyagelemek külföldi reaktorok részére. Az AEC folytatta munkáját tápanyagelemek kidolgozása terén, melyek uránium 235-el egészen 2o%-ig dusitott urániumból, különösen külföldi kisérleti reaktorok számára készülnek. Két uránium-aluminium ötvözetü tápelemet az Oak Ridge Nemzeti Laboratorium, 4 továbbit pedig a Babcock - Wilcox cég állitott elő. A tápelemeket ezután az anyagvizsgáló reaktorban besugározták és a vizsgált elemek egyikén sem mutatkozott semmiféle károsodás.

A Babcock - Vilcox vállalattal befejezték a tárgyalásokat egy 2o %-os uránium 235-ös teljes megtöltés szállitására az anyagvizsgáló reaktor számára. Az ilyen maggal való üzemeltetés eredményeit összehasonlitják majd a korábbi dusitott tápanyagelemekkel szerzett tapasztalatokkal.

Plutonium tápanyagelemek. Plutonium-aluminium ötvözetből álló 4 plutoniumelem és 3 plutoniumlemez-elem /mozgatható/, besugárzását megkezdték az anyagvizsgáló reaktorban abból a célból, hogy grammnyi mennyiségekben nehezebb plutoniumizotópokat és transzplutóniumizotópokat nyerjenek kutatási célra és egyuttal a sugárzás káros hatásait tanulmányozzák. A lamellás elemeket két éven át sugározzák be, a többit pedig kb. 15o napig. Eddig még nem tapasztaltak semmiféle sugárokozta károsodást, rombolást, vagy szakadást.

További plutonium-tápelemeket készitenek az Oak Ridge nemzeti laboratoriumban és a Los Alamos Laboratoriumban, hogy megvizsgálják egy teljesen plutóniumtápanyagelem töltésü anyagvizsgáló reaktor lehetőségét.

I/665/S/Sz,

Reaktorbiztonság.

Átmeneti állapotok /azaz a reaktor ingadozó neutrontermelés melletti viselkedésének/ vizsgálata folyt az NRST-ben a SPERT 1-en egy vizhütésü normáltankreaktoron, amely 1955 juliusában vált kritikussá.

A SPERT-2 tervrajza elkészült, a SPERT-3 épitését pedig folytatták. Ezek a reaktorok közepes és nagy nyomásu vizzel hütött reaktorok üzembiztosságának kikisérletezésére szolgálnak és 1958-ra kell elkészülniök.

Átmeneti állapotok vizsgálata folyt a vizforraló reaktorral /KFWB-1/ is kinetikai vizsgálatok céljából. Ez homogén vizforraló reaktor, melyet az AEC megbizásából az Atomics International, Susana /Kalif./ tart üzemben.

Lebontott kisérleti reaktor. Ezren felüli sikeres kisérlet után a Los Alamos Tudományos Laboratoriumban üzemen kivül helyeztek egy kicsi "Bodiva" elnevezésü gyorsreaktort. A reaktor leállitása szükségessé vált, mert febr. 12-én egy véletlen kitörés a dusitott uránium-magot tönkretette. Godiva azért kapta ezt a nevet, mert egy nem árnyékolt és nem hütott uránium 235-ből álló golyóalaku testből áll. Godivát kb. 4oo m távolságból távirányitással vezérelték azért, hogy a személyzet a kisérletek alatt ne legyen sugárzásnak kitéve. Ez a rendszabály jól bevált, mert hiszen még nem várt esetekben is, mint amilyen elő is fordult, senkit sem ért veszélyes sugárzás. A baleset idején a reaktort neutronforrásként alkalmazták kisérleti magelemek pillanatnyi besugárzására. A kisérlet célja az volt, hogy ezeknek az anyagoknak hirtelen neutron besugárzáskor tanusitott viselkedését tanulmányozzák. A hőhullám, mely a balesetet előidézte, előre nem várt teljesitményemelkedés következménye volt.

Godivát kb 6 évvel ezelőtt épitették, hogy nem reflektált, dusitott urániumos rendszerek viselkedését tanulmányozzák. A reaktort később ugy alakitották át, hogy lehetővé váljék láncreakciós jelenségeknek közvetlenül a kritikusság beállta utáni tanulmányozása, azaz annak az állapotnak vizsgálata, melynél a reakciót a hasadásnál felszabaduló neutronok fenntartják, anélkül, hogy a később felszabaduló késleltetett neutronokra szükség volna. Rájöttek arra, hogy a fellépő rövid impulzusok az u - iumrendszer hőtágulása utján maguk is korlátozóan hatnak.

A hasadási impulzust gamma - és a neutronimpulzus kiséri. Ez az impulzus igen értékesnek mutatkozott biológiai és orvosi vizsgálatoknál a sugárzáshatásokkal kapcsolatban a különböző anyagok sugárzási károsodásának kiértékelése szempontjából, valamint az atombombakisérletekkel összefüggő ellenőrző mérések tekintetében. A Godiva - berendezés igy ilyen vizsgálatok eszközévé vált. A kisérletek folyamán rájöttek arra, hogy sok javitó módositást lehetséges a készülóken és a kitörés pillanatában már sok pótalkatrész volt munkában. Az uj berendezéseket elkészitették és juniusban helyezték üzembe.

Kémiai eljárások.

Az atomenergia olcsóbbá tételének fontos tényezője a besugárzott magelemek és védőrétegek hulladéktermékeinek olcsóbb eltávolitása. Az AEC folytatta különböző erőfeszitéseit a hasadóanyag piaci árának olcsóbbá tételére azáltal, hogy a besugárzott magelemek jobb kémiai feldolgozását szorgalmazta. Számos program kapcsán, azokat az eredményeket, melyeket abban az időszakban értek el, melyre jelentésünk kiterjed, alábbiakban röviden ismertetjük.

Mosási eljárás. Folytatták a kutatásokat oly módszerek kidolgozására, melyek nagyszámu, különböző összetételü reaktormaganyag oldását és előkészitését meglévő fi-

homitóüzemekben lehetővé teszik. Ennek a munkának az volt a célja, hogy a feldolgozási eljárásokat olcsóbbá tegyék, mielőtt a magánipar ebbe a munkába belekapcsolódnék.

Két sokatigérő eljárás a "Darex" és "Zircex". A Darex eljárást az Oak Ridge Nemzeti Laboratorium és a Phillips Petroleum vállalat dolgozta ki Idaho-beli Finomító-üzemében és acéltartalmu reaktormaganyagok salétrom- sósav keverékben való kezelésóre vonatkozik. A Zircex, melyet az Oak-Ridge-i Nemzeti Laboratoriumban dolgoznak ki, cirkoniumtartalmu reaktormaganyagokat kezel olyan módon, hogy a cirkonium, mint elpárolgó termék különválasztható. Mindkót esetben az urániummenyiség egy vizes uránium-nitrát oldattá alakitható és szokványos folyadékextrakciós berendezésekhez vezethető.

Párologtatási eljárás. Jelentős haladást értek el az elgőzölögtetési eljárásokkal kapcsolatos munkánál, mely ezidőszerint az Argonne Nemzeti Laboratoriumban és Oak-Ridge-ben folyik. Argonne-ban bemutatták a prototipuson, hogy egy egyfázisos párologtatási eljárás a besugárzott természetes urániumot annyira meg tudja tisztitani, hogy nem marad hátra több sugárzás, mint amennyi a be nem sugárzott természetes urániumnál található. Folytatták a vizsgálatokat a maghasadási termékekből plutonium kivonására szolgáló párologtatási eljáráson. Másik elven alapuló párologtató berendezés prototipusának nyers épitkezése Oak-Ridge-ben befejezést nyert.

Pyrometallurgiai szétválasztó eljárás.

Atomics International és az Argonne-i Laboratorium folytatták előkészületi munkáikat egy hőtechnikai fémelválasztási eljárással kapcsolatosan, mely a nátriumos kisérleti rendszer és a 2. sz. gyors-szaporitó reaktor maganyagainak ujrafeldolgozásához szüksóges.

Argonne egy besugárzott uránium kiválasztására és tisztitására szolgáló eljáráson dolgozott, melynek alapján a reaktormaganyagot folyókony cinkben oldják fel, aminek kapcsán egy fémes cinkvegyület képződik és válik ki. Az első eredmények arra engednek következtetni, hogy ez az eljárás alkalmas lesz korlátozott tisztitásra olyan kombinált telepeken, melyek egy reaktorral, egy kóniai feldolgozó müvel és egy reaktormaganyag felujitó berendezés távvezérlési lehetőségeivel rendelkeznek. Ezzel az eljárással bizonyos olyan hulladéktermékek szótválasztása sikerült, melyek egyébként hőtechnikai eljárások nem választanak ki - ezek azok az elemek, melyek elektronegativabbak, mint az uránium. Cikronium-Uránium - feldolgozása. Besugárzott cikrónium és uránium reaktormaganyagból, mint amilyen az I. tengeralattjáró /L mag/ anyaga először sikerült hasadó anyag visszanyerése januárban az Idaho-beli kómiai feldolgozó telepen. Ezzel az Argonne-ban kifejlesztett eljárással nagymennyiségü besugárzott urániumot lehetett visszanyerni. További fejlesztési munkákra van szükség különösen az erősen korrózióképző hulladékba menő folyadékok kezelése és eltávolitása tekintetében.

További kutatások.

Rádiólantánprogram. Az Oak-Ridge Laboratorium előmunkálatai által serkentve a Phillips Petroleum Co. kutatási és fejlesztési munkálatai egy igen tiszta rádióbárium előállitására szolgáló uj berendezés tervezését, épitését és sikeres üzembehelyezését eredményezték. Az üzem termékét a Los Alamos Tudományos Laboratoriumba küldik a rádióbárium melléktermékének a rádiólantánnak kivonására.

A rendkivül tiszta rádiólantán többszáz curies specifikus rádióaktivitással rendelkezik milligrammonként, kb. 10.000-szer annyival, mint Kobalt-60 és biológiai kutatási célokra szolgál. Más eljárással történő rádióbárium előállitást az Oak-Ridge Laboratoriumban beszüntették.

I/665/S/Sz.

Kémiai feldolgozásnál keletkező hulladéktermékek meszesitése.

A vegyi feldolgozó üzemek hulladéktermékeinek meszesitését egy nem rádióaktiv mintákkal dolgozó próbaberendezésben sikeresen végrehajtották a Phillips Petroleum Co. vállalatnál. Olyirányu kisérletek, hogy az Idaho Feldolgozó-üzem hulladékából a teljes rádióaktivitás 1/1o részét visszanyerjék, az Argonne Nemzeti Laboratoriumban folytak. Hasonló munkán dolgoztak a Brookhaven-i Nemzeti Laboratóriumban is. Ha be tudnák bizonyitani a rádióaktiv hulladéktermékek meszesitás utján való feldolgozásának lehetőségét, akkor jelentős lépéssel haladnánk azok végleges eltávolitása felé.

Gázalaku hulladék.

A nyomás alatti vizzel hütött reaktor környékén két év óta folyó meteorológiai vizsgálatok és megfigyelések kiértékelése megtörtént. Megállapodást létesitettek az USA Meteorologiai Hivatalával a reaktor üzemeltetési ideje alatti együttmüködésre.

Hulladék szilárd test alakban. Az ilyenfajta hulladék eltávolitása és szállitása sohasem képezett különös nehézséget. Felmerült annak a lehetősége, hogy az USA északkeleti részén az ilyen hulladék szállitással egy megfelelő céget bizzanak meg, az eziránya tárgyalások folynak.

Kb. 5o km-re nyugatra San Franciskotól a Csendes óceánban, 1 1/2 km mélységben fekvő hulladékgyüjtővel kapcsolatban több tudományos intézet végez ellenőrző méréseket és vizsgálatokat, az eddigi eredmények szerint az ott eltemetett rádióaktiv hulladék semmiféle káros hatást nem keltett. Hasonló ellenőrző vizsgálatokat végeztek az Atlanti óceánban, New Jersey-től kb 2oo km távolságban, ugyancsak 1 1/2 km mélyen fekvő rádióaktivhulladék gyüjtővel kapcsolatban.

Kis rádióaktivitásu folyadékalaku hulladék.

Kis rádióaktivitásu folyadékhulladékok, melyek laboratoriumókban, vagy érc- és reaktormaganyagfeldolgozó üzemekben keletkeznek, általában eltávolithatók a rendelkezésre álló eljárásokkal és berendezésekkel. A Harvard Egyetem a Massachusetts-beli Egészségügyi Hivatallal együttmüködésben megvizsgálta rádióaktiv sugárzások hatását a nyitott vizlefolyókban. A Northwestern Egyetem két nagyobbszabásu vizsgálatot vitt keresztül Chicago elvezető csatornáiban GM - számlálók alkalmazásával. Több tudományos intézet és ellenőrző hivatal müködött közre a Savannah River folyó rádióaktivitásának ellenőrzésében.

Nagy rádióaktivitásu folyadékok.

Az AEC tovább dolgozott azon, hogy nagy rádióaktivitásu folyékony hulladékok végleges eltávolitására gazdaságos és tartós szállitási eljárást találjanak. Ilyen folyadékok a Vegyi Feldolgozó üzemekben kerülnek hulladékba és ezek eltávolitása az üzemek egyik főnehézségét képezi. Ezidőszerint kb 300 millió litert, millió curie rádióaktivitással speciális tartályokban tárolnak.

Tervezési munkák indultak meg az Idaho-beli vegyi feldolgozó üzemben olyan berendezések kifejlesztése iránt, melyek alkalmasak lennének egy módszer kivizsgálására a hulladékanyagok stabil- szilárd formában való megkötésével kapcsolatban, hogy igy bizonyos helyeken tárolhatók, vagy eltemethetők legyenek, azaz olyan módszert keresnek, melynek segitségével a folyékony hulladékot erős hevités által szilárd oxiddá tudnák átalakitani. Nagy sótartalmu folyékony hulladékok, mint pl az aluminiumnitrát, mely uránium-aluminium ötvözetek feldolgozásából ered, szilárd oxiddá való átalakitása már magában is nagy eredmény lenne és egyuttal hasznos lépés végleges hulladékgyüjtő lehetősége felé. Ilyen módszer ezenkivül lehetővé tenné a szilárd

oxidok vizben vagy hig savban való lágyitását és igy agyagban, vagy esetleg más anyagban való lekötését.

Különböző tudományos intézetekkel és szakemberekkel folytatott tárgyalások alapján előzetes kutatásokat kezdtek az erősen rádióaktiv folyadékok sóformációkban való közvetlen tárolási lehetősége iránt. Más speciális geológiai formációkat is ajánlottak közelebbi tanulmányozás céljából. Végül említésreméltó, hogy vizsgálatok folynak arra vonatkozólag, hogy a hulladéktermékek bomlási energiáját egy a hulladéktermékek és közönséges földből álló keverék szinterezésához szükséges hő fejlesztésére alkalmazzák egy speciális gödörben feloldhatatlan massza képzésére. Ezeket a kutatásokat az Oak-Ridge Laboratoriumban folytatják.

T á b l á z a t o k

1. Tábl.: A reaktorépités fejlődése az USA-ban.

	Reaktorok száma		emelkedés /vagy csökkenés/
	1956 dec. 31.	1957 jun. 3o.	
Üzemeltetés után lebontva	17	24	7
Üzemben, vagy engedélyezve	74	84	1o
Épités alatt	46	66	2o
Tervezve	94	93	/1/
	231	267	36

2. Tábl.: Az Atomenergiabizottság /AEC/ legnagyobb kutatási és fejlesztési központjai.

Állam	Helység	Neve /Igazgatás és üzem/
Kalifornia	Berkeley	Kalif. Egyetem Sugárzási Laboratoriuma /Kalif.Egyet./
	Livermore	Sugárzási Labor./Kalif.Egyet./ Sandia Laborok livermore-i telepe /Sandia Lab/
	Los Angeles	Kalif.Egyet.Atomenergia-program /Kalif.Egyet./
	San Francisco	á Radiológiai Labor gyógyászati központja /Kalif.Egyet./
	Westmoreland	Salton-tenger- próbaterület /Sandia Corp./
Idaho	Idaho Falls	Nemzeti reaktorvizsgáló állomás /AEC/
Illinois	Chicago	Argonne Rákkutató Kórház /Chicagói Egyetem/
	Lemont	Argonne Nemzeti Lab. /Chicagói Egyetem/

I/665/S/Sz.

Iowoa	Ames	Ames-Laboratóriumok /Iowa Állami Iskola/
Massachusetts	Winchester	Nyersanyagfejlesztési Labor /National Lead Co./
New Mexico	Albuquerque	Sandia Labor /Sandia Corp./
	Los Alamos	Los Alamos Kutató Labor. /Kalif. Egyetem/
New York	Rochester	Rochester Egyetem atomenergia-programja /Rochester Egyetem/
	Schenectady	Knoll Atomenergialabor. /General Electric Corp/
	Upton,Long Island	Brookhaven-Nemzeti Labor /Associated Universities Inc/
Ohio	Miamisburg	Mound -Laboratorium /Monsanto Chamical Co./
Pennsylvania	Pittsburgh	Bettis-Werke /Westinghouse Electric Co./
Tennessee	Oak Ridge	Oak-Ridge-National Lab. /Oak-Ridge Magkutató Int, és Union Garbide Nuclear Co./

3. Tábl. Az USÁ-ban épült, épülőben levő és tervezés alatt álló teljesitményreaktorok.

Elnevezés és /vagy/ tulajdonos	Helye	Épitő	Reaktor tipus	Elektromos teljesitmény kW	Üzembehelyezés.
Polgári teljesitményreaktorok					
Épités alatt					
General Electric Co és Pacific Gas E.	Pleasanton	General Electric	vizforraló	5,000	1957
PWR AEC és Duqesne Light Co.	Shippingport	Westinghouse	nyomásos viz	6o.ooo	1957
Commonwealth Edison Co. et al	Joliet	General Electric	vizforraló	18o.ooo	196o
Consolidated Edison Co.	Indian Point	Babcock -Wilcox	nyomásos viz	275.ooo	196o
Power Reactor Development Co	Monroe	tulajdonos	gyors szaporitó	1oo.ooo	196o
Tervezettek					
Rural Cooperative Power Association	Elek.River	Americ.Machine	vizforraló	22.ooo	1956
Yankee Atomic Electric Co	Rowe	Westinhouse	nyomásos viz	134.ooo	196o
Wolverine Electric Cooperative	Hersey	Foster Wheeler	homogén	1o.ooo	1961
Consumers Public Power District	Beatrice	North Am.Aviation	nátrium-grafit	75.ooo	1962
Florida Nuclear Power Group	Florida	Gen.Nucl.Eng.	gázhütésü D_2O moderált	136.ooo	1962
Northern States Power Co	Minnesota	Allis Chalmers	vizforraló	66.ooo	1962
Pennsylvania Power and Light Co.	Eastern Penn.	Westinghouse.	homogén	15o.ooo	1962
West Penn Group Reaktor No.1.	Ohio völgye	-	-	13.ooo	1962
New England Electric System	New England	-	-	2oo.ooo	1964
West Penn Group Reaktor No.2.	Ohio Völgye	-	-	2oo.ooo	1965
Carolinas-Virginia Nucl.Power	-	-	-	1o-3o.ooo	-
Chugach Elect.Ass.és Nucl.Development	Anchorage,	Nucl.Development	Nátrium D_2O	1o.ooo	
Pacivic Gas and Electric Co	Kalifornia	-	-	-	-
Piqua város, Ohio	Piqua,Ohio	NorthAmer.Aviation	szerves moderátor	12.5oo	-

I/665/S/Sz.

AEC és Puerto Rico Vizgazd. Hiv.	Puerto Rico	-	-	-	15-2o.ooo	196o
Keresk.hajó reaktor	hajó	Rabcock-Wilcox	nyomásos viz		2o.ooo SHP	1958
Isotope Producte Inc.	-	Isotope Products	vizforraló		—	1958

Polgári teljesitményreaktorok az USA-n kivül

Tervezettek

Belgium /Syndicat d'Étude SEEN/	Mol	Westinghouse	nyomásos viz	11.5oo	1959
Brazilia /American e.Foreign Power Co.	-	General Electric	vizforraló	1o.ooo	-
Cuba /American e Foreign Power Co./	-	General Electric	vizforraló	1o.ooo	-
Dominika	-	Martin Co.	nyomásosviz	12.ooo	-
Olaszország /Edisonvolta/	Milano	Westinghouse	nyomásos viz	134.ooo	1961
Mexico /American e Foreign Power/	-	North Am.Aviation	szerves mod.	1o.ooo	-
Fülöpszigetek /General Publ.Utilit.	Manila	-	nyomásos viz	6o.ooo	-
Peru /Kormány/	Lima	Babcock-Wilcox	nyomásos viz	21.ooo	-

Polgári teljesitményreaktorkisérletek

Valamennyi az AEC tulajdona

					Elektr. telj.	Üzembe helyezés.	leállitás
Üzembltetés után leállitották							
Forróvizes kisérl.reaktor Nr.1.BORAX-1 NRTS,	Idaho	Argonne Lab.	vizforraló	nincs		1953	1954
" " " Nr.2.BORAX-2 "	Idaho	"	"	"		1954	1955
/átalakitották BORAX 3-má/							
Los Alamos gyors szaporitó Clementine	Los Alamos	Los Alamos	folyékony fém	"		1946	1953
Homogén kisérleti reaktor HRe-L	Oak Ridge	Oak-Ridge lab.	homogén	14o		1952	1954
Vizforraló " " BORAX-3	NRTS,Idaho	Argonne	vizforraló	34oo		1955	1956
/átalakitották BORAX -4-gyé/							
Los Alamos kisérleti teljesit-ményreaktor No.1. LAPRE- 1	Los Alamos	Los Alamos	homogén	nincs		1956	1957

I/665/S/Sz.

Polgári teljesitményreaktorok /folyt./

					Telj. /kW/	Elkészül
Üzemben						
Kisérleti szaporitó rekator No.1.	EBR-1	NRTS, Idaho	Argonne N.L.	Gyors-szaporitó	2oo	1951
Forróvizes kisérl. "	EBWR	Lemont	"	Vizforralé	5ooo	1956
Forróvizes " " No.4.	BORAX-4	NRTS, Idaho	"	Vizforraló	24oo	1956
Nátrium kisérl. "	SRE	Santa Susana	NorthAm.Aviation	Na-grafit	65oo	1957
Épités alatt						
Szerves-moderátor kisérl.reakt.	OMRE	NRTS, Idaho	North Am.A.	Szerves mod.	nincs	1957
Homogén " "	HRE-2	Oak-Ridge	Oak-Ridge Lab.	Homogén	3oo-1ooo	1957
Los Alamos kisérl.telj.reaktor	LAPRE-2	Los Alamos	Los Alamos "	"	nincs	1957
" " olv.plutonium No.1.	LAMPRE-1	"	"	Gyors.Plutonium	"	1958
Tervezett						
Kisérleti Szaporitó	EBR-2	NRTS, Idaho	Argonne	Gyors-szaporitó	2o.ooo	1959
Folyékony fém	LMFRE	-	Babcock-Wilcox	Folyékony fém	nincs	-
Argonne vizforraló	ARBOR	NRTS, Idaho	-		nincs	-
Plutonium-visszanyerő	PURR	Hanford	General Electric	Nehézviz	nincs	-

Teljesitményreaktorok katonai célra. /Haditengerészet tulajd. kivéve APPR -la, mely a Hadseregé/

Üzemben					
Tengeralattjáró, Nautilus	SSN 571	Westinghouse		Nyomásos viz	1956
" Seawolf	SSN 575	General Electric		Nátrium	1956
" Skate	SSN 578	Westinghouse		Nyomásos viz	1957

I/665/S/Sz.

Katonai teljesitményreaktorok /folyt.

Épitès alatt

Tengeralattjáró	Swordfish	SSN 579	Westinghouse	nyomásos viz	-
"	Sargo	SSN 583	"	"	
"	Seadragon	SSN 584	"	"	
"	Skipjack	SSN 585	"	"	
"	Triton 2 reaktor	SS/R/N 586	General Electric	"	
"	Halibut	SS/G/N 587	Westinghouse	"	
"	Scamp	SSN 588	"	"	
"	Scorpion	SSN 589	"	"	
"	Sculpin	SSN 59o	"	"	
"	Shark	SSN 591	"	"	
"	Snook	SSN 592	"	"	
"	/név nélküli/	SSN 593	"	"	
Cirkáló távirányitott fegyverek részére, Long Beach, 2 reaktor		CG/N 16o	"	"	

Tervezett:

A hadsereg szállitható teljesitményreaktora Nr. 1a	APPR-1a	Alco	nyomásos viz	1959
Repülőgépanyahajó, 8 reaktor	CVA/N/	Westinghouse	"	

I/665/S/Sz.

Katonai célra szolgáló kisérleti teljesitményreaktorok. /Valamennyi az AEC tulajdona/

Megnevezés	Rövidités	Helye	Épitő	Tipus	Elektr. telj.	Üzembe hely.	Leállitva
Üzemeltetés után leállitva							
Repülőgép kisérl. reaktor	ARE	Oak-Ridge	Oak-Ridge	olv.só	nincs	1954	1954
Tengeralattjáró " A jelz.	S1G	West Milton	Gen.Electric	nátrium	-	1955	1957
Hőátviteli Kisérl. " No.1.	HTRE-1	NRTS,Idaho	"	-	-	1956	1957
Üzemben.							
Tengerészeti kisérl.reaktor	S1W	NRTS, Idaho	Westinghouse	nyom.viz	-	1953	-
Szállitható telj. reaktor	APPR-1	Port Belvoir	Alco	"	1855	1957	-
Épülőben							
Nagy hajóreaktor-prototipus /2 reakt./	A1W	NRTS, Idaho	Westinghouse	nyom.viz.	-	-	-
Tengeralattjáró reakt. prototipus	S3G	West Milton	Gen.Electric	"			
Kis tengeralattjáró	S1C	Windsor	"	"			
Kisteljesitményü Argonne-reaktor	NRTS,Idaho	Argonne		forrővizes	2oo	1958	
Tervezett:							
Gázhütésü kisérl. reaktor	GCRE	NRTS, Idaho	Aerojet Gen.Corp.	gázhütésü	-	1959	

I/665/S/Sz.

Die Atomwirtschaft,
3/Nº 1, 6-lo /Jän.1958./

A hütőrendszer befolyása a magreaktorok gazdaságosságára.

Irta: A.Setzwein

A hütőrendszer megválasztása messzemenően meghatározza egy atomerőmü felépitését és egyben az energiatermelési költségeket is. Ennek szem előtt tartásával szembeállitunk négy különböző hütési rendszerü, az utóbbi időben jelentőssé vált reaktort a várható energiatermelési költségek szempontjából. Csak alapvető különbségekre fogunk rámutatni, hiszen a reaktortipusok még kialakulóban vannak és a megadott költségek csak ideiglenes értékeket képviselnek.

Magreaktorok hütésére általában a következő hütőközegek szolgálnak:

Folyadékok:
- viz
- nehéz viz
- fémek
- szerves anyagok

gázok:
- széndioxid
- szénhidrogének
- nemes gázok

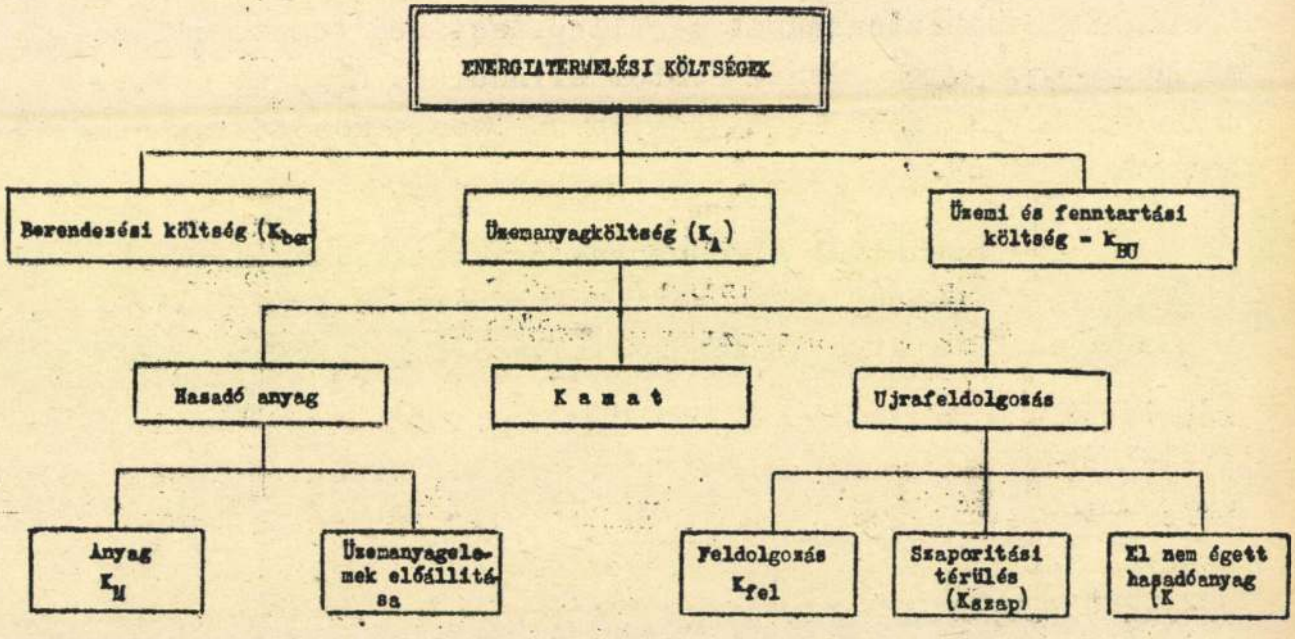
Az összehasonlitásnál az alábbi reaktortipusokat vesszük tekintetbe. Az irodalomban emlitett adatoktól eltérően, az összehasonlitás kedvéért a berendezések nettoteljesitményét egységesen 75 mW /elektromos/-nak vesszük. Szerves folyadékkal hütött és vizforraló reaktorokra vonatkozóan - utóbbiak jelentősége ujabban egyre nő - költségadatokat ismertető közlemények alig álltak rendelkezésre, ugyhogy ezeket a tipusokat nem vettük tekintetbe. A gázhütésü reaktornál egy magas hőmérsékletü reaktort vettünk alapul, mert a gázhütés csak magas hütőgázhőmérsékletek alkalmazásánál válik gazdaságossá.

I/665/S/Sz.

Hütőközeg	H_2O	D_2O	Folyékony nátrium	Gáz
Reaktortipus	Viznyomásos	Homogén	Fémhütésü	Magas hőmérséklet-
Hasadóanyag	UO_2	UO_2SO_4	U-fém	UC
Dusitás /kezdeti/végső/	2,5/1,6 %	2o/6 %	1,8/1,5 %	2o/4 %
Üzemanyagelemek alakja	tokozott rudak	homogén oldat	tokozott rudak	tok nélküli elemek

Energiatermelési költségek:

Az energiatermelési költségek kiszámitása céljából először általános összefüggéseket vezetünk le, 1 g hasadóanyagra vonatkoztatva a számitást. Majd a négy reaktortipusnál kapott költségtényezőket szembeállitjuk egymással.



1. ábra.

A termelt energiaköltség tagozódása.

I/665/S/Sz.

A következő általános összefüggéseket adhatjuk meg:

I. Berendezésköltségek

$$k_A = \frac{A \cdot \varepsilon}{t_B} \text{ /Német Pfenning/kWó/} \qquad /1/$$

A = Beruházási költség kW-onként német pfenningben

ε = tőkekamat /tőkehatékonysági tényező/ /15 %-nak véve/

t_B = évi üzemórák száma /7ooo óra/

Ahhoz, hogy egy előre meghatározott reaktorkonstrukciónál lehetőleg alacsony legyen a berendezésköltség, mindenekelőtt arra kell ügyelni, hogy a neutronfluxusgörbe illetőleg a teljesitménygörbe menete lapos legyen.

Minthogy a berendezési költségek nagyságát jelenleg teljes biztonsággal megállapitani nem lehet, célszerü ennél a meggondolásnál abból kiindulni, hogy az adott nagyságu berendezésnél DM 93o- és DM 14oo.- között ingadozhatnak.

Ezenkivül mindenegyes reaktortipusra nézve megadunk egy valószinü berendezési költségösszeget és erre az értékre vonatkoztatva százalékos költségfelállitást készitünk:

Hütőközeg:	H_2O	D_2O	Na	Gáz
Berendezésköltség /DM/kW/	12oo.-	1.1oo.-	1.3oo.-	1.ooo.-

II. Üzemanyagköltség.

1. Hasadóanyag

a/ Anyag = K_M

Természetes urán alkalmazása esetén ezek a költségek csupán anyagköltségekből állnak, dusitott urán esetében ezekhez járul még a dusitási költség.

A dusitási költségekre egyszerü összefüggést vezetünk le. A valóságban ez a költségtényező igen bonyolult s formulának csak közelitő. A levezetésnél azt vesszük alapul, hogy egy bizonyos dusitási fok költségei függenek az áthaladó anyag mennyiségétől, továbbá a dusitási effektus egy bizonyos dusitási fokon arányos az üzemanyagnak ennek a fokozatnak bemeneténél fennálló dusitásával.

Egy tetszés szerinti kis rész-dusitási fokozat, dz, költségeit a következő formulával fejezhetjük ki:

$$dK_{dus} = k_1 \cdot \frac{x - x_o}{x} dz.$$

Egy dz részlet-fokozat dusitási effektusát pedig

$$dx = k_2 . x . dz.$$

Ha a kivánt x dusitási fokig integráltunk, az alábbi formulát kapjuk:

$$K_{dus} = C_1 \left(\frac{1}{x_o} - \frac{1}{x} \right) + C_2 \cdot \ln \frac{x}{x_o}, \qquad /2/$$

Itt

K_{dus} = x/%/ koncentrációju, 1 g U-235-re eső dusitási költség;
/DM/g U-235/

C_1, C_2 = állandók

x_o = természetes uránium dusitásának foka /0,715 %/

x = a kivánt dusitás /%/

Ezekhez a dusitási költségekhez még a tiszta anyagköltség járul.

Az US-AEC által 1956. nov.17.-én kiadott, dusitott uránárakat alapul véve azt látjuk, hogy a fentiekben levezetett összefüggés jól megegyezik ezekkel az értékekkel, amennyiben az állandókat a következőképpen választjuk meg:

$$K_M = 62 - \frac{29}{x} + 2 \cdot \ln \frac{x}{x_o} \left(\frac{DM}{g\ U\text{-}235} \right) \qquad /3/$$

Ez az egyenlet a dusitott UF_6 költségeit adja meg.

Ehhez járulnak még az UO_2-re, UO_2SO_4-re U-fémre, illetőleg CU-re történő átalakitás költségei. K_u-ra az eddigi adatok alapján a következő irányértékeket adhatjuk meg:

Hasadóanyag	UO_2	UO_2SO_4	U-fém	UC
$K_U = \left(DM/g\ U\text{-}235/\right)$	6.-	4.-	17.-	4.-

Az anyagköltségeket tehát az alábbi formulából kapjuk meg:

$$K_M = K_M + K_u = K_u + 62 - \frac{29}{x} + 2 \cdot \ln \frac{x}{x_o} \qquad /4/$$

b/ Üzemanyagelemek előállitása = $K_{elő}$

Tokozott elemeknél ezek a költségek aránylag magasak, pontos adatok még nem állnak rendelkezésre. Hozzávetőlegesen a $K_{elő}$-re a következő értékeket vehetjük:

Hütőközeg	H_2O	D_2O	Na	Gáz
Üzemanyagfajta	tokozott rudak	oldat	tokozott rudak	tok nélkül
$K_{elő} = /DM/g\ U\text{-}235/$	8.-	-	8.-	2.-

I/665/S/Sz.

ahol

S = hasadási tényező

C = konverziós tényező

C-re a kiégési idő tartamára középértéket kellett felvenni. Egyszerüsités kedvéért a kezdeti konverziós tényezővel $\left[C_{in}\right]$ végezzük a számitást. Minthogy a szaporitó anyag kiégését a termelt energia kiszámitásánál ugyancsak figyelmen kivül hagyjuk, ez az egyszerüsités nagy hibát nem von maga után.

c/ Költségtérülés az elnemégett hasadóanyag révén.

A kiégés után 1 g betáplált U-235-re /1-S/ mennyiségü hasadó anyag jut X /1-S/ = X_e koncentrációval. A /4/ egyenlet alapján ennek értéke a következő lesz:

$$K_{nSp} = /1 \text{ ó } S/ \left\{ K_u + 62 - \frac{29}{x_e} + 2.\ln \frac{x_e}{x_ó} \right\} \qquad /7/$$

3./ Üzemanyagleltár utáni kamat.

Egyszerüség kedvéért csak a reaktorban lévő üzemanyagot vegyük figyelembe. Pontosabb számitásoknál számitásba kell venni a készletben lévő üzemanyagot is. Az üzemanyagleltárnak előbb csak a kamatait számitjuk; az üzemanyagba fektetett tőkével természetesen ugyanugy járhatunk el, mint a befektetett tőkével és a szokásos módon irhatjuk le.

$$k_Z = \frac{p \cdot K_{Sp}}{t_B \cdot q} \quad \frac{\text{Dpf/kWó}}{\text{/német pfenning/kWó/}} \qquad /8/$$

K_{Sp} = befektetett hasadóanyag-költség = $K_M + K_{elő}$ Dpf/g U-235

p = üzemanyag kamattényezője

q = /elektr./ spec. teljesitmény /kW/g U-235/

Fenti adatokból kiszámithatjuk, illetve publikációkból vehetjük a következő értékeket:

2./ Ujrafeldolgozás.

a./ Feldolgozás:

1 kg természetes uránium feldolgozásánál az irodalomban több helyen megadott DM loo.- értéket veszünk alapul, melynél a hasadóanyagkoncentráció

$$x_o . s_o = 0,72 . 0,14$$

Itt

x_o = a természetes urándusitásnak foka.

s_o = lehetséges kiégés a Calder-Hall reaktornál.

Magasabb hasadóanyagkoncentrációju üzemanyag járulékos költségeinél a nagy veszély miatt be kell vezetni egy veszélytényezőt, melyet tapasztalati uton az alábbi egyenlet alapján számitunk ki:

$$G = \sqrt[3]{\frac{x . s}{x_o . s_o}} = \sqrt[3]{\frac{x . s}{o,1}} \qquad /5/$$

1 g U-235-re vonatkoztatva ilyenmódon a feldolgozási költségek a következők:

Hütőközeg	H_2O	D_2O	Na	Gáz
Veszélyességi pótlék	2,1	5,2	1,5	5,5
K_{feld} = /DM/g U-235/	0,9	2,6	o,8	2,7

b/ Szaporitási anyag-nyereség

Az AEC-adatoknak megfelelően 1 g kinyert Pu-239-re ≙ 12.- = ~ 5o.- DM-et veszünk. Egyelőre más szaporitási anyagot nem veszünk figyelembe.

1 g U-235 kiégésénél a következő mennyiségü Plutoniumot nyerjük:

$$K_{nye} = 5o . s . C \left(\frac{DM}{g\ U\text{-}235} \right) \qquad /6/$$

Hütőközeg	H_2O	D_2O	Na	Gáz
K_{Sp} = (DM/g U-235)	63,4	76,7	64,o	77,7
összes U-235 mennyiség kg	275	9o.	41o	3oo
spec.teljesitmény (kW/g U-235)	o,27	o,85	o,18	o,25

Az össz-üzemanyagköltségre a következő egyenlet adódik:

$$k_{Br} = \frac{K_{elő} + K_{feld} + 2 . 1n \frac{1}{1-S} + 29 \left(\frac{1}{x_e} - \frac{1}{x}\right)}{225 . S . \eta} \qquad /9/$$

$$+ \frac{K_u + 62 - \frac{29}{x_e} + 2 . \ln \frac{x_e}{x_o} - 50 . C}{225 . \eta} + kz$$

Értékes itt megfigyelni, hogy az üzemanyagköltség - a kamatköltséget figyelmen kivül hagyva - két részből tevődik össze és csak az első tag függ az S hasadási tényezőtől. Ez arra enged következtetni, hogy ha az előállitási és a feldolgozási költségek nagyok, a hasadási tényezőnek is nagynak kell lennie, hogy alacsony üzemanyagköltséget kapjunk. A tendencia azonban a valóságban ellenkező irányu, azaz magas előállitási költséggel járó üzemanyagelemeknél a lehetséges kiégést általában a tokozás korlátozza és viszonylag csekély, aminek különösen fémhütésü reaktornál kedvezőtlen kihatása van.

III. Üzem- és fenntartási költségek.

A költségeknek erre a részére vonatkozóan pontosabb adatok nem állnak rendelkezésre. A szóbanlévő gazdaságossági összehasonlitás szempontjából tételezzük fel, hogy lényeges különbségek nincsenek az egyes reaktortipusok között. Egységesen o,7 Dpf/kWó értéket állitunk be K_{BU} értékeként.

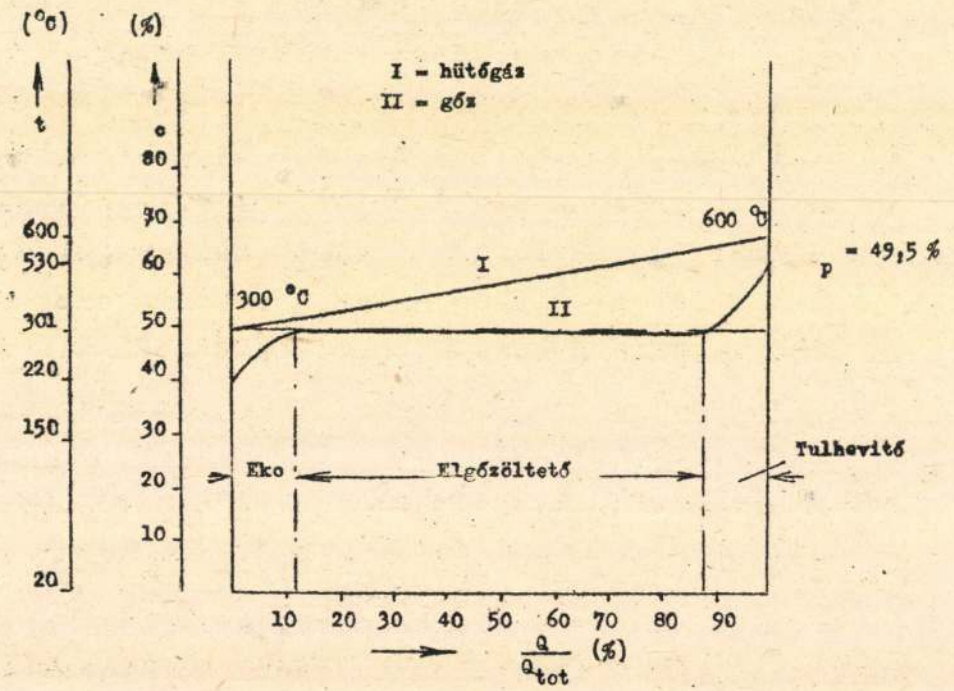
I/665/S/Sz.

Az emlitett reaktortipusok összehasonlitása.

A /9/ számitott egyenlet azt mutatja, hogy az energiatermelési költség a következő tényezőktől függ:

I. A berendezés tiszta hatásfoka
II. Hasadási tényező
III. Konverziós tényező
IV. Specifikus teljesitmény
V. Dusitási tényező.

Az első négy tényezőt az alantiakban hasonlitjuk össze. A dusitási tényezőt a $K_{feld.}$ feldolgozási és $K_{elő}$ üzemanyagelem-előállitási költségek kiszámitásánál már figyelembe vettük, egy további befolyását is tekintetbe kell vennünk: a konverziós tényezőnél, melyet a későbbiekben tárgyalunk. A dusitás fokozása $K_{feld.}$-nál és $K_{elő}$-nél költségcsökkenést von maga után, a magas dusitás tehát előnyös.



2. ábra.

Magas hőmérsékletü reaktor ηc-Q-diagrammja.

I/665/S/Sz.

I. A berendezés tiszta hatásfoka.

A négy reaktortipusra az alábbi értékeket kapjuk; itt már a termikus folyamat optimális értelmezése szolgál alapul és hozzávetőlegesen állitottuk be a szekundér körfolyam önszükségletét a 2. ábrán látjuk a folyamat hatásfokának kiszámitását gázhütéses reaktor esetében.

Hütőközeg	H_2	D_2O	Na	Gáz
Gáz állapota . . . . °C/ata	31o/3o	225/26	44o/93	525/9o
η folyamat . . . . . %	38,5	36,5	48,o	49,5
η bruttó kimeneti teljesitmény %	32,7	31,o	4o,2	41,o
Primér fuvó-, ill. szivattyubeli veszteség %	4,o	3,o	1,5	1o,o
Veszteség segéd-meghajtómüveknél %	11,o	11,o	11,5	11,5
η netto kimeneti teljesitmény %	27,7	26,6	35,2	32,2

II. Hasadási tényező.

Egy üzemanyagtöltés kiégését két hatás befolyásolja:

1./ A reaktivitás nem éri el a kritikus állapot fenntartásához szükséges mértéket.
Nem tokozott üzemanyagelemek esetében a gázalaku hasadási termékek folyamatosan kivehetők s ezzel a kiégés meghosszabbitható.
Homogén és gázhütésü reaktornál ez a hatás korlátozza a kiégést: homogén reaktor esetében körülbelül 7o %-ra, gázhütésünél körülbelül 8o %-ra

2./ A hasadó anyag és a tok-anyag metallurgiai változásai. Etekintetben kiindulhatunk abból, hogy az üzemanyagelem egy-egy térfogatrészében a hasadóanyagoknak egy bizonyos számot nem szabad tullépniök. Ha 1 t természetes urániumnál mint lehetséges kiégést a többször

megadott 3ooo MWnap-ot vesszük alapul, mely körülbelül 42 %-nak adódik, ugy a lehetséges kiégés egy tórfogatrészben ugyanolyan számu hasadási termók atomnál:

$$S = 42\ \% \cdot \frac{0{,}715}{x} Z \qquad /1o/$$

ahol

x = hasadóanyag dusitási foka %-ban

Z = az üzemanyag egy molekulájában lévő atomok száma.

Nátriumhütésü és urániumfémmel müködő reaktor esetében, vagyis ahol Z = 1 és x ≈ 1,8 %, a hasadási tényező igen csekély, mintegy 17 %-os lesz.

UO_2-vel müködő viznyomásos reaktornál, vagyis amidőn Z = 3 és x = 2,5 %, S = 36 %.

Hütőközeg	H_2O	D_2O	Na	Gáz
S = ...	36 %	7o %	17 %	8o %

III. Konverziós tényező.

Egy stacionárius állapotban lévő reaktor neutronmérlegéből kiindulva, mely a konverziós tényezőre nézve egyedül döntő, az alábbi egyenletet állithatjuk fel:

$$C = \eta - \left(1 + \delta_V + \delta_A + \delta_M\right) . \qquad /11/$$

Itt

δ_V = neutronveszteségek a haladási termékekben

δ_A = kidiffundálás folytán előálló neutronveszteségek

δ_M = neutronveszteségek a moderátorban és az épitményrészekben.

Alanti táblázatból látható a hozzávetőleges neutronmérleg a különböző reaktortipusoknál:

Hütőközeg			H_2O	D_2O	Na	Gáz
Termelt	$\varepsilon\eta$	termikus neutronok	2,2oo	2,1oo	2,134	2,12o
Veszteség	δ_V	mórgezés és szabályozórud	o,o53	o,o5o	o,o91	o,1oo
	δ_A	kidiffundálás	o,125	o,4oo	o,157	o,o8o
	δ_M	moderátor és épitményrészek	o,232	o,35o	o.162	o.13o
Nyereség	C	konverzió	o,79o	o,3oo	o,72o	o,81o
Maradvány			1,ooo	1,ooo	1,ooo	1,ooo

Homogén reaktornál nem ismerjük a pontos felosztást, de a C-re megadott 0,3 értéket nem lépi tul. Minthogy a dusitás magas, 2o %, a reaktor kicsi lesz és igen nagy lesz a neutronkiáramlás. Gázhütésü reaktornál, ugyanilyen magas dusitás ellenére sokkal kisebb a neutronkiáramlás, mert a nagytömegü grafit növeli a reaktor térfogatát s ezáltal kisebbmérvü lesz a neutronok kidiffundálása.

IV. Specifikus teljesitmény.

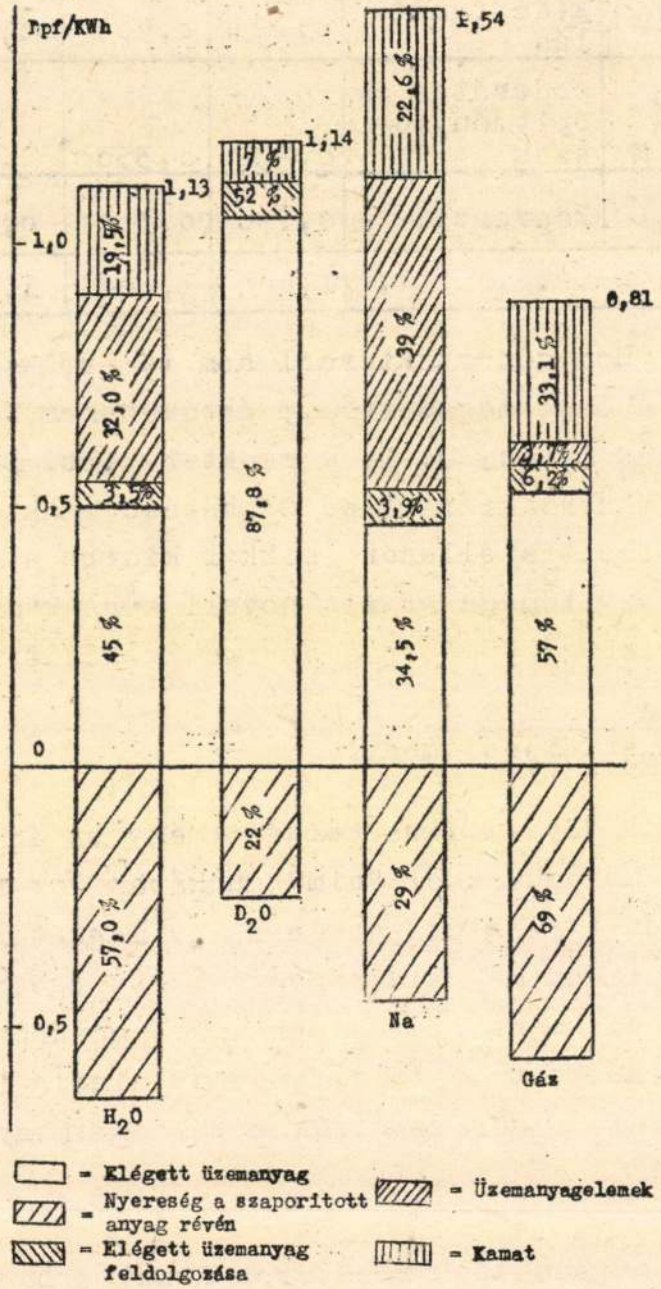
A "Specifikus teljesitmény és áramtermelési költségek atomerőmüveknél "cimü munkában /5/ rámutatttunk arra, hogy adott reaktor esetében egy meghatározott specifikus teljesitmény megválasztása mellett egészen minimális áramelőállitási költséghez jutunk. Folyadékhütésü reaktoroknál és jó hőátviteli tulajdonságok mindig lehetőséget adnak ilyen gazdaságos specifikus teljesitmény megválasztására.

A gázhütésü reaktorok közül a homogén tipus, melynél a hőkicserélőfelületet a heterogén tipushoz viszo-

nyitva,növelik,szintén el tudja érni ezt a teljesitménysürüséget s ilyenmódon gazdaságos is.

Költségösszeállitás.

A 3. ábrán látható az előző adatokból számitott üzemanyagköltségek egybevetése.



3. ábra.

Az üzemanyagköltségek összetétele.

I/665/S/Sz.

A különböző hütési rendszerek és ezzel kapcsolatosan a különböző reaktortipusok végleges kiértékelését nem adhatjuk és nem is adjuk, csupán arra mutatunk rá, hogy az egyes tipusoknál ahol állnak elő a főköltségtételek.

Az ábrázolás a legjobban rávilágit az egyes tipusok előnyeire és hátrányaira.

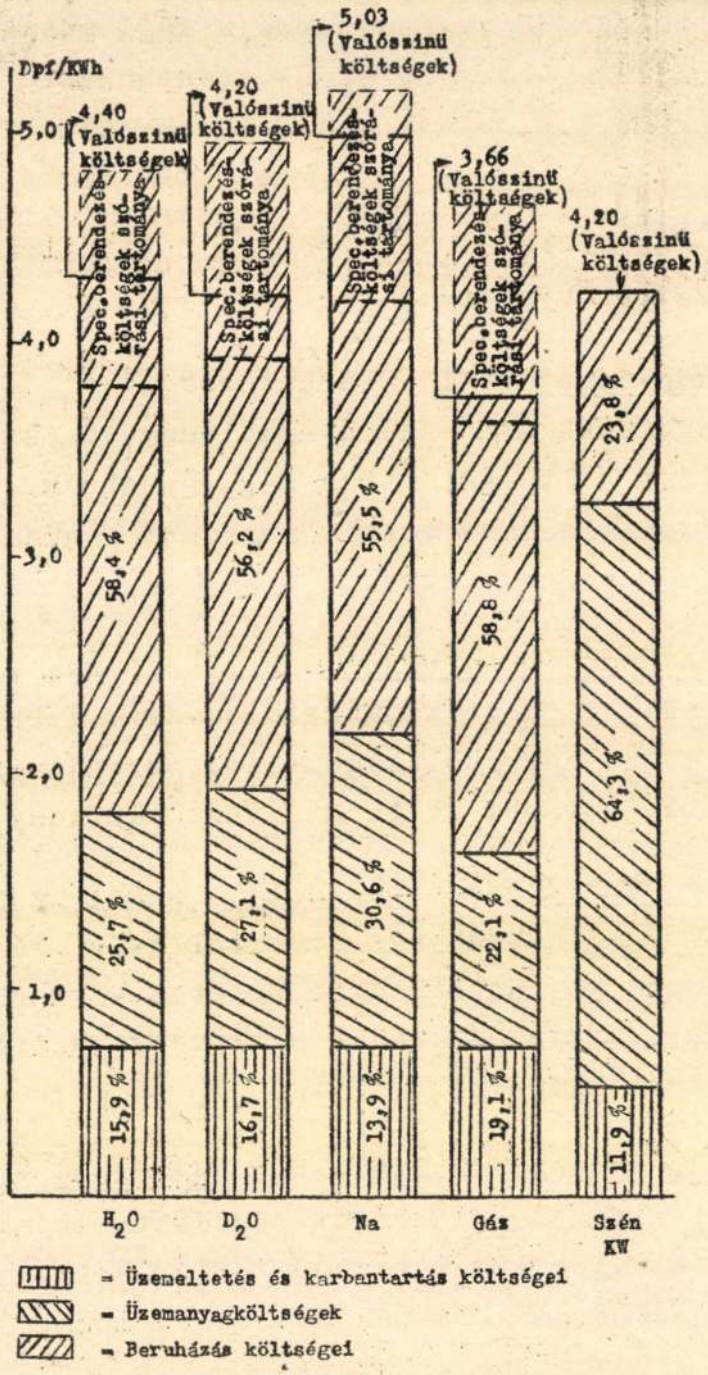
Na-reaktornál a berendezés jó hatásfoka következtében a legkisebb a hasadóanyagköltség, de az üzemanyagelem előállitási költségei itt a legmagasabbak, egyrészt a hasadási tényező alacsony volta, másrészt magának az előállitásnak költségessége miatt.

A homogén tipusnál mutatkozó magas üzemanyagköltséget egyedül a rossz konverzió okozza. Ezenkivül aránylag magasak az üzemanyagköltségek is a berendezés alacsony hatásfoka miatt. A többi költségtényező alacsony.

A viznyomásos reaktornál ismét nagy sullyal, esnek latba a magas üzemanyagelem-előállitási költségek, azonban ezek most - a jobb hiégés folytán - kisebbek, mint a Na-reaktornál. Egyébként ennek a tipusnak az igen jó konverzió szolgál alapjául.

Az üzemanyagköltségek a gázhütésü reaktornál a legkisebbek, mert jó konverziót biztosit, ezenkivül azért is, mert az üzemanyagelemek tok nélküliek s igy az előállitási költség alacsony. Különben rosszabb lenne, mint a fémhütésü vagy a viznyomásos reaktor.

I/665/S/Sz.



4. ábra.

Az összes áramtermelési költség összetétele.

A 4. ábra alapján áttekintést nyerünk az összes áramtermelési költségekről. Itt összehasonlitásul feltüntetjük egy kőszénerőmü költségeit. A berendezésköltségek szórá-

si tartományát ferde vonalazással jelöltük. Ezenkivül feltüntettük a valószinü költségek százalékos megoszlását. Az összehasonlitás alapjául évi 7ooo üzemóra szolgál.

Az ábrából azt látjuk, hogy különböző nagyságu berendezési költségek mellett mindegyik tipusnál azonos energiaköltségeket lehetne elérni, ugyhogy végleges összehasonlitásra csak egy már kiforrott reaktorkonstrukció és biztosan meghatározott berendezésköltségek esetében van lehetőség. Egyelőre annyi biztosan megállapitható, hogy a szóbanlévő nagyságu berendezéseknél a tok nélküli üzemanyagelemekkel ellátott, gázhütésü reaktornál a legalacsonyabbak, a fémhütésü reaktornál pedig a legmagasabbak az áramtermelési költségek.

Összefoglalás.

A levezetett összefüggések azt mutatják, hogy egy gazdaságos reaktortipusnál a következő ismérveknek kell adva lenniök:

magas hasadási tényező,
jó konverzió,
alacsony üzemanyagelőállitási költségek,
nagy specifikus teljesitmény,
a berendezés jó hatásfoka,
alacsony berendezési költség.

Ezeket az ismérveket tok nélküli üzemanyagelemekkel, magas hütőközeg-hőmérsékletekkel, az üzemanyaggal homogén elrendezésben lévő nagy moderátortérfogattal és magas dusitásu üzemanyaggal dolgozó reaktortipusnál kellene megtalálnunk. A reaktorkonstruktőrnek tehát az a feladata, hogy az emlitett befolyásoló értéktényezők megfelelő megválasztásával a lehető legjobb gazdaságosságot biztositsa a berendezés számára. Hogy ez esetenként milyen nehézséget jelent, kitünik többek között az Egyesült Államokban nemrég lefolyt vitából, melynek tárgya ez volt: "Természe-

tes vagy dusitott uránt használjunk teljesitményreaktorokhoz? "Ehhez a kérdéshez W.B. Lewis, Kanada, is ismételten nyilatkozott, legutóbb az OEEC 1957. junius 26-án Amsterdamban tartott 2-ik Tájékoztató Ülésén.

A fentebbi magyarázatok erre nézve is kimutatják azt, hogy dusitott uránnal müködő reaktorok konverziós tényezője általában rosszabb, s hasadási tényezője is alacsonyabb, mint a természetes uránt alkalmazó reaktoroké. A konverziós tényező tekintetében azonban javulás érhető el azáltal, hogy a magas dusitásu U-235-öt thorium-232-vel mint szaporitó anyaggal visszasoványitják; ekkor a thórium az uránium-238-al szemben az U-233-má, illetve Pu-239-cé való átalakulásuk során nagyobb neutrontermelékenységet mutat.

Az urániumrudak burkolatának mellőzése fokozza az üzemanyagrudak lehetséges kiégését, ennek folytán az urániumban keletkező hasadási termékek egy része el tud távozni az üzemanyagelemből s igy annak igénybevétele csökken. Feltételeztük, hogy az emlitett gőzhütési reaktortipusnál mindkét fenti megoldás keresztülvihető.

Mindezen elvek előnyeit és hátrányait csupán az emlitett reaktortipusok gyakorlati üzemközbeni beható vizsgálata fogja tudni kimutatni.

- - - -

Industries Atomiques,
2/Nº 1/2, p.68 /1958/.

Szerves folyadékkal moderált és hütött teljesitményreaktor

Irta: H. Polak.

Nagy gyakorlati jelentősége van annak a körülménynek, hogy a termikus reaktor aktiv magjának térfogata, melyben a hidrogént moderátorként alkalmazzák, kicsi. Ugyanis a teljesitményreaktorok egyes célokra, például tengeri hajómeghajtásra való alkalmazása csak akkor lehetséges, ha az aktiv mag-méret alkalmazkodik a szük befogadótérhez. Erdekes szempont az is, hogy amikor méretbeli megkötöttség nem is áll fenn, kisebb terjedelmü mag épitése gazdaságosabb, s ez egy atomerőmü önköltségénél fontos tényező.

Hidrogén-moderátorként elsősorban természetszerüleg a vizet választották. Minthogy a viz kitünő hőkicserélő is, betöltheti moderátor s egyszersmind hütőanyag szerepét, ami által lehetővé válik, hogy egyszerü magot épitsünk, melynek nincs külön moderátorrendszere. Az utóbbi évek folyamán számos ilyen megoldás született, mind homogén, mind heterogén rendszerek terén.

Sajnos, a viznek, mint moderátornak alkalmazási lehetőségeit egyes tulajdonságai korlátozzák. Hőmérsékletét és a vizgőznyomást korlátozza ezek kritikus értéke, hacsak nem alkalmazunk tulhevitő pótberendezést. Továbbá, a korszerü gőztermelési követelményeket megközelitő hőmérsékleteket csak a máglya belsejében uralkodó magas nyomással lehet elérni, ami csökkenti a biztonságot s egyben növeli a nyomás alatti övezet épitési költségeit.

Ilyen hőmérsékleteknél fennáll az a körülmény is, hogy a viz és az konstrukciós fémanyag, valamint a fémüzemanyag közötti vegyi reaktivitás megnehezíti az anyagok megválasztását, mert kompromisszumot kell keresni ezek mechanikai sajátságai, korrózionak való ellenállásuk, a neutronelnyelő képesség és az ár között. Ehhez hozzá kell még tenni azt, hogy a viz oxigénjére gyakorolt /n,p/ reakció következtében a gamma-kisugárzó ^{16}N termelődés és a primér kört képező, még legellenállóbb anyagoknál is bekövetkező, korrózió miatti szétbomlás annyira fokozzák a viz-okozta rádioaktivitást, hogy a primér kört biológiai védőrendszerrel kell körülvenni, mert a folyadéknak állandó tisztitáson kell átmennie. Az Atomic International első kutatásai kimutatták azt, hogy ezek a nehézségek nagyrészben áthidalhatók hidrogént tartalmazó, kis nyomás alatti szerves folyadék alkalmazásával, melynek azonban forráspontja magasabb, mint a vizé. Igy hidrogént tartalmazó s ugyancsak hütőfolyadék szerepét is betöltő moderátor segitségével, de megmaradva a kismóretü mag mellett, - lehetővé vált a gőz hőmérsékletének emelése, feleslegessé vált rozsdamentes acél alkalmazása a védőfal és a primér kör épitésénél s miután a körben korrózió nincs, jelentéktelen a hütőfolyadékba jutó rádioaktivitás. Ez a kismérvü aktivitás, valamint a primér körben uralkodó alacsony nyomás és a folyadék-moderátoros máglyák erősen negativ hőmérséklet-koefficiense lehetőséget nyujtanak könnyen üzemeltethető és karbantartható máglya épitésére. Ezek a biztonsági adatok kiküszöbölik az egészet körülvevő pótvédőfalak épitésének szükségességét s igy lényegesen lecsökkentik az épitmény viszonylagos összköltségét, főleg kis reaktorok esetében. Nagy teljesitményü reaktoroknál a szállitást vagy helyszinen történő feépitést rendkivül megkönnyiti a kismóretü reaktormag és a fővédőfal viszonylag kis sulya. Igy például egy 150000 kW tiszta elektromos teljesitményt adó reaktor védőfalának magassága kb. 11 m. külső átmérője 4,5 m és 3 cm vastag lesz, sulya körülbelül 40 t.

I/665/S/Sz.

Első kisérletek.

Egy folyékony szerves vegyületnek moderátor-hütőként való megválasztásánál ennek fizikai, kémiai és nukleáris tulajdonságai döntenek, melyeknek mindenekelőtt az alábbi követelményeket kell kielégiteniök:

Alacsony gőznyomás az üzemeltetési hőmérsékleteknél;
kismérvü neutronszorpció;
Nagy hidrogénsürüség, mely a moderálást elősegiti;
ne okozzon korróziót az aktiv-mag és a primér kör fémalkatrészeiben;
stabilitás magas hőmérsékleten;
ellenállóképesség a sugárzásokkal szemben;
ne lépjen kémiai reakcióba a nukleáris üzemanyagokkal és a vizzel;
kevés rádióaktivitást adjon le, hogy veszélytelenül lehessen a primérkörhöz eljutni;
viszonylag alacsony olvadási hőmérséklet, hogy kevesebb előfütésre legyen szükség;
jó hőátviteli karakterisztikák;
könnyen beszerezhető és olcsó legyen.

Előzetes kutatások azt mutatták, hogy egyes szerves vegyülereknél, főleg a szintétikus szénhidrogéneknél, elfogadható mértékben adva vannak ezek a tulajdonságok; legelőnyösebbeknek látszanak ezek közül a difónilek és a terfónilek izomérjei, bár némi hátrányuk is van. Hőátviteli képességük jóval kisebb a vizénél, nagyobb kiszivattyuzási energiát és nagyobb hőkicserélőket igényelnek. Olvadáspontjuk, bár viszonylag alacsony, még mindig szükségessé teszi a hütőkör előmelegitését.[1/]

1/ A környezeti hőmérsékletet megközelitő oldadási hőmérséklet elérhető difinil és terfónilek eutektikus keverékeinek alkalmazásával. Igy a máglya müködése közben a szénhidrogén hőmérséklet- és sugárzásokozta bomlástermékei még csökkentik a keverék olvadáspontját.

S ami még fontosabb, még a legstabilisabb fenilek is bizonyos mértékben bomlanak a hőmérséklet és sugárzás hatására.

Ezek a hátrányok azonban már az első kisérleteknél kevesebb zökkenőt okoztak, mint gondolni lehetett s amint egy reaktor belsejében a tokokban és hütő-körben végzett kisérletprogram előrehaladt, egyre nyilvánvalóbbá vált, hogy a folyékony szerves vegyülettel moderált és hütött reaktor technikailag megvalósitható és számottevő gazdaságossággal kecsegtető elgondolás.

Elektrongyorsitókkal végzett besugárzási kisérletek után megkezdődtek a tokokban végzett próbák és felállitottak egy a Brookhaven és MTR reaktorokban szerves vegyületekkel, hütőkörben végzendő, hosszulejáratu kutatási programot. Utóbbi vizsgálatoknál a cirkuláló vegyületek folytonos tisztitáson mentek át; a hőmérséklet és sugárzás folytán keletkezett vegyitermékeket eltávolitották és egyenlő mennyiségü friss vegyülettel pótolták. Egyes vizsgálatok folyamán aluminiumtokban lövő, dusitott urániumrud behelyezése emelte a hőmérsékletet a rud közelében s igy lehetővé vált a szerves folyadék bomlásának vizsgálata a tok felületén.

Igy állapitották meg az általánosan alkalmazott fémek korrózióját, a leadott rádióaktivitás fokát és jellegét, valamint a sugárzások és a hőkozta bomlásarányt a hőmérséklet és a neutronfluxus függvényeként. Azt találták, hogy a szerves folyadékoknak az üzemanyagokra és a felépitési anyagok fémelemeire gyakorolt korrozióhatása egészen gyenge volt; 0,1 mg/cm^2 havonta, amint az ilyen nempoláris vegyületeknél várható volt. Minthogy a korrózió ilyen csekély, semmi akadálya sincs annak, hogy az egész primér körben kevés széntartalmu közönséges acélt alkalmazzanak. A hütőközegben a rádioaktivitást, mely csaknem kizárólag az eredeti szennyezéseknek tulajdonitandó, gyakorlatban elhanyagolható még a kereskedelmi forgalomban

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

kapható difónileknél ós terfenileknél is, főként a ^{38}Cl, ^{rr}Mn, ^{56}Fe jelenléte okozza.

A hőátvivőképességet a szerves vegyületben jelenlévő bomlási termékek százalékarányának függvényében állapitották meg: eszerint a szerves folyadók még 3o %-nyi bomlási termók esetén sem veszit gyakorlatban semmit hütőképességéből. A magas hőmérsékleten történő besugárzás többgyürüs kátránytartalmu polimóreket hoz létre, melyeknek magas az olvadási pontjuk s a moderátorban oldódnak. E polimérek képződését gáz fejlődés,-főleg hidrogén és kismennyiségü könnyü szónhidrogón, mint a metán kiséri. Óvatos becslés szerint szerves folyadékkal moderált teljesitményreaktorban az összteljesitmény 7 %-át nyeli el a moderátor. Ez az energia üzemállapotban termikus megawattóránként, az alkalmazott szerves vegyülettől függően 16o-17o g polimért hoz létre. A SANTOWAX OM ós R nevü terfónil kommerciális izomérkeverékei esetében ez a folyadékveszteség az elektromos kilowattóraönköltségnek minimális töredékével, körülbelül o.35 ezred dollárral egyenlő.

Tartottak attól, hogy a folyadóknak az üzemanyaglemezek felületón, a hőmérséklet folytán bekövetkező bomlása s ennek mechanizmusa egyike azoknak a főtényezőknek, melyek a szerves folyadókkal moderált reaktor specifikus teljesitményét korlátozhatják. Ezért ezt a hátrányt a szerves vegyület csövezeteiben alapos vizsgálatnak vetették alá; az első vizsgálatok eredménye azt mutatta, hogy ha egyáltalán van réteglerakódás, ez olyan vékony marad, hogy gyakorlatban nem gátolja a normális hőkicserélődést. Megerősitették ezek a kutatások azokat az elméleti elgondolásokat, miszerint a rendszer paramétereinek helyes megválasztásával elkerülhető egy bajtokozó róteg automatikus gyorsulással való keletkezése /2/.

I/665/S/Sz.

Szerves folyadékkal moderált reaktor kisérleti programja /OMRE/ /3/.

A program második része egy valóságos reaktorral végzett kisérletsorozatra irányult, melyet terfónilekkel moderálnak és hütenek. Ezeket a kisérleteket egy szerves vegyülettel moderált kisérleti máglya /Organic Moderated Reactor Experiment, OMRE/ speciális berendezésével hajtották végre; a máglyát az ATOMICS INTERNATIONAL épitette az USA Atomenergiabizottsága részbeni segitségével, az Arco-i /Idaho/ Nemzeti Atommáglyakisérleti Üzemben.

Az OMRE, melynek hőteljesitménye 16ooo kW, 1957. nyarán vált kritikussá. Ez a reaktor nem szó szoros értelmében vett teljesitményreaktor-prototipus, egyszerüen kisérleti berendezés, melynek segitségével meghatározhatók lesznek az épitendő teljesitményreaktorok részletes és végleges tervének felállitásához szükséges kvantitativ adatok.

Az OMRE, - bár konstrukciója igen egyszerü, magasabb hőmérsékleteket és fluxusokat képes létrehozni, mint ezek a teljesitményreaktorok. Aktiv magját több lemezből álló üzemanyagegység-hálózat alkotja, reflektora terfenil és vas /5 cm, mely egyuttal hőabszorbenül is szolgál/, a vezérlést hat pár vezérlőrud látja el. A csőszerü acélövezet, mely részben a földbe süllyed s amelynek alján helyezkedik el a reaktorok magja, 9 m hosszu és 2,5 m vastag. Az üzemanyagtöltés és kiürités kézzel történik egy 5 m magas SANTOWAX oszlop biológiai védelme alatt. A hütőfolyadékban a gőznyomás olyan, hogy üzem közbeni forrásának meggátlására néhány atmoszféra elegendő. Hogy ne kelljen hosszadalmas uton speciális üzemanyagtipust előállitani, a klasszikus többlemezes tipust alkalmazzák, mely erősen dusitott oxid alakjában 83o g uránium-235-öt tartalmaz rozsdamentes acélporral keverve s az egész rozsdaálló acéltokba van helyezve. A jövőbeli teljesitmánymáglyáknál

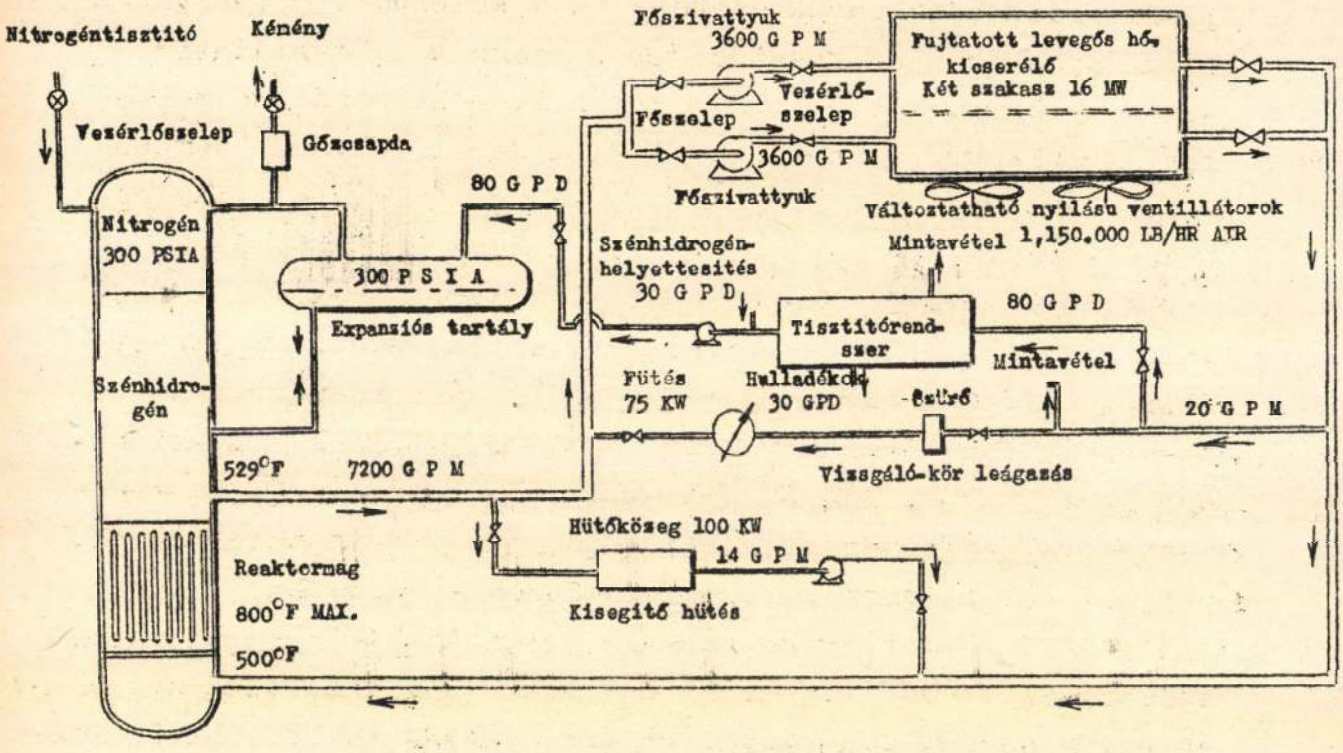
azonban aluminiumtokokban elhelyezett, enyhén dusitott üzemanyagelemeket szándékoznak használni, ami a magban neutronmegtakaritást jelentene és lényegesen csökkenteni a besugárzott üzemanyag feldolgozási költségeit.

Egy komplett termelemrendszer megfigyelhetjük az üzemanyaglemezek felületén végbemenő hőmérsékletváltozásokat. Ugyanis ennél a kisérleti máglyánál fontos, hogy a legforróbb tokfelületek mentén figyeljük a hőmérséklet-okozta folyadékbomlást, hogy megállapithassuk a teljesitmény felső határát. Az igy mért legmagasabb hőmérséklet automatikusan szabályozza a fluxusnivót.

A reaktor husz üzemanyagelem beépitésével vált először kritikussá. A hálózatban további tizenhat szabad hely áll rendelkezésre a felmelegedés, mérgeződés ellensulyozására és a kisérleti célra szolgáló üzemanyagelemek befogadására. A magban a nyomást egy rendszeresen frissitett nitrogén atmoszféra hütőközegben uralkodó nyomásszint fölött tartja; ilyenmódon a hütőközeg illó bomlástermékei állandóan eliminálódnak. Számolva a folyadék nagymérvü hőokozta kiterjedésével, a magburokkal párhuzamosan egy külső expanziós tartály van elhelyezve. Az OMRE primér körét, mely teljes egészében kevés széntartalmu acélból készült, elektromos indukció utján előfütik, mert a jelenleg alkalmazott SANTOWAX-anyagok szilárd halmazállapotu a környezetének hőmérsékletén. A szivattyuk és szelepek a petroleumiparban általában használt klasszikus tipusuak, a máglya müködése közben fellépő hőmérsékletekhez adaptált gyürürendszerrel ellátva. Miután a reaktor leállt, a primérkört kikapcsolják s a tápelemekben keletkezett maradékhőt egy kiegészitőkör eltávolitja.

Egy desztillációs tisztitórendszer segitségével a kátránytartalmu termékeket egy előre megállapitott állandó százalékértéken lehet tartani: a kátrány eltávozik

ós helyébe friss terfónil kerül. Ugyanekkor eltávolitja a tisztitórendszer azokat a hütőközegbe esetleg bejutó minimális szennyezőseket, melyek növelhetnék a hütőbe kerülő rádioaktivitást. A hütőkör egy leágazásban állandóan mérik a moderátor-hütőközeg hőátvivő képességét.



5. ábra.+/

Az ÓMRE szerves folyadékáramának vázlata.

15o Le motorokkal ellátott két párhuzamos centrifugális szivattyu percenként 27ooo l folyadékot cirkuláltat, melynek sebessége a magban elóri a 4,5 m/másodpercet /5. ábra/ s a folyadék egy légáramás hőkicserélőben hül le, miáltal a kisérlet ezen fázisában eliminálódnak a gőzfejlesztő rendszerrel járó bonyodalmak. A későbbiek folyamán valószinüleg be fognak állitani egy gőzkazánt, a látszólagos terhelés alatt álló máglya dinamikai viselkedésónek vizsgálata céljára.

+/ G P M = gallon/minute
G P D = gallon/day
P S I A = pound/squere inch = 0,068 Atm.

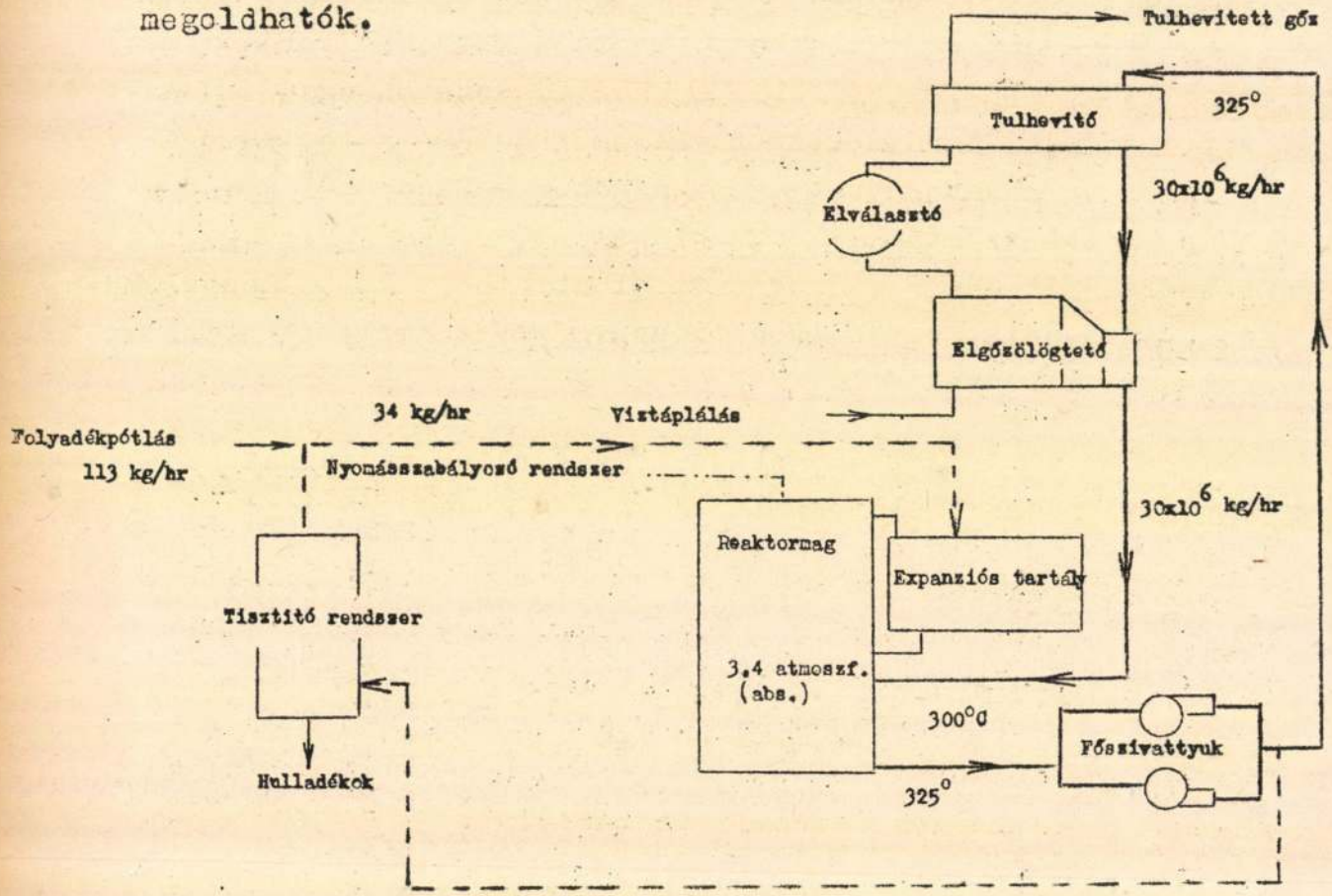
Szerves folyadékkal moderált teljesitményreaktor /OMR/ /4/ vizsgálati programja.

Mig a szerves folyadékkal moderált reaktor /OMR/ technikai lehetősége - a hütőkörben végzett első analizisek és kisérletek eredményeinek köszönhetően - teljesen meghatározottnak tekinthető, gazdaságosság szempontjából érdekes erőművek épitéséhez a különböző paraméterek legelőnyösebb megválasztása csak azoknak a kvantitativ eredményeknek figyelembevételével lesz lehetséges, melyeket az OMRE-vel a következő kilenc hónap folyamán továbbfolytatott kutatási program fog szolgáltatni. Az Atomics International addigis, mig ezek az adatok kialakulnak, megkezdte az OMR rendszer és alkotóelemei gyakorlati megvalósitásának programkidolgozását s több előzetes tervet állitott fel. Elsősorban négy földi erőmüprototipus-méret terveiről van szó, melyeknek tiszta elektromos teljesitménye 11,4 ; ..75 ; loo és 15o megawatt, továbbá egy 7o megawatt hőteljesitményü tengeri hajómeghajtás prototipusáról, melynek teljesitménye tengelyen 2oooo - 22ooo Le. F tervek alapján választották ki az Ohio államban lévő Piqua város számára épitendő 11,4 megaeatt elektromos teljesitményü OMR-t és egy második, ugyanilyen tipusu máglyát, melyet Latin Amerikában állitanak fel.

A máglyakomplexum egyszerü volta és szabványanyagok és alkotóelemek alkalmazása viszonylag olcsóvá teszik, hgy OMR tipusu erőmü épitését: a fentemlitett földi erőmüberendezések össz-ára brutto kilowatt-teljesitményenként 45o, 272, 235, illetve 2o6 dollárra becsülhető egyenként. Különösen kedvezően alakul ez a viszonylag alacsony beruházási költség a kis teljesitményü reaktoroknál, mint például a kis villamos telepek, az épületfütő berendezések és a tengeri hajómeghajtás céljára szolgáló reaktoroknál. A két utóbbi esetben, amidőn a reaktorok ambulakta vidékek közelében müködnek, az OMR tipus határozott előnnyel rendelkezik kedvező biztonsági karakterisztikái folytán. Továbbá azoknál az alacsony hőmérsékleteknél, melyek fü-

tőberendezések máglyáinál adva vannak, a moderátor sokkal kevésbé szenved bomlást és a friss szerves-folyadékfelhasználás kisebb.

A nagyobb, 75, 1oo és 15o megawatt elektromos teljesitményü máglyák által előállitott kilowattóra önköltségi ára olyan alacsony lesz, hogy ezek a máglyák a világ számos piacán versenyképesek lesznek a klasszikus hőerőművekkel szemben. Tekintve, hogy ezeket a nagyteljesitményü reaktorokat lehetőleg magas évi üzembentartási koefficienssel fogják üzemeltetni, a tervek előirányozzák azt, hogy az üzemanyagtöltés és ürités üzem közben, teljes hatásfok mellett legyen keresztülvihető. Minthogy a reaktor magjában a nyomás kicsi, az üzemanyagtöltéshez és kiüritéshez szükséges távvezérlési mechanizmusok elég egyszerüen lesznek megoldhatók.

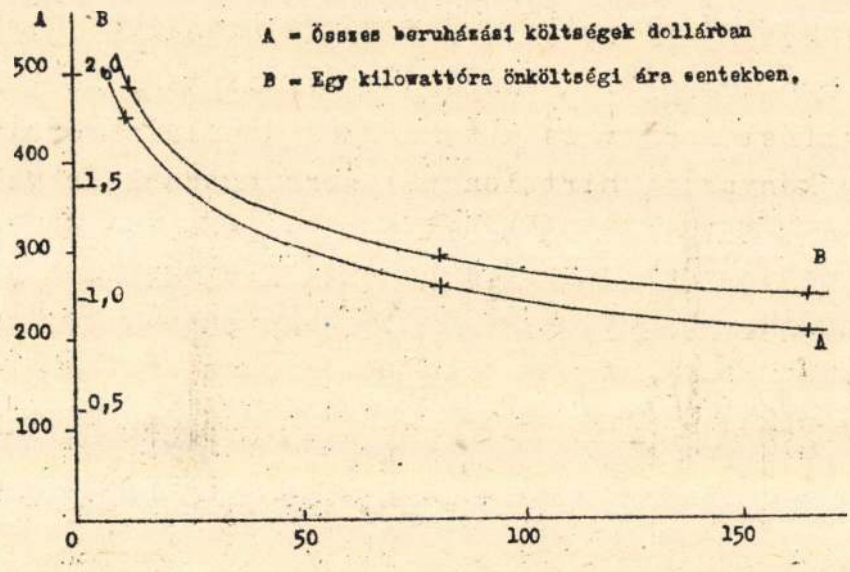


6. ábra.

Az OMR netto 114, elektromos megawattos reaktor primór és szekundér köreinek vázlatrajza.

I/665/S/Sz.

Az OMR erőművek kevéssé tulhevitett gőzének hőmérséklete 3o - 32 ata nyomásnál valamivel 300°C fölött van; ez körülbelül 29 %-os brutto körteljesitményt eredményez /6. ábra/. A 11,4 megawatt teljesitményhez alkalmazott üzemanyag 1,8 %-ra dusitott urániumfém, ez a dusitási arány a máglyateljesitmény növelésének függvényeként csökken, s 150 megawattos erőmű esetében 1,2 %-ra megy le. Az üzemanyagot aluminiumtok veszi körül s becsült élettartama 3ooo-4ooo megawatt-nap tonnánként. A moderátor bomlásának korlátozása céljából az üzemanyagelemek felülethőmérsékletét 400°C-os szinten tartják s a fluxus 1,4 . 10^{13} n/cm^2/sec alatt marad. Ha az üzemeltetés ilyen feltételek között folyik, ugy egy ilyen tipusu erőmünél a moderátor-hütőközegben 3o %-os állandó poliméraránnyal lehet számolni, ami a folytonos tisztitásnak és friss szerves folyadék-pótlásnak köszönhető. Normális üzemeltetésnél a polimérhulladékok rádioaktivitása olyan csekély, hogy a klasszikus égés- és lerakódáseltávolitási eszközökkel való kiküszöbölésük nem okoz komoly problémát. Mindazonáltal a primérkör biológiai védelemmel van körülvéve, hogy elkerülhetővé tegye a reaktor azonnali leállitását az üzemanyagelemeket tartalmazó tokok megrongálódása esetén, aminek következtében a hasadási termékek bejutnak a hütőbe. Ezesetben a gázalaku hasadási termékeket magával sodorja a nitrogénáram s egy gáztisztitórendszer távolitja el őket, mig a hütőfolyadékban maradó hasadási termékek a polimérekkel együtt a desztillációs folyamattal automatikusan eltávolitódnak. Minthogy a hütő és az üzemanyag között kémiai affinitás egyáltalán nincsen, a tokokban bekövetkező meghibásodás nem okoz fokozatos roncsolódást az üzemanyagelemben s nem teszi szükségessé a berendezés azonnali leállitását.



7. ábra.

A kilowattóra önköltségi árának és az egy kilowattra eső össz-beruházási költségnek változása /az erőmű-teljesitmény növekedésével/

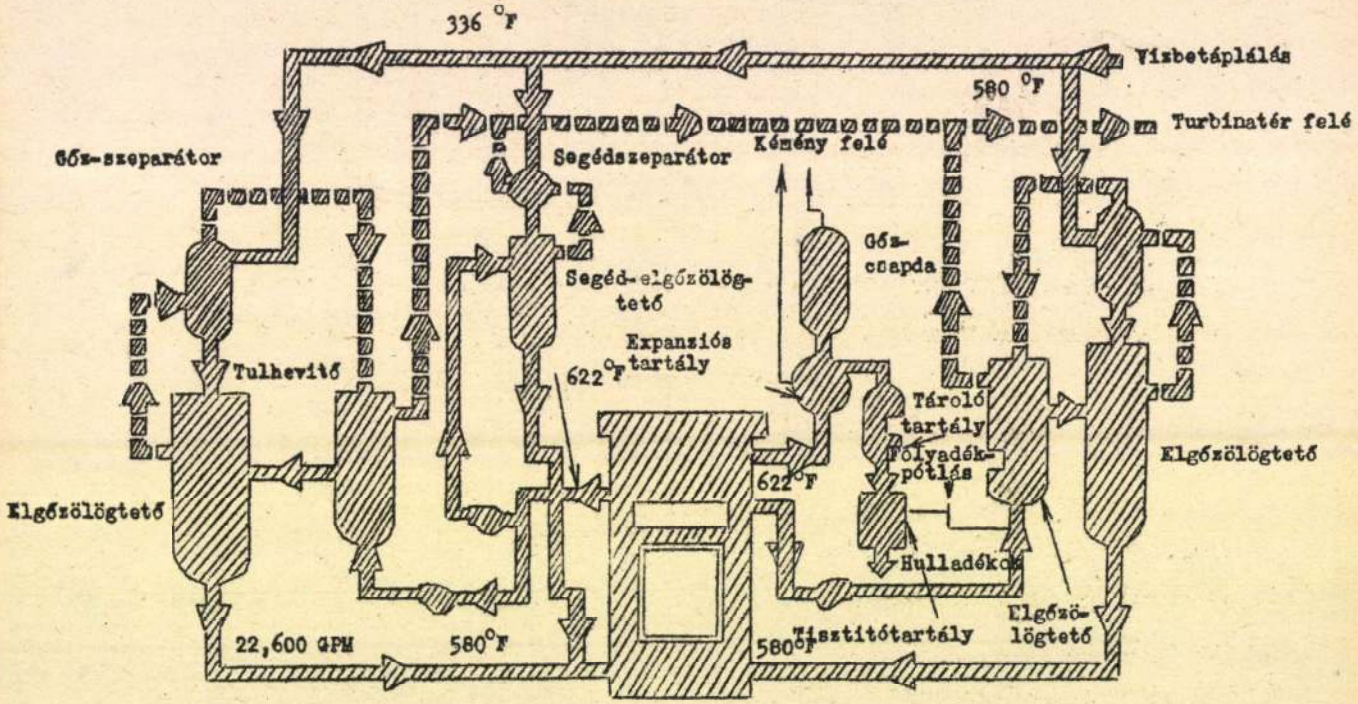
A 7. ábra szemlélteti az egységnyi elektromos energia önköltségi árának és a termelt kilowattonkénti alap-beruházási költségnek csökkenését, az erőművek teljesitményének függvényeként. Az árakat az Amerikai Egyesült Államok szabványadatai alapján vettük, melyek még függvényei az Amerikai Atomenergiabizottság által megállapitott, viszonylag magas üzemanyagfeldolgozási áraknak.

Hajómeghajtó reaktorok /5/.

A 7o megawattos hőteljesitményü reaktor az Atomics International által tengerihajó-meghajtásra tervezett kivitelben nagyon hasonló lesz a többi OMR reaktorhoz. A magjában uralkodó hőmérséklet, a fluxus és a gőzhőmérséklet hozzávetőlegesen ugyanolyanok lesznek.

A hajómozgás ellensulyozására növelni fogják a mag és övezete szilárdságát. Az üzemanyagelemek felépitése és elrendezésük a hálózatban ugy van megoldva, hogy az

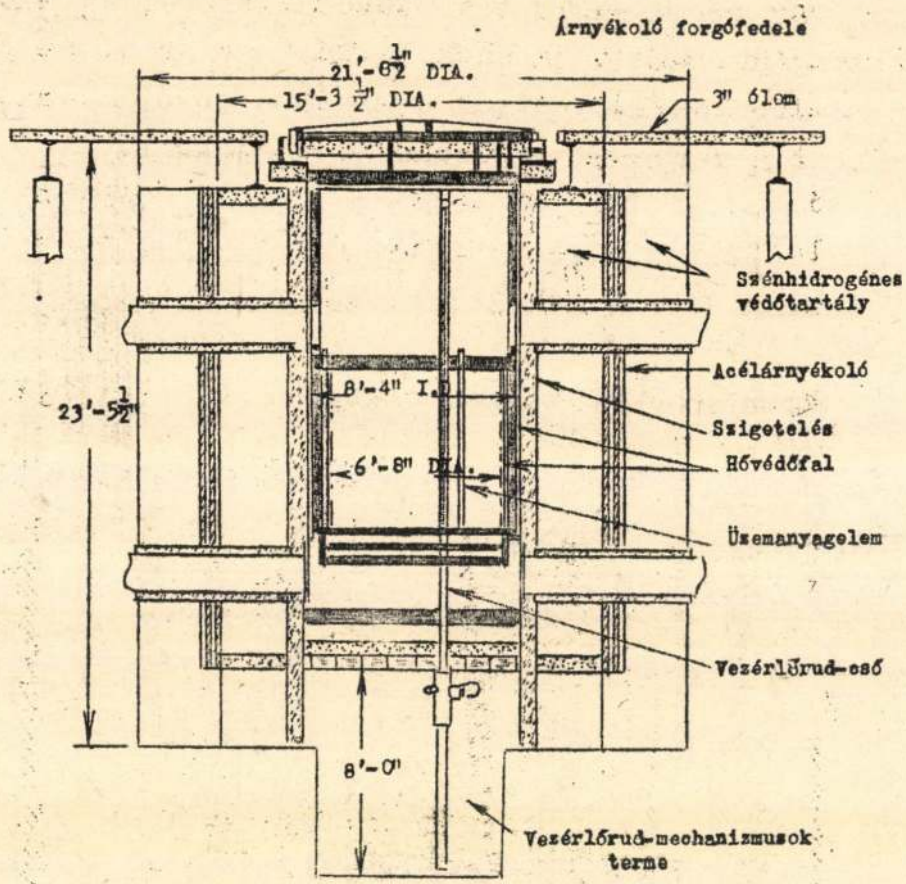
összteljesitmény emelkedjék, de a mag mérete korlátozva legyen. Ugyancsak vizsgálat tárgyát képezték a védelmi rendszerek, különösen számitásba vették más hajókkal való összeütközés lehetőségét. A szerves folyadék természetes konvekciós áramlási köreit és a tengerviz áramlási köreit a reaktor mag kényszerü,hirtelen hütésére használják fel; az egyik a hajó baloldalán, a másik a hajó jobboldalán van, hogy - bármely oldalon történjék is az összeütközés, - a reaktormag felmelegedés következtében ne menjen tönkre /8. ábra/.



8. ábra.

Tengerihajó-reaktor primér és szekundér köreinek vázlata.

A primér hütőkörbe leadott csekély rádioaktivitás lehetővé teszi, hogy ezt a kört, valamint a tisztitórendszer körét normális üzem közben bizonyos távolságig megközelitsék. A reaktort körülvevő abszorbenst főleg folyékony szénhidrogéneket tartalmazó tartályok alkotják, melyeket a hütő-csőkigyókban cirkuláló tengerviz hüt./9. ábra./



9. ábra.

Tengerihajó-reaktor vázlatrajza.

Amidőn a hajó közepes sebességgel halad, naponta körülbelül 4oo liter gyenge rádioaktivitásu polimérhulladékot kell eltávolitani égetéssel, elraktározással, vagy esetleg egyszerüen a tengerbe történő öntés utján, az üledék sürüsége nagyobb a tengerviz sürüségénél/. Az üzemanyagtöltő és kiüritő mechanizmus egy része a kikötőben hagyható s csak az üzemanyagcsere alkalmával kell igénybevenni.

A 38ooo tonnás tartályhajó sebessége teljes terhelésnél és megrakva 18 tengeri csomó lesz, a hajó egy OMR-ből és tengelyen 2oooo Le-t adó turbinából álló komp-

lexummal lesz ellátva. Ugyanilyen méretü szokványos hajóval szembeállitva és 17ooo tengeri mérföldes zárt körben megtett utat alapul véve, megállapithatjuk, hogy egy OMR-meghajtásu hajórakomány évi üzemeltetése fuvarköltség-tonnánként nem sokkal drágább. Lehetségesnek látszik azonban, hogy a berendezést tovább tökéletesitsék s akkor a jövő OMR-hajója ki fogja állni a versenyt a közönséges hajókkal.

Vitathatatlan, hogy a szerves folyadékkal moderált teljesitményreaktor,- az uj jövevény a máglyák területén - versenyre fog kelni a régebbi rendszerü reaktorokkal. De minthogy több tekintetben hasonlit a viznyomásos reaktorokhoz /PWR/; megvan az az előnye, hogy hasznosithatja az utóbbi máglyákra vonatkozóan végzett vizsgálatokat. Ennek köszönhető, hogy az OMR valószinüleg aránylag rövid időn belül gyakorlatban megvalósitható lesz.

I/665/S/Sz.

Atomkernenergie,
2/№ 11-12, I.495/Nov-Dez.1957/.

Rádioizotópok tudományos kutatásban való alkalmazásának nemzetközi konferenciája

/rendezte az UNESCHO, Párisban, 1957.szept.9-2o/

Irta: H. Herbst

1957. szeptember 9.-2o között Párisban az uj orvosi fekultás helyiségeiben Nemzetközi Konferenciát tartottak rádioaktiv izotópoknak a tudományos kutatásban való alkalmazásáról. A konferenciát az UNESCO hivta össze, közgyülésének 1956. évi New Delhi-i határozata értelmében. Tizéves történetében először fordult elő, hogy az UNESCO ilyen nagyszabásu, a világ nemzetei tudományos törekvéseit ismertető konferenciát rendezett. Ennek inditékát az 1955. évi genfi Atomkonferencia eredményei, valamint az a meggyőződés szolgáltatták, hogy egy rohamosan fejlődő, viszonylag kevés titoktartással kezelt, a tudomány majdnem minden területét, technikát és gazdaságot érintő kutatási területen szükség van a tudományos munka eredményeinek időnkénti kicserélésére. Sir John Cockcroft, a konferencia elnöke, a Sorbonne-on tartott megnyitójában ezt mondotta: "Máris látható, hogy a rádióizotópokat igen különböző és tág területeken fogjuk tudni alkalmazni és egykor talán még nagyobb szolgálatot fognak tenni az emberiségnek, mint maga a magenergia."

A konferencián mintegy 5o nemzet és sok nemzetközi szervezet sokszáz képviselője volt jelen. 24 országbeli, többnyire kutatócsoportokban dolgozó tudósok, 217 tudományos munkáját vették fel a konferencia programjába. A Szövetségi Köztársaságból több, mint loo résztvevő jelentkezett. A benyujtott munkák tekintetében a Szövetségi Köz-

társaság hatodik helyen állt a nemzetek között /táblázat/. Bár nem volt tárgyalási nyelv a német, de felvették a szimultán-leadások hálózatába. A Szövetségi Köztársaság Atomügyi Miniszteriuma a konferencián való részvételt és a résztvevőket különleges támogatásban részesitette. A Követségen rendezett fogadáson a résztvevőknek alkalmuk volt külföldi vendégekkel találkozni.

A konferencia keretében tudományos müszereket állitottak ki s munkamódszereket mutattak be. Tudományos filmeket vetitettek. A hivatalos programot kiegészitve, több esti előadást tartottak az izotóptechnika és a sugárvédelem általános problémáiról. W.F. Libby az egyik ilyen előadásban mérleget állitott fel az izotópfelhasználás jelentőségéről az USA iparában. Az U.S. Atomenergiabizottsága 1957. aug. 1.-én 4282 szervnak, többek között 1667 ipari üzemnek szolgáltatott ki rádióizotópokat. Az izotópokkal megkezdett munkát az üzemeknek csupán 2 %-a hagyta abba. Az ipar izotópok alkalmazásával valószinüleg 39o millió dollárt takaritott meg. Legnagyobbmérvü a megtakaritás a kőolaj-, cigaretta- fém- és papiriparban. Várható, hogy a megtakaritás belátható időn belül 1 milliárd dollárra emelkedik. Ezt hasonló, vagy még nagyobbmérvü megtakaritás egésziti ki az izotópoknak orvosi és mezőgazdasági alkalmazásából kifolyólag. A jelenleg piacra kerülő ipari termékeknek mintegy a fele izotópokat alkalmazó üzemekből kerül ki. Várható, hogy a közeljövőben lényegesen csökkenteni fogják az izotópok árát, a ^{137}Cs-ót kb. a jelenlegi ár 1/3o-ára, a ^{131}J-ót mintegy 1/1oo-ára s a ^{14}C-ót kb. 1/2oo-adára.

Abban az országban és városban, ahol - hogy a konferencia főtitkára, P.Auger fogalomképeivel éljünk - Henry Besquerel, Pierre és Marie Curie, Fréderic és Irene Joliot-Curie járultak igen értékes kövekkel a nukleonika épitményéhez, adva volt a kapcsolat a multtal és - a francia Atomkutató Központ, Saclay, közelsége folytán, melyet a

konferencia sok résztvevője meglátogatott, valamint az egész világ számos szaktudósának jelenléte folytán - hasznos találkozási lehetőség a jelennel.

Az izotópalkalmazási munka természetében rejlik annak oka, hogy a konferencián rendkivül sok, a fizikától és kémiától az izotópok ipari alkalmazásáig, a biológiától és orvostudománytól a müvészettörténetig terjedő problémát kellett megtárgyalni. Az érdeklődők csoportokba összefoglalt rokontémák köré csoportosultak. Aki figyelmesen követte a Pergamon Press által sokszorositott előadásszövegek alapján a beszámolók összességét, saját munkájának irányától eltérő problémáknak már a megtárgyalásából is értékes metódikai és tárgyi ösztönzést kaphatott. Az előadásokat és vitákat az UNESCO publikálni fogja.

A konferencia beszámolóira támaszkodva, az alábbi rövid kivonatos beszámolót a tárgyalások szakmailag lényegi tartalmáról négy tárgyszerinti osztályba csoportositjuk. A zárójelben feltüntetett számok a vonatkozó beszámolók sorszámaira utalnak.

1. Munkamódszerek.

Tökéletesitett vagy uj fizikai és biológiai módszerek kiszélesitették az izotóptechnika alkalmazási lehetőségeit. Seeliger /204/ rádionuklidoknak meghatározott konstrukcióju szcintillációs számlálók segitségével történő szabványositását és 4 -mérését tárgyalta. Gilbert és Keene /1/ számlálócsőrendszeri konstruáltak a rádioaktivitáseloszlásnak elsősorban kromatográfiával való meghatározására. Több munka /4, 6/ foglalkozott folyékony szcintillátorok főleg ^{14}C, ^{3}H és ^{35}S aktivitásmeghatározásánál való alkalmazása előnyeivel. -sugárzóanyagoknak folyadékokban való mérésére nagy belső felületü cel-

lákká kiképzett plasztik-szcintillátorokat alkalmaztak /9/. Behounek /5/ béta-aktivitásokat nehezen hozzáférhető helyeken, például csövekben, az ott áteresztett levegő ionizációjának mérése utján határozott meg. Imsertettők igen finomszemcséjü fotóemulziók előállitási módját /7/. Picciotto /8/ beszámolt igen gyenge alfa-aktivitásoknak geofizikai problémák kapcsán, magnyomvizsgálatok segitségével történő meghatározásáról.

Müller /2o5/ kolloid ^{198}Au-nak rákterápiában való alkalmazásánál, a tényleg hatákony sugárdózis meghatározása céljából neutronokkal történő aktiválási analizist alkalmazott ^{198}Au-t elraktározó szövetekben, a primér-aktivitásnak zérusra való lecsökkenése után. A deuteronáramban előállitott ^{15}O-t felhasználták az O_2-nek tumorokban való eloszlása vizsgálatára és autorádiográfiai szemléltetésére. /148/. Donato egy olasz kutatócsoporttal /2o7/ beszámolt a kvantitativ radiokardiográfia terén végzett haladó munkájuk eredményeiről. Az impulzusokat egy szcintillációs számláló két csatornájára szétbontvak követni lehetett kisérleti állatok véráramában egymás mellett a ^{32}P-t és a ^{131}J-t /147/. Több munka /149, 2o9, 21o/ demonstrálta radioaktivitással jelzett reagensek és festékanyagok alkalmazásának módszerbeli előnyeit fiziológiai és morfológiai vizsgálatoknál. Medvedev /15o/ magas nyomás alatt rádioaktiv anyagokat tartalmazó szervekről szürőpairon lenyomatot állitott elő és a lenyomatok szelektiv, megfelelő vegyszerekkel való mosásával biokémiai frakciókat szeparált autoradiográfiai vizsgálat vagy számlálócsöves mérés céljára. Pellerin /2o6/ kémiai diffuziók és pseudoradiográfiai hatások elkerülése céljából az autoradiográfiai felvételekre szánt biológiai objektumokat folyékony nitrogénben fagyasztotta és felhasználáshoz megfelelően sikmaratta.

II. Fizika és kémia

Angol és francia szerzők /13, 16, 17, 189/ számoltak be izotópoknak grafit-reaktorban, avagy izotópok elektromagnetikus szétválasztására szolgáló berendezésekben történő előállításáról, valamint a hasadási termékek feldolgozásáról, különösen a ^{137}Cs-éről. Tárgyaltak rövidéletü rádionuklidok, mint a ^{28}Mg, ^{132}J, ^{133}J, ^{18}F előállitási módszereiről /19c/. ^{32}P mC-mennyisógekben állitható elő /12/. Rendelkezésre áll az aluminium egy izotópja, a ^{26}Al is, felezési ideje 1.10^{6} év /18/. Petrowa /11/ leirt egy módszert, mellyel sugárforrások előállithatók oxidos filmeknek aluminiumon való lerakódása segitségével; ez a módszer még beigazolásra vár.

Ismertettók erős, ^{60}Co és ^{137}Cs, 21 kg Ra-ekvivalens teljesitmónyre képes sugárforrások felépitését /19, 2c/. Különböző csoportok vizsgálták erős sugárzás hatásait polietilónre, polivinilkloridra és általában a polimerizációs folyamatra szerves vegyületekben /21, 22, 23/. Saclayban vizsgálatokat végeztek kobaltüvegeknek kómiai dozimóterként való alkalmazására vonatkozólag 10^{4} és 10^{6} rep közötti sugárdózisok esetón. /192/.

Az analitika területén a gamma-spektrometria értékes, még ki nem meritett segódeszköznek mutatkozik /53/. Egy belga csoport összegezte az alkáliáknak, földalkáliáknak és ritka földfómeknek kromatográfiai uton való elválasztására vonatkozó tapasztalatokat /52/. Rádioaktiv izotópok alkalmazásával sikerült továbbá alátámasztani a Co-precipitátor utáni kutatást anyagoknak erősen higitott oldatokból történő szelektiv koncentrálása cóljából. /46/. További munkák, speciális analitikai-kómiai problómák mellett /48, 49, 5c/ foglalkoztak a rádioizotópoknak a fényképezési kómiában való alkalmazásával /51/, valamint a spektroanalitikus módszerek kibőcitésével. /47/.

I/665/S/Sz.

Szerves kómia területén Weygand és Daniel /199/ nyujtották be munkájukat rádiozitópok alkalmazásáról kvaterner ammóniumbázisok Hoffmann-féle lebontásának vizsgálatánál. Más munkák szerves anyagokban végbemenő katalizis-folyamatokkal, továbbá egy sor speciális vegyületnél lejátszódó kémiai reakciók mechanizmusával /55, 56, 57, 58/ foglalkoznak.

Egyre könnyebbé válik, az izotóptechnika folytán, a fizikokémiai problémák kidolgozása is. Jech /35/ vizsgálta, rádioaktiv gázok segitségével, szilárd testek felületi strukturájának topográfiáját. Más szerzők ^{35}S segitségével fémek kénezési folyamatainak kinetikáját, /4/, avagy proteinek üvegfelületeken való adszorpciójelenségét /145/ tanulmányozták. $C^{36}Cl_4$-en vizsgálták e vegyület diffuziójának mikroszkópkus és szubmikroszkópikus strukturáktól való függését nagyfoku polimereknél. /45/ ^{195m}Pt segitségével vizsgálták az öndiffuziót platinában /216/ és tritummal jelzett viz segitségével polimérek diffuzióját membránokon keresztül. /34/. Dainton és társzerzői /211/ közölték tanulmányukat különböző gyököknek az elektronkicserélődésre gyakorolt hatásáról Fe/II - és Fe/III/-, valamint Co/II/ - és Co /III/-komplexekben. Más fiziko-kémiai munkák radioaktiv ionok elektroforézisóval /214/, uránium-ionok közötti kicserélődési reakciókkal /39/, platinán lejátszódó katalizis-folyamatokkal /43/, szublimációs folyamatokkal /215/, heteropolimérek szerkezetével és tulajdonságaival /37,/ azonos vagy különböző szerves vegyületek molekulái közötti ionmozgásokkal és kicserélődéssel /213/, ritka földfémek komplex ionjainak kinetikájával és hődinamikai tulajdonságaival /212/ és anyagoknak 10^{-12} moláris higitásokban tanusitott viselkedésével /36/ foglalkoztak.

Viszonylag sok munkát nyujtottak be a konferenciára rádioizotópoknak a szilárd testek fizikája, fémfizika és a hetallurgia területein való alkalmazásáról. A

Szovjetunió munkái között, melyekkel itt sulypontilag foglalkoztak, szerepeltek vizsgálatok az acél kifáradási ellenállása mechanizmusára /32/, a metallurgiai rendszerekben végbemenő reakciók kinetikájára /7c/, besugárzott kristályokban észlelt szerkezeti defektusokra és energiafolyamatokra /197a és b/, rendszerbe tartozó és külső atomok és ionok mozgásképességére és diffuziójára vonatkozólag kristályokban, oldatokban és szilárd anyagokban. /25, 27, 28, 29, 3c, 69, 193/. Egy- és többkristálybeli diffuziós folyamatokkal foglalkoztak más országokból származó munkák is /24, 26, 41/, továbbá vizsgálatokat végeztek az Ag hődinamikai tulajdonságaira nézve Cu-ban /31/, a Cl-nek Al-ra gyakorolt korrózióa hatásaira /44/, acélban lévő nemfémes zárványok viselkedésére /68,71/, acélra vitt krómbevonatok tulajdonságaira /66/, a felületi viszonyoknak a fém kifáradási folyamatára gyakorolt hatására /67/ és a nagyolvasztókban lejátszódó folyamatokra /194/ vonatkozólag Wolf, Ochs és Strassmann /198/ U_3O_8-TiO_2- és U_3O_8-ZrO_2-rendszerekbeli reakciókra vonatkozólag emanációs módszerrel végzett vizsgálataikat ismertették. A rádióizotópok ujszerü <u>ipari alkalmazásai</u> a következő területeken mozognak: gőzturbinák hengerei termikus deformációinak vizsgálata iridium-192 segitségével /74/, folyadéksürüségmérés zárt rendszerekben /195/, vörösréz krómbevonatainak porózitása /75/, különböző anyagok felvevő- és oldódóképessége gőzben magasabb nyomás alatt /73/, különböző vegyszerek befolyása a flotáció-folyamatra /72/ és különböző anyagok hajszálcsöveiben végbemenő folyamatok száradás, duzzadás vagy hőmérsékletváltozás közben /196/.

Amint a konferenciát kisérő film-müsor bemutatta, az izotóptechnika egyre nagyobb szerepet játszik a <u>hidrológiában,</u> különösen a vizek parthoz közeli üledékmozgásainak vizsgálatánál. Leirták a homok adszorpciós felületjelzésének ^{140}Ba - ^{140}La-val végzett módszerét /63/. ^{238}U, ^{232}Th és ^{226}Ra-meghatározásokkal vizsgálták az üle-

dékek arányát oceánokban /222/ és ^{131}J segitségével vizsgálták a vizekben lévő jód viselkedését /65/ Libby és Begemann /221/ az 1954. év tavaszán /Castle-i atombombakisérletnél ellenőrzetlenül eltávozott tritiumot végzett jelzőanyagként alkalmazták a légköri vizcirkulációnak és vizösszetételnek, valamint hőforrásokban és talajvizekben a viz korának vizsgálatára.

A rádioizotópok geofizikában való alkalmazásakapcsán Herr és Merz /218/ ^{176}Lu-analizismódszereket ismertetett, valamint a Lu-HF módszer alkalmazási lehetőségót geológiai életkorok meghatározására. Gerling geológiai rótegek életkorának argon-kálium-módszerrel történő meghatározására idézett példákat és vizsgálta az átmenetet 38K-ból 38A-ba K-tartalmu ércekben /217a és b/ Kahman és Ehmann /219/ kozmikus sugárzásból eredő radioaktivitásokat vizsgáltak meteoritokban s megállapitották, hogy a koznikus sugárzás intenzitása évmilliók óta nem változott lényegesen mai értókóhez képest. Ennek a csoportnak egyób munkái a meteorok és földkőzetek $^{32}S/^{34}S$-arányának vizsgálatáról szóltak /62/, továbbá a kozmikus sugarak hatása alatt argonból meghasadás utján történő esetleg ^{22}Na-képződóst vizsgáltak /22o/.

Több munka mutatott rá a visszapattanási kómia és a paritás elveinek /14, 15, 2o1, 2o2, 2o3/ /223, 224/ alkalmazásából adódó tudományos lehetőségekre. Dozimetriai vizsgálatokat végeztek energiaspektrumok alapján /2/.

Az izotópalkalmazás szóleskörü lehetőségei, melyek a természettudományokon és technikán tulmenő tudományos területekre is kiterjednek, élesen megvilágitják Asahina és Yamasaki /64/ antik müvészi tárgyakon béta-hátraszóródás segitségével végzett vizsgálatait. Régi templomokban meghatározták az üvegek Pb-tartalmát, antik bronztükrökön a vegyi összetételt s régi Buddha-szobrokon az aranybevonat vastagságát.

III. Biológia és orvostudomány.

A növény, állat és ember anyagcseréjére vonatkozó, igen sok munka végre jobban rávilágitott arra, menynyire hivatott az izotóptechnika az "anyagcsere mikroszkópiája" elnevezésre.

Egy japán csoport ^{32}P segitségével /1o4/ a szem ideghártya fénybefogadásának mechanizmusát Gerlach /172/ a vörös vértestben végbemenő anyagcserefolyamatokat, Fleckenstein és Janke /171/ a nyugvó és mozgó izombeli anyagcserét, Govaerts és munkatársai /81/ á plazmában lévő foszfátokat vizsgálta. A kácium rádioizotópja segitségével normális és patológikus anyagcserefolyamatokat /173, 174/ és a Ca-eloszlást fiatal csontokban /82/ sikerült vizsgálni. Főleg a nátrium izotópjai voltak alkalmasak keringési akadályok vizsgálatára szövetekben, valamint a perifériális keringés vizsgálatára /11o/. ^{42}K-val vizsgálták a vesék müködését /1o2/, ^{35}S-sel pedig a szulfát-anyagcserét a csirkeembrióban /76/.

A rádiojóddal végzett jódanyagcsere- és pajzsmirigymüködésvizsgálatokról beszámoló, nagyszámu tanulmányt kiegészitettók speciális anyagcserefolyamatokra és szekréciós folyamatokra vonatkozó /1o7, 1o8, 155/, valamint a pjazsmirigy...különböző funkcionális egységeire vonatkozó vizsgálatok /1o9, 156/

Schweigert és munkatársai /162/, Khouvine /163/, Brachet és munkatársai /94/ Chantrenne és Devreux /92/, valamint Crathorn és Hunter /93/ a nukleinsav-anyagcsere további megvilágitásán dolgoztak.

Jelzőanyagként többnyire ^{14}C segitségével kutatták Shapiro és Stein /87/ a lipoid-anyagcsere részleteit a törpe-növés és mitokondria területén, Berthet /96/ a

máj körül, Chevallie /97/ pedig szövetek és szérumok anyagcsereterében. Egy angol és egy belga csoport /116, 117/ a tejelő tehén zsir- és lipoidanyagcseréjének problémáira nézve végzett vizsgálatokat.

Sejtek és szövetek, főleg a központi idegrendszer sejtjeinek és szöveteinek protein-anyagcseréjét Oehlert és Schultze /164/ vizsgálta. Ebben a tárgykörben mozgó más munkák az izomban lévő proteinekkel /89/ és a sejt mikroszomális frakcióiban lévő proteinekkel /91/, valamint a vizelétképződés kérdéseivel /85/ és a folsav biokémiájával /165/ foglalkoztak.

Hematológia terén a rádioaktiv izotópok a vörös vértestképződés rendszerének /159/, a hemoglobinmolekularészek szintézisének /114/, a globulinképződés /113/, a hyperalbuminózisnál végbemenő folyamatok /9o/, izolált leukocitákban végbemenő biokémiai folyamatok /16o/, vasnak a hemoglobin frakcióiba való beépülése /111/ és a különböző hemoglobin-komponenesek tulajdonságainak /112/ vizsgálatára szolgáltak.

Rádioizotópokat alkalmaztak szovjet kutatócsoportok az agyban és a perifériás idegrendszerben az anyagcsere - összefüggések további feltárására /1o6, 166, 167a és b/. Ugyanezen szervezetrendszerekre nézve végeztek hasonló vizsgálatokat egyes kutatócsoportok az USA-ban, Franciaországban és Belgiumban /83, 88, 168/

Élettan és patológia területén vizsgálták az anyagcserefolyamatokat a hipotalámuszban éhség és jóllakottság állapotában /1o3/, a szervezetben élettani korlátok szerepét /1o5/, kolloid csöppek utját a nyirokrendszerben /1o1/, a reticulo-endotheliális rendszer anyagcseréjét és sejtfaló viselkedését /169/, valamint a meiozis kinetikáját /17o/. Egy japán kutatócsoport tuberkulózis-fertőzések utjának vizsgálata céljából baktériumokat ^{32}P-vel jelzett és követte a bacaérosol utjait. /118/.

A gyógyszertan-csoport ülésén Jerchel és Hoffmeister /151/ bemutatták munkáikat a ^{14}C-vel jelzett dodecyl-dimetilbenzyl-ammoniumbromid hatásáról a staphylococcus aureus-ra és E. colira, valamint ezek sejthártyarendszereire. Wacker /152/ ^{14}C-vel és ^{35}S-sel jelzett vegyületekkel vizsgálta a baktériumok gyógyszerellenállását. Vigne és munkatársai vizsgálták szubsztituált glykolilkarbamidok anyagcseréjét /98/, valamint a "diazinon" utját olyan állatok tejébe, melyek élettani átmenetek folyamán ezt a rovarirtót magukba vették /99/. A dohányban és dohányfüstben a növények $^{14}CO_2$-fotoszintézisének módjára keletkező alkotórészeket, ezek lerakódását a légzőtraktusban és a nikotinanyagcserét a testben Larson és munkatársai vizsgálták /154/

A Szovjetunió magasan északi fekvésü területeinek növénytermesztési problémái adtak inditékot arra, hogy a levegő és talaj hőmérsékletének ásványi anyagok felvételére gyakorolt befolyását gabona és vetemények esetében ^{32}P és ^{45}Ca segitségével vizsgálják /12o/. Russel /178/ árpánál, különböző lélegzési feltételek között vizsgálta a P és Rb-felvételt a növények sóállapotának függvényeként. Tukey és munkatársai /132/ a levelek vizhálózatán keresztül a levelekből kilugozódó különböző tápanyagok meghatározásával foglalkoztak. A számtalan, ugyancsak rádioizotópok segitségével vizsgált növényélettani speciális probléma között szerepelt a szénhidrátszállitás a szárban /135/, a P és Rb-cirkuláció a növényben /134/, szervetlen és szerves anyagok mozgásai a cukornádnövényben /133/, a lipoidszintézis kérdései /185/, transzlokációs vizsgálatok a háncstestben /floém/ T-vel jelzett viz, ^{14}C és ^{32}P egyidejüleg alkalmazásával /179/, ionfolyam a vörös répa szövetében /181/, a cianidin bioszintézise /186/, terpének /129/, efedrin /131/ és gumi bioszintézise kokszagizben /13o/. Kursanov /128/ további szempontokat szolgáltatott a növény gyökérrendszerének, mint sokszoros anyagcsere szervének értéke-

lósához. Lzin és munkatársainak munkája /125/ a növények anyagcserójében nagyenergiáju sugárzás hatására fellépő zavarokkal foglalkozott. Tanulmányozták /187/ a növényi szövetkulturákban végbemenő fiziológiai folyamatokat és több munkában vizsgálták /77, 78, 79, 125/ az anyagcserét alacsony- és magasabbrendü gombákban. Megtermékenyitési vizsgálatok céljából növényi pollent ^{35}S-sel, és ^{32}P-vel jeleztek /136/.

Növénytrágyázási müveletek szempontjából érdekesek voltak egy japán csoportnak ^{14}C-vel és ^{32}P-vel jelzett trágyaanyagokból történő karbamid- és P-felvételről szóló munkái, /119/, valamint különböző Ca- és P-vegyületeknek talajbeli életéről és a növényekbe való bekerüléséről szóló tanulmányai /177/. Corin és munkatársai a gyökerek és a gyümölcsfák sarjadzó részei által történő ^{32}P, ^{45}Ca-, ^{35}S- és ^{59}Fe-felvételt vizsgálták.

A fotoszintézisnek, az életet irányitó egyik alapfolyamatnak problémáit ugyancsak sikerrel vizsgálták izotóptechnika segitségével Simonis /182/, egy francia /121/, egy japán /122/ és három orosz kutatócsoport /123, 183, 184/.

Külön ülésen foglalkoztak a rádioizotópoknak a tavak és tengerek termékenysége vizsgálatánál való alkalmazhatóságával. Vizsgálták a haltenyésztés szempontjából fontos evezőslábu rákok táplálkozási problémáit /137/, a Csendes Óceánban együttélő élőlények összességének fotoszintézis- és termékenységproblémáit /139/, a C-anyagcsere /138, 140/ és a foszforsavmozgás problémáit a tavak mocsarában /188/.

IV. Sugárvédelem.

A konferencia programjához tartozó különböző beszámolók és viták kapcsán előtérbe kerültek a sugárvédelem kérdései és problémái. Az esti előadásokon szereplő témák egy részénél és a rádioaktiv hasadási termékeknek biológiai objektumokba és biociklusokba való bekerülése utáni viselkedéséről szóló munkáknál ezek a problémák kifejezetten a középpontban állottak.

Igy az esti előadásokon W.G. Marley a rádioaktiv hulladékoknak rádioizotópok alkalmazása közben való eltávolitásáról, R. Scott Russell a stroncium és kálcium bejutásáról a talajból a növénybe, C.L.Comar pedig ezen nuklidoknak állatból az emberbe való továbbviteléről adott elő. L.S. Taylor egy az emberiség jóléte szempontjából igen felelősségteljes referátumában számolt be a megengedett maximális sugárdózis legutóbb történt leszállitásának kihatásairól a rádioaktiv anyagokkal folyó munkára. Kifejtette, hogy meg kell találnunk az utat az atomtechnikában rejlő kockázat és nyereség között, a kockázat azonban még nincs világosan körvonalazva. Minthogy az uj normák az izotóptechnikában is az alapháttérsugárzásnak már csak 3-5-szörösét engedélyezik biztonsági térközként, a sugárvédelemben adódni fognak nem egykönnyen megoldható problémák is. A sugárvédelem gondolta világnézeti alapban gyökerezik; a védelem fokát és terjedelmét a normák keretében mindenkinek saját megfontolása és felelőssége alapján kell megszabnia.

A "Hasadási termékek anyagcseréje talajban, növényekben és állatokban" tárgyu ülés keretében Russel és munkatársai /175/ a ^{89}Sr és ^{45}Ca igen bonyolult szorpciós folyamatairól és mozgásáról, a mésztrágyázásnak a talaj és növény Sr/Ca arányára gyakorolt különböző kihatásairól számolt be egyes talajfajták esetében, valamint annak a nehézségeiről, hogy határozott állást foglalhassunk a két

nuklid mindenkori jelenlétére nézve a növények gyökérfelvételénél. Hasonló vizsgálatokat végzett Klechkovsky és Guliakin /141/ Cs, Sr, Ru, Zr rádionuklidokkal. Ezek közül az első két nuklid mutatott nagyobb mozgékonyságot talajban és növényben. Comar és Wassermann /176/ az állatban és emberben végbemenő Sr-Ca-anyagcserét ^{90}Sr, ^{89}Sr, ^{85}Sr, ^{45}Ca és ^{40}Ca segitségével, szájon át történő beadás után vizsgálták. Azt találták, hogy fiatal patkányok a Sr-ot a Catól kevésbé diszkriminálják, mint felnőtt állatok. Stabil Ca egyszeri beadásának kevés befolyása volt a diszkriminációs folyamatra. Na-EDTA hatására részben több Sr rakódott le, mint Ca. Kisérleti állatoknál és embernél tejdiétánál, o,68, mig tejhozzáadás nélküli diétánál o,38-os arány adódott /a próba Sr/Ca; a mindenkori körfolyamat kezdeti állapotában fennálló Sr/Ca/. A vérből a tejig vezető uton a diszkrimináció o,38 volt. Az állatok tejénél, táplálékukkal összehasonlitva, o,o9 - o,14 viszonyszámot számitottak ki. A placentagátban a diszkrimináció 0,5 - o,6 volt. Middleton és munkatársai /143/ tehenekben végeztek rádioaktiv anyagokra nézve vizsgálatokat, melyeknek célja az volt, hogy közelebbről kifürkésszék a tejnek, mint rádioaktiv anyagot az emberbe eljuttató kritikus átszállitó eszköznek jelentőségét. A teheneknek hordozómentes ^{131}J-t, ^{89}Sr-t, ^{132}Te-t és ^{166}Ru-t, valamint atombombakisérletekből származó hasadási termékeket adagoltak, melyeket Angliában a levegőből szürtek ki s ezek közül alaposabban vizsgálták a ^{131}J-t, a ^{89}Sr-t és a ^{140}Ba-t. Mindezek a rádionuklidok nem jelentéktelen értékingadozásokkal s részben a tehenek tejhozamától függően mennek át a tejbe. Bauer /144/ egyidejüleg beadott és gammaspektrometriai eljárással analizált ^{85}Sr és ^{47}Ca segitségével vizsgálta mindkét elem anyagcseréjét különböző szervekben és különböző időpontokban az egészséges és beteg emberbe történt beépülés után. Azt találta, hogy a csontok a két nuklidra láthatóan egyformán reagálnak, a vérben azonban exkréciós mechanizmusnak kell müködnie, mely az Sr-t igyekszik eltávolitani.

A Cercoptihecus majom három fajtájába beépült ^{90}Sr-nak kihatásaira nézve három éven át, részben Harwell-i /Anglia/ laboratóriumokkal közösen folytatott vizsgálatokat Ward /Ghana/ /142/, melyek kisebb-nagyobb fajtaeltérésekkel azt mutatták, hogy a ^{90}Sr erős toxikus hatást gyakorol a magasabbrendü emlősökre. Majmoknál a rádiostroncium 7o %-ban, mig egereknél 45 %-ban maradt meg a szervezetben. A MDM /3o nap/ majmok esetében 0,7, mig egereknél 4 mC/kg ^{90}Sr volt. Már 18 muC/g ^{90}Sr = 18 MPC-től kezdve három éven belüli, tehát az állatok normális élettartamának 1/5-énél bekövetkezett halálesetek fordultak elő. Kiszámitották, hogy már 2 uC/kg ^{90}Sr a természetes felére csökkenti le az élettartamot. A halált okozó legkisebb, csontokban lerakódott radiostroncium-integralózis 28 rep. A beépült rádiostronciumnak ezen, eddig 8o majomnál észlelt reakciói arra intenék, hogy alacsonyabbrendü emlősökön végzett kisérletek észleléseit csak fenntartással alkalmazzuk emberre.

Ezeknél az előadásoknál és az ezekkel kapcsolatos vitáknál egyértelmüen kifejezésre jutott az, hogy rádioaktiv anyagbeépülés és továbbadás ilyen és hasonló élettani folyamatai nagyenergiáju sugárzás kihatásaiként jelentkező rendkivül kritikus helyzeteket rejtenek magukban, tudásunk azonban - sajnos - ezen a területen is hiányos, nem kielégitő. A résztvevők annak a reménynek adtak kifejezést, hogy éppen ez az UNFSCO-konferencia fog a föld minden országában ujabb erőteljes impulzust adni az idevágó kutatásoknak arra, hogy az ismeretbeli hiányok feltöltődjenek, ugyhogy az atom- és izotóptechnika részére megfelelően világos és sugárhigiéniai szempontból aggálymentes védelmi utasitásokat lehessen adni. -

---

I/665/S/Sz.

Nuclear · Engineering
3/№-22, p.28 /January 1958/

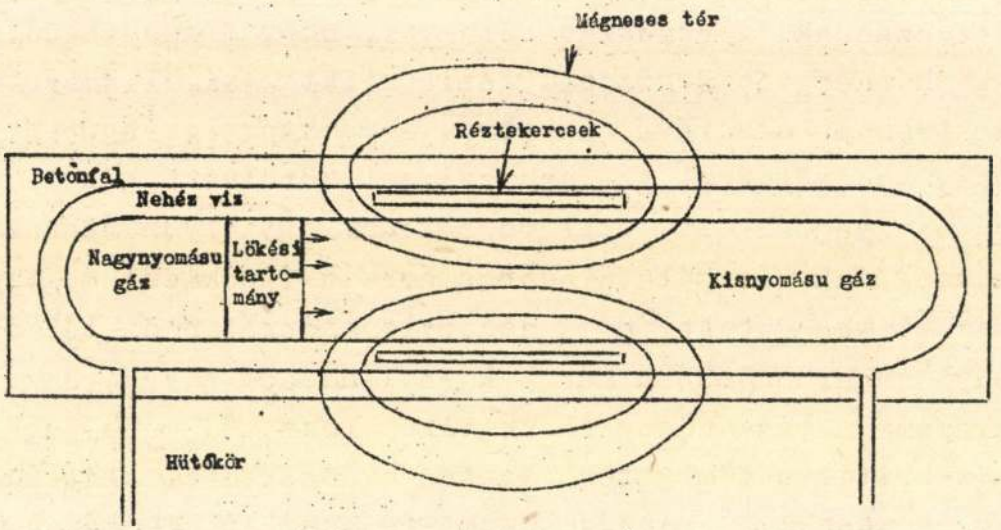
Egy hasadási plazmareaktor

Irta: R.L. Aamodt

A hasadási plazmareaktor gondolatával ugy foglalkoztunk mint egy a jelenlegi mérnöki ismereteket messze meghaladó extrapolációs gyakorlattal a technikai megvalósitás terén. A számitások azt mutatják, hogy az elgondolás ma még egészen szélsőséges, valósággá válhat azonban ez az uj tipusu erőmü, ha vele való foglalkozásra elegendő kutatási energiát szánnak. A rendszer célja az, hogy a hasadásból származó hőenergiát a gőznemü fázis kiiktatásával közvetlenül élektromos energiává alakitsa. A reaktor lényegében egy folyékony moderátorral pl. nehézvizzel körülvett gázállapotu hasadó anyagból áll. Bell és Safonov egy ilyen rendszer kritikusságának vizsgálatai során azra a rendkivül meglepő következtetésre jutott, hogy nehézviz moderátor esetén egy egylábnyi sugaru gömbben már 1 kg-nyi hasadó anyag, $2{,}7.10^{19}$ molekula/cm^3 anyagsürüséggel kritikus lesz. Nagyobb sugár esetén a kritikus tömeg természetesen emelkedik, kritikus sürüség azonban 10^{17} részecske/cm^3-re azaz szobahőmérsékleten 1/270 légköri nyomásra, 3000° T-én 1/27 atm-ra csökken.

Ezekben az üreges reaktorokban maga a gáz hasadási neutronokkal szemben átlátszó, a lelassitott neutronok 75%-a a visszaverődik az üregben és fenntartja a láncreakciót. Colgate azt ajánlotta, hogy az ilyen üregben keltett energiát egy csőben lökéshullám előidézésére lehet felhasználni. A hullámfront mögötti felmelegitett gáz mágneses téren halad keresztül és a mágneses teret félrenyomja. A gáz e folyamat során lelassul és kinetikus energiájának egy részét átadja a mágneses térnek, annak energiája növeli

a mágneses tórenergia pedig egy külső körben elektromos árammá alakitható. A gáz a cső tulsó végére jut el és ott felhalmozódik, a hasadási folyamat következtében ujból felhevül és egy uj lökéshullám alakul ki, az előbbi folyamat pedig megismétlődik. Mivel a gáz csupán rövid időt tölt a mágnestérben mielőtt az üreg falai a lökéshullám alakját megváltoztatnák továbbá mivel a lökéshullám általában különlegesen stabilis jelenség, hidrodinamikai instabilitások kialakulására nincs idő. Ez a pont, amelyet nagyobb részletességgel vizsgáltak. Az elgondolt modellben az üreg 25 láb átmérőjü és 150 láb hosszuságu hengeralaku kamra. Ezt veszik körül egy vékony grafit réteg egy fémtartály és a nehézviz-moderátor /lásd. 1. ábra/



1. ábra.

A hasadás plazmareaktor sematikus diagrammja.

A hasadó gáz mennyiségét ugy szabályozták, hogy egyenletes eloszlása esetén a rendszer éppen kritikusság alatt legyen. Bárminő perturbáció azonban, amely a hasadó anyag mennyiségét a cső egyik végén megnöveli neutronsokszorozással és a környező gáztömegek felmelegedésére vezet.

Ha ez a felmelegedés elég gyorsan történik, a gáznak ezt követő kiterjedése a csőben lökéshullám kialakulására vezet. A hullámfront mögötti gáztömegek felmelegedése a front-felületen keresztül történik és a front felület mozgását kisebb sebességgel követi. A hullámfront mögötti gázoszlop hőmérséklete elég magas ahhoz, hogy a gáz ionizálódjék. A gáz ily módon vezetővé válik és ennek a vezetőnek a reaktor közepén uralkodó mágneses téren való áthaladása során az erővonalak összenyomódnak; az erővonalak a vezető gázban lassan hatolnak be, egészen a tekercs körüli tartományig. A gáz és a mágneses tér között ható erő az ionizált gázoszlop sebességét eredeti értékének mintegy felére csökkenti és kinetikus energiájának háromnegyed részét a mágneses térnek engedi át. Ha ezt az energiát a mágneses térből még azelőtt sikerül kivonnunk, mielőtt az oszlop az erőtérből kilép, netto energia mennyiség került a mágneses térbe és onnan tovább, elektromos energia alakjában a külső körbe.

A gáz továbbmegy a henger másik végébe, menet közben lehül és felgyülemlik a távoli végben, hogy a ciklus megismétlődjék.

A tervezési paramétereket ugy vették fel, hogy feltételezték, hogy a gáz hengeralaku grafit-tartállyal körülvett uránium fém /forráspont 3,9oo ^{o}T/ A grafiton keresztülhaladó maximális hőfluxus 1 kW/cm^{3} és a belső fal hőmérséklete 3,5oo ^{o}T. Ezt viszont nehézviz-takaró veszi körül. A mechanikus energiának a kivánt elektromos energiává való átalakulása 7o %-os, beleértve a termodinamikus hatásfokot. Ezekkel a feltételezésekkel kiszámitották, hogy a gáz, mint félig áteresztő test akkor fog a kivánt hőárammal sugározni, ha a maximális belső hőmérséklet 6,5oo ^{o}T. Annak érdekében, hogy a szükséges átalakitási hatásfokot megtartsák, a reaktor sugarának 4 méternek kell lennie. Ezt a számot a plazma

sebessége diktálja, amely 6,5oo°T mellett 1.6 x 10^5 cm/sec. Az ésszerü gáz-sürüség 5 x 10^{17} at/cm^3 lenne, mely 6.5oo° K-nál egyenletesen eloszolva egy 1 at. nál kisebb nyomásnak felelne meg. A lökéshullám tartományában a nyomás ekkor 1.5 at. körül lenne. Miután a hengernek elég nagynak kell lennie ahhoz, hogy egy lökéshullám képződjék, mielőtt a gáz belép a mágneses térbe, hosszának 6 átmérőnél hosszabbnak kell lennie, tehát legjobb, ha 15o láb körül van. A kimeneti teljesitmény durva becslés szerint 5oo MW. Közelitően az expanziós energia fele menne át kinetikus energiába. Ennek kb. 75%-a alakitható át elektromos energiává, ami 37.5 %-os hatásfokot jelent. Az ideális esetben a sugárzási vesztesógek várhatóan ezt az értéket 2o %-os teljes hatásfokra csökkenti.

Ezt a berendezést nemcsak mint az energiatermelés egy lehetséges más módját tanulmányozták, hanem azért is, hogy rámutassanak arra, hogy a maghasadás terén még igen sok a kiaknázatlan lehetőség és ugy érezzük, hogy a sok felvetett elgondolás alapján néhány év mulva máris megvalósitható a hasadási reaktorból való közvetlen elektromos energia termelés.

Nuclear Engineering 1958 március
3/№ 24, pp. 95-101/1958 March/

Termonukleáris fuzió.

A helyzet áttekintése.

Termonukleáris kutatást Angliában eredetileg két csoport folytatott, Oxfordban a Clarendon Laboratoriumban és az Imperial College-ben. 1951-ben biztonsági okokból a Clarendonbeli csoportot áthelyeztók az A.E.R.E-hez Harwellbe és az Imperial College-ben dolgozó kutatórészleget az A.E.I. Aldermastonban levő laboratoriumaiban. A két csoport munkájának eredménye a Zeta, illetve Sceptre elnevezésü két toroid-alaku kisülési készülék. Az USÁ-ban valamivel később fogtak hozzá a termonukleáris kutatásokhoz, mint Angliában, de ez az utóbbi néhány évben rohamosan növekedett. A "Sherwood" program számos intézmény munkáját koordinálja, de ezek között a legfontosabb a Los Alamos csoport. E.D.F. ugyancsak folytat ilyenirányu kisérletezést Franciaországban és biztató eredményeket jelentettek Németországból és Svédországból.

A titkos kezelés általános enyhitése folytán most módunkban áll részletesebben ismertetni ezt a témakört.

1. Elméleti megfontolások.

Már 1934-ben ismeretes volt az a reakció, mely akkor jön létre, ha nagyfeszültségü géppel felgyorsitott deutérium -ionok nehéz jég céltárgyba ütközhetnek. Ha a felgyorsitott ion többször 10 keV energiára tesz szert, ami elégséges ahhoz, hogy legyőzze azt az elektrosztatikus taszitást, mellyel egy hasonlóan pozitiv töltésü maggal való ütközésekor találkozik, egy majdnem 2 1/2 MeV energiáju neutron keletkezhetik. Emellett az átalakult mag is kap kinetikus

energiát. Az energianövekedés egészen 3oo-as tényezővel emelkedhet. Sajnos a céltárggyal kölcsönhatásba kerülő bombázó ionoknak csak igen kis hányada kerül fuzióba, fuzióba, mivel az ionok nagyobbik hányada elveszíti energiáját elektronokkal történő ütközések és egyéb improduktiv folyamatok következtében. Ennek eredménye egy összeségében jelentős energiaveszteség, pl. egy a bombázó sugárnak adott o.1 amp/cm^2 erős árammal - ami szokványos gyorsitóknál elég nagy áramerősségnek számit - a fuzió eredményeként felszabaduló energia kb 5o W/cm^2 a targetben. Jóllehet a gyorsitótechnikával elinditott DD-reakció kutatási célokra értékes monoenergetikus neutronforrásként szolgált, a folyamat nem alkalmas energiafejlesztésre.

Nem a DD- reakció az egyetlen, mely elképzelhetően energiafejlesztésre felhasználható lenne és az 1. táblázatban felsoroljuk azokat a reakciókat, melyek ilyen szempontból számbajöhetnek.

1. Táblázat. Fuziós reakciók.

1. D + D	He^3 + n +	3.25	MeV
2. D + D	T + p +	4	MeV
3. T + D	He^4 + n +	17.6	MeV
4. He^3+D	He^4 + p +	18.3	MeV
5. Li^6+D	$2He^4$ +	22.4	MeV
6. Li^7+p	$2He^4$ +	17.3	MeV

Nem szabad azonban elfelejtenünk, hogy minél nagyobb a magok töltése, annál nagyobb a fuzióval szembeni elektrosztatikus taszitó erő és annál nagyobb energiát kell átadni azért, hogy a két mag között ütközés jöhessen létre. Éppen ezért a DD és TD reakcióknak szentelték a legtöbb figyelmet. Az 1. ábrán látható ennek a két reakciónak a keresztmetszete a bombázó mag energiájának függvényeként. A DD reakció kétfé-

leképpen léphet fel: vagy hélium - 3 és egy neutron, vagypedig tritium és egy proton képződik, ez a két reakció közelitően egyforma valószinüséggel fordul elő. Első pillantásra ugy tünik, hogy miután a TD reakció nagyobb energiát szabadit fel, ezt fogják legbehatóbban vizsgálni. A tritium azonban rádióaktiv, ami gyakorlatilag bonyolultabbá teszi a kisérletet, azonkivül pedig a felszabadult energia nagy részét a neutron viszi magával, ami viszont, mint később látni fogjuk, bizonyos szemponthól hátrányos.

A fuziós folyamatnak energia fejlesztésre való gyakorlati felhasználását a legközvetlenebb uton ugy oldhatjuk meg, hogy olyan feltételeket teremtünk, melyek mellett termonukleáris folyamatok létrejöhetnek. Termonukleáris fuzionál a bombázó mag energiája kizárólag kinetikus hőenergiájából ered. A hőmérséklet és a kinetikus energia közötti összefüggést vizsgálva azonnal látjuk, hogy igen nagy hőmérsékletekre van szükség. Feltéve, hogy egy gáz egyensulyállapotot ér el és alkotórészecskéi között az energiaeloszlás ugy tekinthető, mintha Maxwell törvényét követné, a részecskék átlagos W energiája egyenlőre 3kT/2-vel. Szokott módon a hőmérsékletet kinetikus hőmérsékletként fejezhetjük ki, mikoris 1 keW 11.6M^{o}-T-nek felel meg és a részecskék átlagos energiája ekkor 1.5 keV. Más szóval, ha a hőmérséklet 5M^{o}T, ekkor a kinetikus hőmérséklet egyenlő o.43 keV-vel a részecskék átlagos energiája pedig o.65 keV. Ha most megnézzük az 1. ábrát, világos, hogy a DD reakcióra elfogadható keresztmetszetet csak loo M^{o} T-t meghaladó hőmérséklet mellett kaphatunk. Kisebb hőmérsékleteknél a keresztmetszet kritikusan függ az energiától; ha már egyszer termonukleáris reakciót sikerült kelteni, akkor a hőmérséklet kismérvü emelkedése már igen jelentős mennyiségben emeli a reakciósebességet.

A különböző kisérleti berendezésekkel, melyeket országunkban és az Egyesült Államokban a termonukleáris folyamatok vizsgálatára épitettek, sikerült kb 5 $M^{o}T$-nak vótl hőmérsékletek mellett neutronokat fejleszteni. Véglegesen még nem sikerült bebizonyitani, hogy ezek a neutronok, vagy ezeknek a neutronoknak mekkora hányada származik tónyleges termonukleáris reakcióból, de számuk blfogadhatóan egyezik az elméletileg várt értékekkel. Természetesen csak a Maxwell szerinti energiaeloszlás miatt lép fel egyáltalán reakció. Számitások pl. arra utalnak, hogy $12M^{o}T$ hőmérséklet mellett a termonukleáris rakciók java részót olyan részecskék keltik, melyek energiája a részecskék átlagos energiájának nyolcszorosa, vagy még ennél is nagyobb.

A hőmérsékleten kivül a reakciósebesség, vagy az energiafejlesztés mértéke még a részecskesűrüségtől is függ - amely arányos n^2-vel. Ha loo W/cm^3 nagyságrendü kimeneti teljesitményre van szükség, mely szám közelitően megfelel a szokványos hasadási reaktorokban nyert teljesitménynek, akkor a megkivánt részecskesürüség lo^{-4} - lo^{-5} atmoszféranyomás, ami $15oM^{o}$ T-nál megfelel loo-tól loo atm-ig terjedő nyomásnak és meg kell találni annak a módját, hogy a gázt ilyen nyomás alatt tarthassuk meglehetősen hosszu ideig.

Mielőtt beszélnénk azokról a módszerekről, melyekkel ezeket a nagy hőmérsékleteket létre lehet hozni és a gázt tartályban tartani, meg kell vizsgálnunk az energiaeloszlást a reakció során és ennek hasznos formára való átalakitásának lehetőségót. A felszabadult energia a keletkezett részecskók kinetikus energiájakónt jelentkeznek és miután az impulzus a reakcióban megmarad, az energia nagyobb részót a könnyebb részecske veszi fel. A 2. táblázatban részletezzük a két DD-reakcióban és a DT-reakcióban a reakciótermókeknek átadott energiákat.

2. Táblázat Energia megosztása.

DD	/T + 1.o MeV / + /p + 3.o MeV/
DD	/He^3 + o.8 MeV/ + /n + 2.45 MeV/
DT	/He^4 + 3.6 MeV/ + /n + 14.1 MeV/

Ebből látható, hogy a teljes DD reakcióból közelitően a reakció energiájának 66 %-a átmegy a töltött részecskékbe, mig a DT reakcióban az energia 8o%-át a neutron veszi át. Elméletileg lehetséges volna az energiának közvetlenül a reagáló gázból való kivonása azáltal, hogy ugy müködtetjük, mint a transzformátor primér tekercsét. Nagy átalakitási hatásfokot azonban csak akkor kaphatunk, ha az energia java részét a gázban visszatartjuk és kevés a valószinüség arra, hogy a neutronokat is itt tarthassuk. A DD- reakció ezért egy kb 66 %-os termodinamikai hatásfokot nyujthat, ha elhanyagoljuk a sugárzási veszteséget, amig a DT reakciónál a lehetséges közvetlen maximális átalakitási hatásfok csak 2o %. Ugyanakkor, ha folyamatos reakciót kivánunk létrehozni, akkor a mellékreakciókat is figyelembe kell vennünk, mint amilyen a DT reakció az első DD-folyamatban keletkező tritiummal. Ha a két DD folyamat közül bármelyik egyenlő valószinüséggel léphet fel és az ezt követő DT-folyamatot belevesszük az egyenletbe, akkor a reakció egyenlete ugy irható át, hogy

$$5D = He^3 + He^4 + p + 2n$$

és az összenergiának csak 33%-át veszik át a töltött részecskék. Ez azonban - és ezt nem szabad elfelejtenünk - nem veszi figyelembe a hólium-3 mellókreakcióit és egyób mellókreakciókat sem, melyek kétségkivül fellópnónek egy olyan rendszerben, melyet egyensulyba hagyunk jutni. A neutron által átvett energia nem vósz el szükségszerüen teljes

egészében, hanem elnyelődhetik egy hőátviteli folyadékban és szokásos hőkicserélőben volna felhasználható. Hangsulyoznunk kell azonban, hogy a fejlődés ilyen kezdeti fokán az energia felhasználásának problémája csak tisztán spekulativ jellegü és na gyonis lehetséges, hogy végül technikai meggondolások teszik megoldhatatlanná.

Azonfelül, hogy nem töltött részecskók is viszнek magukkal energiát a rendszerből, természetesen bizonyos elsugárzás is elkerülhetetlen. Ha a klasszikus fekete sugárzás törvénye érvényes lenne, akkor nem volna értelme a termonukleáris problémával tovább foglalkozni, mivel óriási méretü berendezésre volna szükség, mielőtt a reakció sebessége kiegyenlitené az elsugárzási veszteséget. Ez az érvelés némikép megtévesztő, miután ilyenképpen a Nap is már régen elsugározta volna energiáját és a probléma nem merülne fel. Teljes ionizált gáz esetében a sugárzási teljesitmény sokkal inkább T-vel arányos és ugyanakkor arányos a gáz rendszámának négyzetével. A sugárzás nagy része az elektronok sebességének lefékezéséből eredő fékezési sugárzás. A Z^2-től való függés a gáz nagyfoku tisztaságának fontosságára utal, mivel nagy rendszámu atomok okozta egész csekély szennyeződések jelentősen növelhetik az elsugárzási veszteséget. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a ZETA-ban számottevő oxigént és nitrogént vittünk be hőmérséklet-mérés és kiszökés megakadályozása végett. A sugárzási teljesitmény függ még a részecskesürüségtől is, lényegében n^2-vel arányos, azaz ugyanugy, mint az energiakeltés sebesség. Pontosan: az elsugárzási veszteség arányos az elektronok számának négyzetével, az energiatermelés viszont az ionok számának négyzetével arányos, ha azonban a fütőanyag semleges atomokból áll, ezt a két számot egyenlőnek tekinthetjük. Az egyensuly-állapotot tehát, amikor a fejlesztett energia egyenlő az elsugárzási veszteséggel, csak a hőmérséklet függvényeként definiálhatjuk és a geometria nincsen rá hatás-

sal. DD-reakció esetében az elméletileg kapott szám 35 keV kinetikus hőmérséklet, vagy 400M° körül van és DT reakciónál a nagyobb keresztmetszet folytán 50M° körüli hőmérsékleti tartományban. Amint fentebb említettük az elsugárzási veszteség viszonylag kisenergiáju fékezési sugárzás alakjában lép fel és könnyen elnyelődik megfelelő hőátviteli közegben.

Kétfajta készüléket alkalmaztak gázok ilyen nagy hőmérséklet melletti vizsgálatára. Az első egy lineáris szerkezet melyben nagy áramerősségü kisülés történik két elektróda között gázon keresztül, a második egy toroidalaku berendezés, melyben nagy áramerősségü kisülést keltenek egy körgyürübe zárt gázban. A második fajta berendezés képezi a két brit gép ZETA és Sceptre III alapját, mig a Kurcsatov által Harwell-ben 1956-ban ismertetett kisérletek és az amerikai munka java része is lineáris készülékekkel történik. Ha gázban nagy áramerősségü kisülést keltünk az energia nagyobbik részét a periféria körüli elektronok veszik át és mágneses erőtér keletkezik, mely a gázra befelőható nyomást gyakorol /2. ábra/ Ezt a hatást ismertebben példázza két párhuzamos vezető közötti vonzóerő, ha azonos irányban vezetnek áramot. Ha a mágneses erő felülmulja a gáznyomást, a jólismert, pinch-effektus lép fel, melynek során a gáz ceruzavastagságura huzódik össze és ugyanakkor adiabetikusan melegszik. Ezalatt az idő alatt energiát ad át az ionoknak, de ennek részletes mechanizmusát még nem ismerjük, illetve nem tudjuk megmagyarázni, mivel a tapasztalt energiaátviteli sebesség jóval nagyobb, mint elméletileg várható. Többmillió fokos hőmérsékletek fölött a gáz majdnem teljesen ionizált, de az ionok és elektronok között nincs makroszkópikus szétválás és a plazma elektromosság szempontjából semlegesnek tekinthető. A pinch-effektust az elmult években behatóan tanulmányozták és sok elméleti és kisérleti munkát szenteltek a fellépő instabilitások vizsgálatára. Sajnos, amint a pinch létrejött, a szálban rut t-

kozó legkisebb behajlás is már erősen növeli a mágneses erőteret, tehát a mágneses nyomást is, ami a sugár további eltorzitására irányul. Ennek az az eredménye, hogy amennyiben stabilizáló erőt nem alkalmazunk, az elgörbülések szaporodnak, végül a görbület eléri a tartály falát, miáltal a plazma gyorsan lehül és a pinch eltünik.

Nagy lépést jelentett előre a ZETA-ban az, hogy sikerült a pinch-effektust hosszabb időre stabilizálni egy a plazma áramának irányában alkalmazott mágneses térrel. Az erőteret az áramkisülés előtt alkalmazzuk és amikor a pinch fellép, az erőtér befogódik a pinchbe. Ez a szálon átvezető feszültségsávokéhez hasonló hatást fejt ki és ellenállást tanusit az elgörbülési tendenciával szemben. Idővel ez az erőtér kidiffundál a plazmából és számitások szerint a ZETA-kisérlet diffuziós időtartama kb egy másodperc körül lesz. A jelenlegi müködési szinten a ZETA-ban kb 160 gauss körüli erőtérre van szükség. Ilyen axiális tér alkalmazása mellett a pinch-effektust a Zeta - készülékben stabilan tartották több milli-szekundum ideig, szemben a nem stabilizált pinchnél elért néhány microszekundummal. Hasonló erőterek alkalmazása lineáris készülékeknél, jóllehet részben sikeresek, mégsem hozhat lére hosszabb stabilizálást a pinch-szál elektródákba való ütközésének romboló hatása miatt.

További stabilizáló hatást fejt ki a tartályfalban való örvényáramképződés, mely áramok olyan erőket fejlesztenek melyek a szál "közeledésével" szemben hatnak. Még nem teljesen érthető, hogy ez az effektus mennyiben járul hozzá a stabilitás egészéhez.

Jóllehet még bizonyitásra vár az, hogy ilymódon sikerült-e termonukleáris fuziót létrehozni, nem kétséges a neutronok forrása egy DD-reakció, azonban ezekben az intenziv mágneses erőterekben erős helyei elektromos terek

kelthetők, melyek elégségesek arra, hogy a szálból ionokat gyorsitsanak fel, melyek azután beleütköznek a tartály adszorbeált deutériumot tartalmazó falaiba. Ha majd a neutronok keletkezési sebessége elégséges lesz ahhoz, hogy "jó számlálási statisztikát" kapjunk, a neutronok energiaszórásából látni fogjuk hogy vajon a reakciók átlagos tömegközéppontja véletlen, vagy rendezett mozgásnak felel-e meg.

Atompraxis,
4/№ 2, 67 /Febr.1958./

Az uj brit atomerőmüvek. /II. rész/.

Berkeley.- Ez az AEI-John Thompson által tervezett erőmü, melynek költségvetése /üzemanyag nélkül/ kb. 3o-4o millió fontot tesz ki, az összes tervezett erőmüvek közül a leginkább követi a Calder-Hall modellt, annak ellenére, hogy a magasabb kapacitás, a nagyobb számu hőkicserélő /8, a folyamatos töltési és kiüritési lehetőségek és a módositott szabályozóberendezések tekintetében nagyobb eltéréseket mutat.

Mindkét reaktor grafittal moderált, CO_2-hütésü s mindkettő összteljesitménye 32o MW lesz /4 turbinára egyenként 8o MW/. Garantált tiszta teljesitményüket 275 MW-ban adják meg.

A reaktormag átmérője 1465 cm, magassága kb. 915 cm, ugyhogy kb. 32oo függőleges elrendezésü üzemanyagcsatorna fér el benne.

A hengeralaku, felül és alul elliptikusra kiképzett, nyomás alatti tartály - falvastagsága 7,6 cm, átmérője 15,25 m, magassága 24,4 m - 8,8 atü üzemi nyomásra van méretezve. Az egész tartály 18 speciális alaku, rövid kettőscsőcsonkon nyugszik, melyek a hőmozgásokkal szemben is ellenállók lesznek. A nyomás alatti tartály összsulya kb. 2oo t. Feltételezik, hogy a tartályhoz használt lemezek 7,62 cm-nyi falvastagsága és a nyujtási feszültségnek 14 %-kal való emelése egymagában majdnem háromszorosra fogja emelni az erőmü teljesitményét Calder-Hallhoz viszonyitva.

I/665/S/Sz.

A moderátorként alkalmazott nagytisztaságu grafitrudak összessége 32-oldalu prizmát alkot, melynek magassága 915 cm; a grafit elhelyezésénél helyet hagynak a várható hőokozta tágulásra és a moderátor Wigner-effektus folytán beálló növekedésére. Ugyanis a grafiton vizsgált besugárzáseffektusok azt mutatják, hogy a kristályok egy irányban nőnek és 10^{13} n/cm^2.sec-os fluxusnál és 150°C hőmérsékleten egy éven belül o,o5 %-os növekedések állhatnak elő.

A hőárnyékolást 1o2 mm vastag acéllemezek alkotják; e lemezek és a biológiai védelmet képező betonfal között 5,o8 cm szélességü levegőrés van. E biológiai fal vastagsága változó, az oldalaknál kb. 259,2 cm, felül azonban kb. 32o,2 cm. Ezt az egész árnyékolást kis fujtatók hütik levegővel, mely azután gondos szürés után két kmónyen át a szabadba vezetődik ki.

A hütőanyagként alkalmazott CO_2 8,8 atü nyomás alatt áll és 1,5 m átmérőjü csővezetékekből álló 8 párhuzamos cirkulációs körün át kerül a 8 hőkicserélőbe éspedig axiálventillátorok segitségével, melyeket egyenként 3ooo Le 3-fázisu motorok hajtanak meg hidraulikus kapcsolások beiktatásával.

A hőkicserélők hasonlóak Calder Hall hőkicserélőihez: 535 cm átmérőjü és 2414o cm magas hengeralaku acéltartályok. A nyolc hőkicserélő sulya egyenként kb. 4oo t, 2,85 cm vastag lemezekből készültek. Magasnyomás-állapotban a gőznyomás 322°C hőmérsékleten 21,5 atü, az alacsony nyomásu részben azonban ugyanilyen hőmérsékletnél csak 4,35 atü. A gáz 350°C hőmérsékletnél távozik el, a gázbevezetés hőmérséklete azonban 160°C lesz. Az üzemanyagelemek ennél az erőmünél üzem közben is kicserélhetők s ugy látszik, hogy egy nap folyamán csak igen kevés elem fog felfrissitésre szorulni.

I/665/S/Sz.

A tervezett teljesitményt négy darab, 8o vagy 85 MW-os Metrowick-turbinára osztják el. A hidrogénnel hütött generátorok 11,8 kW-ra vannak tekercselve, a végfeszültség azonban 132 kV lesz.

Igen értékes az eltört és meghibásodott üzemanyagelemek jelzési módja is, ezeket itt pótlólag elektronikus berendezések segitségével regisztrálják. Emellett a különböző üzemanyagcsatorna-csoportokban félóránként végzett aktivitásméréseket összehasonlitják. Változások esetén a kezelő személy akusztikai figyelmeztetést kap. Ezen tulmenően megvan a lehetőség arra, hogy hiba esetén a jelzés 24 órán át regisztrálódjék, hogy jobban figyelemmel lehessen kisérni a zavar eredetét. A Calderben alkalmazott jelzőrendszerrel szemben ennek a módszernek az előnye a nagyobb biztonságban és pontosságban rejlik.

1956. január 7.-én kezdték meg az erőmü épitését, melynek modellje a 6. ábrán látható. Az első reaktor épitését 196o. közepére, a másodikét 1961. elejére tervezik.

A Sea/Essex-i Bradwell erőmü a tervek szerint szintén két reaktorból fog állni s ezek mindegyike hat hőkicserélővel lesz összekötve. Ezt a berendezést a Nuclear-Power-Plant Co. tervezi és épiti. A NPPC a nyomás alatti tartályt a hengeralaktól eltérve, gömbalakura tervezi. Az atomerőmü tervezett teljesitménye 312 MW lesz /6 főturbogenerátorra/ és 6o MW /saját üzemeltetés céljára szolgáló generátorokra/, ugyhogy a tervezett összteljesitmény 372 MW lesz. A berendezés előreláthető termikus hatásfoka, az összes segédüzemeket beleértve, mintegy 28 % lesz.

A nyomás alatti tartályt ugyancsak 7,6 cm, vastag lemezek alkotják, kb. 9,2 atü valószinü üzemi nyomásra lesz méretezve s benne foglal helyet a reaktormag 26oo üzem-

anyagcsatornával. Az összköltség ennél az erőmünél is előreláthatólag kb. 3o-4o millió fontra fog rugni az üzemanyagelemeken kivül; ilyenfajta üzemanyagelemek ára M o o r e szerint tonnánként 2oooo font. A CAE-információk alapján egy leadott kW-ra eső összköltség 141 font.

Az üzemanyagelemek megválasztásánál és tervezésénél elvben a Calder-Hall részére tervezett elemekből indultak ki /Magnox-burkolatu, harántirányu hütőbordákkal ellátott elemek/. Harwellben végzett vizsgálatok ugyanis azt mutatták, hogy haránteIrendezésü hütőbordák sokkal alkalmasabbak, mint a hosszantiak, különösen akkor, amidőn - mint éppen teljesitményreaktoroknál - magas hütőközegkieresztési hőmérsékletre van szükség. Az üzemanyagelemek kivitelezési módja sulyos termodinamikai és mechanikai problémák egész sorát rejti magában, eltekintve a nem kevésbé fontos neutronfizikai követelményektől. A Magnox-burkolatok alkalmazása mellett /magnézium-aluminium-berillium-kálciumötvözet/ a hőmérséklet felső határa kb. 400°C-nál lesz.

A törekvések ezen tulmenően arra irányulnak, hogy a gázkimenet magas hőmérséklete, a hasadóanyag sulyegységére eső nagy teljesitmény /spec.teljesitmény/ és a hordozható szivattyu-teljesitmény tekintetében támasztott és egymást részben keresztező követelmények a lehető legnagyobb gazdaságossággal legyenek összekötve.

Az üzemanyagelemekkel szemben fennálló mechanikai igényekről már a bevezetőben szóltunk /mindenegyes elem külön alá van támasztva/; itt inkább a neutronfizikai szempontokat kivánjuk megvilágitani. Ilyen meggondolásból kiindulva előnyös, ha az uránium felületének és térfogatának hányadosa kicsi, a termikus igények viszont épp az ellenkezőt teszik szükségessé.

Mig Calder-Hallban a hütőgázkimeneti hőmérsékletek /334°C/ és a maximális tok-hőmérséklet /408°C/ közötti hőmérséklet-különbség 74°C, a NPPC-nek a hirek szerint sikerült jóval kisebb hőmérsékletkülönbséget elérnie; a GEC által Hunterstoneba tervezett erőmünél csak 22°C eséssel számolnak.

Ezt az esést egyrészt a fluxusgörbe laposssá tételével, másrészt pedig azzal fogják elérni, hogy vagy magas Reynold-számokkal dolgöznak, vagy olyan felületkonfigurációkat alkalmaznak, melyek kis nyomás-esés mellett jó hőátviteli képességet mutatnak.

Ha azonban magas Re-számokkal dolgozunk, ez vagy nagy gáznyomást, vagy rövid hütőcsatornákat jelent, mert a szivattyuteljesitménynek elviselhető határok között kell maradnia. Mig a gáznyomást a nyomás alatti tartály konstrukciója, illetve a falát képező lemezek vastagsága határozza meg, az üzemanyagelemek megröviditése növeli a reaktormag átmérőjének és magasságának hányadosát, ami pedig ismét neutronfizikai visszhatásokkal jár. Az üzemanyagcsatornák s ugyanakkor az üzemanyagelemek hosszának ez a megkurtitása, ha a térfogat változatlan marad, természetesen növeli a rádiuszt; ez azonban a specifikus teljesitmény csökkenését s ezzel párhuzamosan a parazita neutronbefogás növekedését vonja maga után. Ezért ennél az erőmünél az üzemanyagelemek átmérőjét valamivel 1 inch fölött /kb. 2,54 cm/ határozták meg. A szóbanforgó erőmüvek reaktormagjai közötti átmérő/magasság viszonyának az alábbi összeállitásból láthatók:

Berkeley	1,75	Hunterstone	1,95
Bradwell	1,56	Clder Hall	1,47

Ebből látjuk, hogy Hunterstone-ban alkalmazzák a legrövidebb üzemanyagcsatornákat. Bradwell erőmünél nem annyira az üzemanyagelemek hosszának megröviditésére, mint inkább a felületi konfigurációra helyeztek sulyt.

Bradwellben is a szabályozórendszer egészének megzavarása nélkül, terhelés közben mehet végbe az üzemanyagtöltés és ürités. E célra külön csövek szolgálnak mind az ujratöltéshez, mind a szabályozórudakhoz /7. ábra/. Itt a fluxuseloszlás megzavarása miatt külön gondot kellett forditani a szabályozó rudak és üzemanyagcsatornák elrendezésére s igy sikerült az egyes szabályozó rudak között minimális rácstávolságot /pitch/ elérni. A 8. ábrán látható a Bradwell-i reaktorban alkalmazott geometriai elrendezés.

A nyomás alatti tartály duplaköpenyes megoldásu, melynél a belső vékony, megfelelő acélból épitett falazat a hőmérsékleti hatásokat fogja fel, mig a vastag külső épitmény nyomásra van méretezve s ugyancsak különleges acélból készül. Ilyen nagy, 3 inch vastag lemezekből álló tartályok épitése az acél szakitási szilárdsága miatt nehézségbe ütközik; ehhez járul még a hegesztési helyek mélysége, mely egyrészt megnehezíti a hibák észlelését, másrészt pedig a hegesztés következtében növeli a belső feszültséget. Az ilyen törés veszélyét csökkenti - bár kinem küszöböli - kis karbon- és nagy mangántartalmu különleges acélok alkalmazása ámbár az ilyen aluminiummal javitott acélok tartósfolyástulajdonsága magas hőmérsékletekhól nem kielégitő. A sziliciummal javitott acélok viszont ilyen célokra megfelelőbbeknek bizonyulnak. Ebből és hasonló elgondolásokból kiindulva döntöttek a fentebb emlitett kettős köpenykonstrukció mellett.

A hütőgáz körülbelül 9 atü nyomás alatt fog állni és 152 cm vastag csővezetékek vezetik el a hőkicserélőkhöz. A szabályozott fordulatszámu axiális fuvókat aszinkronmotor hajtja meg. A turbogenerátorokat müködtető magasnyomásu gőznek 373°C-nál 52 atü nyomást kell kifejtenie, majd kétáramu kisnyomásu részeken átkerülve, nyomása 13,7 atü-re fog csökkenni. A reaktor, a mag és a hőkicserélők méretei a táblázatból láthatók.

/Folytatása köv./

/F.Oszusky, Wien/

Tervezett atomerőművek összehasonlitott értékeinek táblázata.

	Berkeley	Bradwell	Hunter-stone	Calder Hall
Uránium sulya /t/			25o	13o
Üzemanyagelemek hossza /mm/			kb 61o	1o16
Üzemanyagelemek száma csatornánként			1o	6
Max.burkolathőmérséklet C°			427	4oo
Reaktormag magassága /m/	9,15	9,45	8,55	8,25
" átmérője /m/	14,65	13,7	15,35	9,45
Üzemanyagcsatornák száma	kb.32oo	kb.26oo	3288	1696
Grafit sulya /t/	2ooo		2ooo	1146
Nyomástartály /fal/ vastagsága /mm/	76	76	76	51
Nyomástartály-átmérő /m/	15,25 /heng/	2o,4 /gömb/	21,35 /gömb/	11,3 /heng/
Gáznyomás /atü/	8,8	9,2	1o,2	7,o
Fuvók száma reaktoronként	8	6	8	4
Hasznos motorteljesitmény 1-1 fuvóra /kW/	17 MW reaktoronként		162o	162o
Hőkicserélők száma	8	6	8	4
Magasnyomásu gőzhőmérséklet /C°/	322	373	371	313
Magasnyomásu gőznyomás /atü/	21,5	52	4o	14,8
Kisnyomásu gőz-hőmérsékl./C°/	322	373	337	177
Kisnyomásu gőz nyomás /atü/	4,35	13,7	1o,2	4,4
1-1 reaktor turbo-készletének száma és teljesitménye /MW/	2 .8o	3.52	3.6o	2.23
Betervezett teljesitmény reaktoronként /MW/	16o	186	18o	46
Erőmü leadható teljesitménye /MW/	275	3oo	32o	7o
Rácstávolság /cm/	2o,72	2o,72	2o,95	2o.32

I/665/S/Sz.

H I R E K

Nature, 1958 február.

A Nemzetközi Atomenergiahatóság. A Bécsben székelő Nemzetközi Atomenergiahatósághoz számos hivatalos felajánlás érkezett be a tagállamoktól hasadási anyagok, rádióaktiv elemek, speciális reaktoranyagok, ösztöndijak és továbbképzési lehetőségek rendelkezésre bocsátására vonatkozólag, a Hatóság irányitása mellett végrehajtandó atomenergiaprogram céljaira. Az árakat és feltételeket, melyek ellenében az anyagokat a Hatóság rendelkezésére bocsátják még meg kell állapitani. Kanada ajánlata szerint legalább több évre az atomenergiaprogramokhoz szükséges természetes urániumot tudja a Hatóságnak szolgáltatni, India viszont a teljes thorium-szükséglet fedezésére hajlandó. Ceylon 3o tonna finomitott monazitot, kb 9 % thorium tartalommal ajánlott fel, Norvégia a Kjeller-ben müködő norvég reaktorban termelt izotópokból vállal szállitást, azonkivül olyan speciális reaktoranyagokat is szállitana, mint niobium, aluminium, és molibdén. Portugália 1oo.ooo kg urániumoxidot ajánlott fel koncentrált alakban. Délafrika kész urániumoxid koncentrátumok, berylliumot, ólomot, tantált, kadmiumot, lithiumot, vanadiumot, krómot és nikkelt szállitani; a Szovjetunió 5o kg uránium -235-öt tartalmazó koncentrátumot ajánlott, bármely koncentrációban egészen 2o %-ig és kész más hasadóanyag és egyéb anyagok szállitására is; az Egyesült Királyság 2o kg U-235-öt tartalmazó koncentrátumot hajlandó szállitani és az Amerikai Egyesült Államok 5.ooo kg U-235 tartalmu koncentrátumot és annyi egyéb nukleáris anyagot bocsát rendelkezésre, amennyit a többi állam együttvéve szállitott a Hatóság számára 196o jul. 1-ig. Az ösztöndijlapra is 25o.ooo dollár felajánlás történt és több tagállam a Hatóság rendelkezésére bocsátott ösztöndijakat és tanulmányi lehetőségeket az ajánlattevő ország területén. Az Egyesült Államok bejelentette azt a szándékát is, hogy müszaki könyvtárral ajándékozza meg a Nemzetközi Atomenergiahatóságot.

Nuclear Power 1958 február

Várható-e hamarosan japán megrendelés?

Kilenc japán mérnökből és tudósból álló csoport látogatott el Angliába hogy különböző brit atomenergia-szervekkel és hatóságokkal tárgyaljanak egy brit tipusu, kb. 15o eMW teljesitményü atomerőmü vásárlásának lehetőségéről. A becsült ár 2o - 3o millió angol font között mozog.

I/665/S/Sz.

HIREK-folytatása.

Atomenergia-telepekkel kapcsolatosan Japánban komoly problémát jelentenek a földrengések. A Bizottságnak most itt meg kell győződnie arról, hogy a brit tipusu reaktor felépithető-e olymódon, hogy földrengéseknek ellenálljon és hogy nem kelt majd aggodalmat a népben, mely érthetően fél egy erősen sérült reaktor által előidézett sugárveszélytől.

A japán csoport tanulmányozta a különböző brit csoportok különböző tervrajzait, majd jelentést tett egy később érkezett szélesebbkörü Bizottságnak. A tárgyalásokat tovább folytatják és előreláthatólag hamarosan szerződést kötnek egyik angol csoporttal egy f. év októberben kezdődő atomerőmü-épitésre.

Kanada

Igen valószinütlen, hogy Kanada komplett atomerőművekkel rendelkezzék 1966 előtt és még akkorra sem várják, hogy versenyképes áron termeljenek az importált szónnel szemben- nem is beszélve vizierőművekről. Ward irt erről cikket a Modern Power and Engineering kanadai lapba. Szerinte ezidőszerint még nem lehet határozott költségbecsléseket végezni atomerőművekre vonatkozólag, de az bizonyos, hogy bármely ma épitett atomerőmü még nem lehet versenyképes a hagyományos hőerőművekkel szemben. Számokban kifejezve: egy 3oo MW szóntüzelésü, 1961-ben felépitett erőmü 7ooo órát fejleszt egy évben 5.14 mill/kWh költséggel 1957-es dollárban értve; 198o-ra ez várhatóan 4.7 mill-re csökken /egy mill a cent egytized része./ Ha csak ilyen tipust épitenének, ez 3o millió tonna szén behozatalát jelentené az USA-ból, amelynek ára 27o millió dollár.

Arra az időre, mikorra a St. Lawrence Seaway épitkezés befejeződik, már nem lesz több vizierőmü szempontjából gazdaságos hely, amely Ontarioban ne lenne kihasználva, ugyhogy most már mindinkább termikus energiatermelésre kell épitenünk.

Gázhütésü reaktor nem gazdaságos. Kevés remény van arra. Mr. Ward szerint, hogy a brit tipusu gázhütéses reaktor gazdaságosnak bizonyuljon. Idézve Sir Christopher Hinton számadatait 1957-ben Stockholmban tartott előadása alapján az ilyen tipusu erőmü költségeit kanadai viszonylatra átszámitva a következő adatokat kapjuk. Plutonium-eladással nem számolva és 8o%-os terhelési tényezőt feltételezve ezektől az erőművektől származó villamosáram költsége Ontarioban ugy becsülhető, hogy

196o	197o	198o	199o
1o.75	7.26	5.53	4.27 mill/kWh

I/665/S/Sz.

HIREK-folytatása

Ezekkel a számokkal szembeállitja nehézvizzel moderált és hütött reaktorokkal, mint amilyeneket most fejleszt ki a Kanadai Atomenergia Szerv, kapott áram költségeit:

1965	1975	1985	1995	
5.94	4.o1	3.o6	2.36	mill/kWh

Ezekben az árakban a fejlesztési költségek nincsenek figyelembe véve, Mr. Ward szerint nincsen tehát remény arra, hogy az atomerő 1963 előtt versenyezhessen a széntüzelésü erőtermeléssel.

Bármilyen csábitó is az atomenergia jövője és annak ellenére, hogy a tápanyag magában Ontario-ban található, az áramkülönbség akkora, hogy azt nem lehet a fogyasztóra átháritani. Az üzembiztosság is olyan tényező, melyről még meg kell győződnünk. Az Ontarioban ellene szóló érvek ellenére is Mr. Ward bizik abban, hogy az atomenergia korszaka eljön és nem is kell arra várni, hogy teljes üzemü nagyméretü erőtelepen beigazolódjék előnyösebb volta. Kezdetben valami veszteséget kell vállalni - A 6o-as évek végén hirtelen fejlődés időszakát sejti, lehetséges, hogy 198o-ban /becsült igény 22.ooo MW/ a villamostársaság igényének egyharmad részét már atomerőmüvek fedezik. Átmeneti időszak. Nyilvánvaló, hogy Ontário nem siet az atomenergiával és igen lassu, kb lo évig tartó átmenetet tervez. Mr. Ward a fejlődés három fáziát jelzi 1./ Fejlesztési fázis = megbizhatóság bebizonyitása 2/ verseny a szokványos tüzelőanyagokkal 3/ atomenergia vezet az alap-fogyasztási igény kielégitésében Ward továbbiakban még azt hangoztatta, ha csak nem fejlesztenek ki gazdaságos atomerőmüveket csucstermelésre alkalmasan, a szokványos termikus erőmüvek még mindig nagy szerepet fognak játszani.

Atompraxis,1958. február.

Ipari atomerőmü az USA-ban.- Közel háromévi épitési munka befejezése után került kritikus állapotba az USA Ohio River melletti Shippingport-i első kisérleti atomerőmüvének reaktora és 1957. december 18.-a óta szolgáltat elektromos áramot ipari fogyasztóknak. Az erőmü összköltsége, beleértve a kutatási és kidolgozási feladatok, valamint a reaktor első feltöltéséhez szükséges üzemanyag költségeit, körülbelül 12o millió dollárt tett ki s ezt legnagyobbrészt a szövetségi kormány finanszirozta. A mü 6o.ooo kW-os kapacitással, a kormány számára fog energiát ter-

HIREK-folytatása

melni s a "Duquesne Light Company" fogja üzemeltetni, mely kb. 2o millió dollárral járult hozzá az erőmü költségeihez. A Shippingport-i erőmü által termelt elektromos áram költsége kétszerese lesz a konvencionális energiaelőállitási költségnek.

Atomcirkálók. AZ USA-ban épülő atommeghajtásu cirkálók előreláthető épitési költségei 365 millió-dollárra rugnak; az első cirkálót 1957. december 2-án, Quincy-ben állitották össze.

Versenypályázat atommeghajtásu kereskedelmi hajók épitésére Franciaországban.

Az Atomenergiaügyi Kormánybizottság a Kereskedelmi Hajózás Államtitkárságával karöltve versenypályázatot irt ki egy 2o.ooo Le, 4o.ooo tonnás tartályhajó tervezésére. Résztvesznek a pályázaton a France-Atom és az Indatom. A pályázaton nemcsak technikai, hanem gazdaságossági szempontok is érvényesülnek.

Uj reaktor Kanadában.- Hat évi épités után helyeztók üzembe Chalk Riverben 1957 november 3.-án a teljes egészében Kanadában épült National Research Universal /NRU/ - reaktort az ottani Magfizikai Intézetben. A reaktor felépitése 57 millió dollárba került. Kutatásra és atomerőmüfejlesztési kisérletek céljára, plutóniumtermelésre /melyet az amerikai Atomenergiabizottságnak fognak eladni/, valamint rádióizotópok előállitására fogják használni.

Angol-olasz atomenergia megállapodás- Az 1957. dec. 28.-án Rómában aláirt angol-olasz megállapodással Nagybritánnia elsőizben vállalta kisérleti és erőmüreaktorok számára üzemanyag szállitását. Ennek a megállapodásnak egyéb pontjai kiterjednek információcserére, elhasznált üzemanyagok ujrafeldolgozásánál nyujtandó segitségre, atomüzemanyagot előállitó berendezések tervezésének és üzemeltetésének kölcsönös megvitatására, valamint olasz egyetemi hallgatók és technikusok kiképzésénél nyujtandó segitségre. Azonban az öt olaszországi reaktorterv közül csak az északolaszországi 2oo MW-os erőmüvet fogja - angol modell szerint, angol cégek segitségével - az Angip Nucleare kivitelezni, a többi felépitésénél amerikai vállalatok müködnek közre.

Tengervizből nyert uránium. - A TASS szovjet hirügynökség jelentése szerint szovjet kutatóknak hosszas kisérletezés után sikerült tengervizből urániumot kivonni.

Rádioaktiv veszély. - H. Thirring Bécsben, 1957. november 11.-én, az Osztrák Atomenergia-Társulat és az Egyesült Nemzetek Osztrák Ligájának meghivására, előadást tartott a "Rádioaktiv veszélyekről és azok elháritásáról /:Atombombakisérletek és reaktorhulladékanyagok :/ ". Az előadó a Chalk River-i példával mutatott rá arra, hogyan lehet az atonhulladékot biztonságosan elvezetni és elhelyezni; megállapitotta, hogy erre már ma is tökéletes lehetőségek léteznek, - mint esetleg a betonbaágyazás - de ezek a módszerek még messze nem gazdaságosak, ugyhogy a konvencionális erőművekkel összehasonlitva a " hamu " elvezetése komoly gazdasági probléma, de nem jelent technikai problémát.

Az atombombakisérletekkel járó veszély tekintetében Thirring az 1957. juliusában Pugwash-ban tartott konferencia megállapitásaira utalt, melyen 12 nemzet képviselői vettek részt. A rádiostroncium okozta szennyeződés egy évtizeden belül olyan külső sugárzási intenzitást fog elérni, mely még csak 1 %-a a kozmikus sugárzásnak és az átlagos röntgen- és rádiumbesugárzásnak. Beépülés következtében a halálos kimenetelü rákmegbetegedések száma, beleértve a vérmegbetegedéseket, becslés szerint mintegy 1 %-kal fog emelkedni, ugyhogy az atomfegyver kifejlesztéséért körülbelül 100.000 emberélettel kell fizetnünk. Az előadó további, inkább politikai jellegü kommentárjai, miszerint az az ár nem tul magas, ha az atombombával ki lehet kényszeriteni a világbékét, heves vitákat váltottak ki, melyek későbbi időpontban még folytatva lesznek.

Rádioaktiv hulladékok feldolgozása. A második világháboru alatt minden törekvés atombomba előállitására irányult. Igy Hanfordban is előállitottak atomreaktorban, urániumnak neutronnal való bombázásával, plutóniumot atombomba céljára. A plutónium kivonása után visszamaradó uránium, mely sugárzó hasadóanyagokkal van keverve, annakidején senkit sem érdekelt és nagy földalatti tankokba süllyesztették el. Biztonsági okokból nem közlik az elföldelt urániun mennyiségét, de több tonnáról beszélnek. Az USAEC most a General Electric Co-t bizta meg "a föld ezen leggazdagabb urániumelőhelyének" feltárásával. Az ujrakinyerési program igen nehéz technikai problémákat vetett fel. - Ugyanis az urániumvegyületek az évek folyamán a tankok fenekén, részben kemény és besült formában, mint iszap lerakódtak. A General Electric mérnökei tehát "hidraulikus bányászáshoz"

folyamodtak, vagyis magas nyomás alatt vizet engedtek a tankokba és az urániumsókat kimosták. Hogy az összes termelékdarabok feloldódjanak, akkora terhelést kellett adni a szivattyukra, hogy az egyébként 1oo üzemóra helyett csak tizet birtak ki.

Az erős sugárzás ellenére szigoruan be lehetett tartani a dolgozók védelmét szolgáló biztonsági intézkedéseket. Periszkópokkal figyelték a tankokban a kimosás százalékarányát, amit azonban a gőz és szitáló eső rendkivül megnehezitett. Az ujra kinyert urániumot Hanfordban egy uj hasadóanyagszétválasztó berendezésben fogják feldolgozni.

Die Atomwirtschaft, 1958. február.

Lignitből nem lehet urániumot kivonni? - Az Ohio Oil Co. közölte az USAEC-vel, hogy nem tudja vállalni uránkoncentrát előállitását az észak- és déldakotai lignitből. Állitólag behatő vizsgálatok azt mutatták, hogy ilyen uránium termelése a jelenlegi legmagasabb uránium-átvételi ár mellett, -azaz 1o,5o a kész koncentrátumban lévő egy font urániumoxid után, - nem lehet gazdaságos. A dakotai lignitércek, /barna szén/ feldolgozásának programja évek óta függőben van s nem jut el a megoldáshoz. Ugyanis nagykiterjedésü, de szegény érceket tartalmazó lelőhelyekről van szó, melyeknél különleges feldolgozási eljárásokra van szükség az uránium kinyeréséhez.

Sugárvédelem.

Mol-ban, a Belga Atomkutató Központban, a következő módszert dolgozták ki a nagyobb mennyiségekben keletkező, enyhén rádioaktiv szennyvizeknek gazdaságos módon történő megtisztitására, minthogy ezeknek a szokásos ionkicserélőkkel való fertőtlenitése tul költséges: először kálciumfoszfáttal ülepitenek, majd barnaszénnel szürnek s ez már 95 %-ban eredményes, a hulladékok térfogatának aránya 1: 1oo-ra csökken. Végül a barnaszén elégetése a térfogatot tovább csökkenti 1/2o-ra.

A magfuziós kutatások eddigi eredményei az USA-ban. - A "Project Sherwood" néven összefoglalt és A.F.Ruark vezetése alatt álló USAEC kutatási program ma több mint 5oo munkatársat s ezek között 25o tudóst és mérnököt számlál. Erre a programra 1957-ben 11,1 millió dollárt költöttek. A munkák lényegében öt laboratórium-

HIREK-folytatása.

folynak: az AEC Los Alamos-i laboratóriumában /Dr. Norris E. Branbury vezetése alatt/, a Kaliforniai Egyetem AEC-Sugárlaboratóriumában Livermoreban /vezető Dr. H.York/, a Princeton-i Egyetem Forrestal-Kutató Központjában /H.D. Smyth prof./, az AEC Oak Ridge-i laboratóriumában /Dr.A.Winberg/ és a New-York-i Egyetem Matematikai Intézetében /R.Courant prof./. Ezenkivül Princetonban /L.Spitzer prof. vezetése alatt/ dolgoznak a "Matterhorn program"-on is. Az 1958. január 24.-én Nagybritánniával közösen ismertetett részletek csak azokra a kisérletekre térnek ki, melyeket a pinch-effektus hasznositásával Los Alamosban, Livermoreban és Princetonban hajtottak végre. Los Alamosban sikerült neutronemissziót elérni 3-5 - millió fok hőmérsékleten két, egyenesvonalu kisülésicsővel ellátott készülékben, a COLUMBUS II-ben és a nagyobb COLUMBUS S-4-ben, 5o kV-ig terjedő, illetve 2o kV alatti feszültségeknél. Mint egyik legjelentősebb eredményt emlitik meg azt a tényt, hogy a kisülési áram által létrehozott pinch-tér a feszültség több félhullámán át jól reprodukálható. A Los Alamosban 1957. decemberben üzembehelyezett gyürüalaku S-3 Perhapsotronban mintegy 6 millió T^{o}-t értek el. 2ooooo amperes, 6o mikroszekundumig terjedő időtartamu csucsáramkökések egyenként 1 millió neutront löktek ki. A "Project Matterhorn" keretében már 1956.-ban sikerült egy héliumgázzal töltött kisülési csőben 1,2 millió ^{o}T hőmérsékletet előállitani.

Az amerikai kisérleteknél sem nyert végleges bizonyitást az, hogy vajon a neutronok teljes egészükben fuziós folyamatokból keletkeznek-e. A fejlődés a továbbiakban a princetoni nagy készülék, a "Stellerator Modell C" épitésére összpontosul, mely előreláthatólag 196o-ra készül el. Ugy tudják azonban, hogy az USAEC programkeretében a Pinch-effektuson kivül más kutatási irányok is szerepelni fognak.

Strauss tengernagy is hangoztatta ismertetésében, hogy az elért eredmények ellenére "nem számithatunk arra, hogy a magfuzió rövid időn belül az energiatermelés szolgálatába állitható lesz."

I/665/S/Sz.

Atomkernenergie, 1958. március

Keletberlini kisérleti reaktor. - A Kelet-Berlinben épült kisérleti reaktort áprilisban szándékoznak üzembe helyezni.

Atomenergia-megállapodás. - A Német Demokr.Köztársaság, Csehszlovákia és Lengyelország megállapodást kötöttek az atomenergia békés célokra történő felhasználása terén való együttmüködésre. A megállapodás többek között információk és tapasztalatok kicserélésére is kiterjed.

Nagy atomerőművet tervez a Szovjetunió, teljesitménye 420000 kW lesz. 30 tonna természetes urániummal és 40 tonna dusitott urániummal /1,4 % U^{235}/ táplált két viznyomásos reaktor, három, összesen 210000 kW teljesitményü turbogenerátort fog meghajtani. A tápelemek burkolata cirkónium lesz. A moderátor és hőkicserélő szerepét betöltő viz 100 atü nyomásnál 275° C-ra hevül fel.

Ausztria kisérleti reaktora. Az Osztrák Atomenergiatanulmányi Társulat, melyet egy kisérleti célokra szolgáló reaktor épitésével biznak meg, eredeti tervétől eltérően, - mely szerint a reaktort az annakidején a német Wehrmacht, majd a szovjet hadsereg gyakorlóteréül szolgáló Döllersheimben épitették volna, - elhatározta, hogy a reaktorberendezést a Bécstől 25 km-nyire, a magyar határ közelében lévő kis Götzendorf helységben állitja fel. Az uszóreaktor tipusu berendezés csakis kutatásra fog szolgálni. Az épitési munka megkezdését 1958-ra remélik s 1960-ra tervezik a reaktor üzembehelyezését.

Románia első ciklotromját 1958. jan. 16.-án inditották el. A készüléket szovjet mérnökök szovjet anyagból épitették.

Svédország nagyobb "Zeta" berendezést épit. Kai Siegbahn professzor közlése szerint Svédországban most épül egy hidrogénmagok fuziójára tervezett készülék, mely mintegy akkora teljesitményü lesz, mint az angol atomtudósok által Harwellben használt "ZETA. A svéd berendezést állitólag 1959. tavaszán helyezik üzembe.

A Windscale-reaktor 1957. októberében történt üzemi balesete miatt a környéken elrendelt tejfogyasztási korlátozásokat a brit kormány 1957. november 23.-án felfüggesztette.

I/6656/Sz.

Harwell uj tudományos vezetőt kap. - Sir John Cockcroft, a harwelli Atomkutató Intézet jelenlegi vezetője, átadja hivatalát jelenlegi helyettesének, Dr B.F.J. Schonlandnak. Schonland délafrikai születésü, s mielőtt a herwrlli intézet helyettes vezetője lett 1954-ben, a Johannesburg-i Bernard Price Geofizikai Kutató Intézet igazgatója volt. - Cockcroft lemondásának oka az, hogy mentesülni óhajt az adminisztrativ feladatoktól.

Argentina atomreaktor. Az argentin mérnökök által felállitott első kisérleti atomreaktort Buenos Airesben üzembe helyezték.

Az USAEC engedélyezte egy 12,5 BeV-es gyorsitó épitését Illinoisban, az Argonne Laboratóriumban.

Földrengések kihatásai atomreaktorokra. - Az AEC a San Francisco-i Lockheed Aircraft Corporation számára looooo dolláros megbizást adott annak tanulmányozására, hogy a földrengések milyen kihatással lehetnek az atomreaktorokra. Az AEC egy kézikönyvet szándékszik az ipar rendelkezésére bocsátani az esetleges ilyenfajta, a reaktorok üzemére gyakorolt hatásokról.

Növekszik a föld légkörének C^{14}-tartalma. - Uj-Zélandban végzett mérések szerint a föld légkörének többlet-C^{14}-tartalma 1955 eleje óta kétszeresre emelkedett; a növényzet radioaktiv széntartalma ugyanilyen arányban növekedett.

Nagy urániumércтelepet találtak az USA-ban. Uj-Mexikóban nagy uránlelőhelyekre bukkantak; eddig mintegy 3o millió tonna uránérc mutatható ki, az összes feltárható uránércet 5o millió tonnára becsülik; urániumtartalma - o,32 % - nagyobb, mint a föld két legnagyobb lelőhelyén /Kanadában és Délafrikában/ található urániumérceké. Az urániumot Uj Mexikó sivatagtalaja alatt egy óriási aszfaltkőzetbe ágyazva fedezték fel. Az aszfalt nyilván az uránіumtartalmu talajvizből abszorbeálta az urániumot, ugyanezt az eljárást követik ma az urániumnak ércekből való kivonásánál. Az urániumot savakkal és lugokkal kioldják a nyers ércből s az ionikicserélő mügyantákon keresztül adszorbeálódik. - Ilyenformán az USA már az esetleg néhány év mulva beálló urániumfelesleg kérdésének megoldásával kezd foglalkozni.

I/665/S/Sz.

HIREK-folytatása

Kanada. NUCLEAR POWER 1958 március.

Még több uránium Kanadából.

Kanada több mint 5ooo tonna uránércet fog eladni 1962-63-ban Angliának. Az ára lo5 millió dollár /kb. 37 millió font/; az uj szerződés szerinti szállitás az AEA részére 1962 áprilisában kezdődik meg, amikor a jelenlegi rendelésből eredő készletek elfogynak. A jelentések szerint Kanada hajlandó és képes az AEA uránium szükségletének lényeges részét 1963 után is leszállitani, ezzel kapcsolatos tárgyalások folyamatban vannak.

A Canadian Westinghouse

Nemrég bejelentette, hogy egy olyan természetes uránnal működő uj reaktor modellt tervez, amely képes felvenni a versenyt a dusitott üzemanyagu tipusokkal. A nehézvizzel szabályozott és hütött reaktorban a tápelemeket a szomszédos csatornák ellentétes végeinél ugy adagolják, hogy az egyik csatornában levő elhasznált üzemanyag a mellette levő csatorna friss üzemanyagával szomszédos. Gyakori töltéssel igy magas reakcióképességet lehet fönntartani a magban.

A HTPR /Horizontal Pressure Tube Reactor/, Westinghouse uj tipusa állitólag az ujratervezett NPD általános stilusát követi. Az üzemanyagelemek természetes uránoxidot tartalmazó kicsiny Zircaloy-csőnyalábok, melyek a nyomócsövekben vannak elhelyezve, ezeken keresztül folyik a hőtő nehézviz. A nyomócsöveket körülvevő moderátor-nehézvizet egész alacsony nyomáson tartják, ezáltal a költséges nyomásállótartály feleslegessé válik. Az eredeti modell nem egyszeri üzemanyag-töltésre, hanem havi 5 százalékos üzemanyag-cserélésre alkalmas.

Egy 13oeMW-es kanadai telep költségeit kilovattóránként o.8-1.2 centre becsülik, nem számitva a fejlesztési költségeket is. A kiadások nagyrészét a felhasznált zirconium teszi ki, s a zirconium mennyiségének csökkentése igen nagy különbséget jelentene a HTPR-nél. A 13o eMW-os telep épitése becslés szerint 5o millió dollárba fog kerülni.

Az ENSZ a sugárveszélyt tanulmányozza.

Az ENSZ Atomsugárzási Bizottsága New Yorkban tartott negyedik ülésének első témája a sugárzás emberekre gyakorolt szomatikus, tehát nem örökölhető hatásainak vizsgálata. Az ülés megnyitásán Mr.Dag Hammerskjöld hangsu-

HIREK-folytatása

lyozta, hogy a tagokra "nagyon nehéz munka" vár. Az előző ülések foglalkoztak a juliusban kiadni tervezett jelentés tómakörével és formájával, a szükséges részletes tájékoztatással, és most jön a "jelentés megszövegezésének döntő munkája." A jelentés foglalkozni fog olyan tómákkal mint a sugárzás genetikai hatásai, atomenergiával kapcsolatos létesitmények által okozott szennyeződések, a sugárzás orvosi alkalmazásából eredő esetleges balesetek, a bombakisérleteket követő rádióaktiv szétszóródás méretei és hatása. A jelentést nem technikai nyelven irják, hogy lehetőleg megkönnyitsók a megértést, és a különböző országokból kapott tudományos anyagot függelékként csatolják. Eddig több mint 160 dokumentum érkezett kb. 30 kormány részéről.

Az ülés megkezdése után tartott sajtókonferencián a belgiumi Zenon Bacq professzor, a bizottság elnöke hangsulyozta, hogy a viták barátságos légkörben folytak le. Eddig, mondotta, minden határozatot egyhangulag fogadtak el. A levelezők közül többen tettek fel kérdéseket a bombakisérletekkel kapcsolatban, de a professzor kijelentette, hogy a bombakisérletek beszüntetésének, vagy be nem szüntetésének a problémája kivül esik egy tudományos bizottság hatáskörén. Ez politikusokra tartozó politikai döntés. Dr. Shields Warren, az Ensz öt albizottsága egyikének elnöke, emlékeztette a jelenlevőket arra, hogy nem a bombakisérletek képezik az egyetlen veszélyt, és hogy a bizottságnak a rádióaktivitásból eredő veszéllyel kell foglalkoznia, "bármilyen területen használják is fel az uránium nyersanyagok sokféle fajtáját".

ROVID HIREK A NAGYVILÁGBÓL

Az Euratom és az Európai Közös Piac bizottságainak vezetősége legalább két évig Brüsszelben fog tartózkodni. A bizottsági üléseket is váltakozva Brüsszelben és Luxemburgban tartják majd.

A HRE-2, Oak Ridge második homogénreaktora január elején kezdte meg müködését. A HRE-2 kétrészes reaktor, a nehézvizben uranil szulfátot alkalmaznak. Előirányzott hőteljesitménye 5 MW, amelynek egy részét egy 3oo kW-os turbina-berendezés hajtására lehet felhasználni.

Az AEC hivatalosan elfogadta az APPR-t, a hadsereg számára készült hordozható atomreaktort. Alco-t bizták meg az APPR üzembe helyezésével s azzal, hogy gondoskodjék arról, hogy 1959. VI.3o-ig a hasereg tagjait kioktassák a reaktor kezelésére. - Eddig az APPR 3ooo órán keresztül müködött, teljesitménye több mint 8 milliárd watt óra.

Brazilia sz első nemzet, amelyik pénzsegélyt kap az Egyesült Államok "Atom a Békéért" elnevezésü programja értelmében. Egy 35o.ooo dolláros csekket Sao Pauloban jan. 25.-én, az 5MW-os kiserleti reaktor ünnepélyes felavatásánál adtak át.

Földrengések atomreaktorokra gyakorolt hatásait fogja két társaság /a Lockheed Missile Systems, és a Los Angelesi Homes et. Narver Inc./ közösen tanulmányozni. Az eredményeket majd az AEC közli.

Az Egyesült Államok Tengerészeti Hivatala 1.5 millió font értékü szerződést juttatott a Westinghouse cégnek egy kis tengeralattjáróreaktor megépitésére. A hajtőtelepet a Combustion Engineering, a hajót pedig az Electric Boat késziti el. További szerződéseket juttattak - 6oo.ooo fonton felüli értékben - a Winfrith Heath-i munkák elvégzésére a Turriff Construction Corp.-nak, leginkább laboratóriumok és irodák épitésére. A legfontosabb - 1.2 millió font értékü - polgári épitkezést is a Turriff Construction Corp. kapta meg tavaly novemberben.

TUDOMÁNYOS
KÖNYVTÁR

Felelős kiadó: Polinszky Tamás
Jegyzetsokszorositó Üzem I/665/S/Sz. loo példa. 16o.oldal. Budapest, VIII., Rákóczi-ut 15. sz.
Felelős vezető: Csajági István.

309.024

ATOMTECHNIKAI TÁJÉKOZTATÓ

1. ÉVF. 2. SZÁM 1958. JÚNIUS

AZ ORSZÁGOS ATOMENERGIA BIZOTTSÁG
MEGBIZÁSÁBÓL KIADJA A
M.T.A. KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZETE
DOKUMENTÁCIÓS CSOPORTJA

ATOMTECHNIKAI TÁJÉKOZTATÓ

1. ÉVF. 2. SZÁM 1958. JÚNIUS

AZ ORSZÁGOS ATOMENERGIA BIZOTTSÁG
MEGBIZÁSÁBÓL KIADJA A
M.T.A. KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZETE
DOKUMENTÁCIÓS CSOPORTJA

TARTALOMJEGYZÉK

Oldal

Gyors neutron-reaktorok
- René Combe 3

Termonukleáris energia - a jövő fő energiaforrása
- Igor Kurcsatov 23

Az argentin magfuziós kisérletek uj megvilágitásban
- W. Ehrenberg 28

Besugárzás hatására képződő ráégetéses kopolimerek. Egy uj technológiai eljárás?
- Donald J. Metz 30

A Brit Egyesült Királyság atomenergia programjának további fejlődése
- Sir John Cockcroft 33

Az uránium átalakulásának mai helyzete
- Dr. E. Kruse 44

Az atomenergia gazdasági alkalmazásai. Energia-termelés, ipari és mezőgazdasági alkalmazások
- /A főtitkár jelentése/ 51

H i r e k 128

x x x

GYORS NEUTRON-REAKTOROK

René Combe

L'Age Nucléaire No.9 /1958. márc.-ápr./, 69.

Bevezetés

Négy év telt el az első atommáglya üzembehelyezésétől az első gyorsneutron-reaktor elindításáig. Valóban, FERMI /később CP.I-nek elnevezett/ termikus neutron-reaktora, melynek üzemanyaga természetes uránium, moderátora pedig grafit, Chicagoban 1942. december 2-án indult meg, mig a CLEMENTINE, a plutoniummal müködő első gyorsneutron-reaktor Los Alamosban 1946. novemberben került kritikus állapotba.

Mielőtt e két reaktortipust összehasonlitanánk, utalunk a hasadás néhány törvényére.

A természetes uránium /U/, amint ismeretes, tulnyomórészt U-238-ból és kis százalékban /0,7 %/ uránium-235-ből áll.

Az uránium-238 kizárólag gyors-neutronok hatására hasad [1]. a reakció-küszöb 1,0 ± 0,1 MeV. Ugyanez áll a természetes tórium ugyszólván egyetlen alkotórészét képező tórium-232-re, melynél a küszöb alig tér el: 1,10 ± 0,05 MeV.

Az uránium-235-öt mind a gyors, mind a lassu neutronok hasitják, utóbbi esetben egyébként jóval nagyobb hatáskeresztmetszettel /I. táblázat/. Hasonló a helyzet a plutónium-239 és az uránium-233 esetében.

Minden hasadás átlagban 2,5 vagy 3 gyors-neutront szabadit fel. E neutronok egy része elvész /a szennyezések, a szerkezeti anyagok, a hütőfolyadék s esetleg a moderátor parazita abszorpciója, és neutronoknak a reaktorból történő kidiffundálása folytán/. A megmaradó mennyiségnek kell a láncreakciót fenntartania.

---

1. Megállapodásszerüen azokat a neutronokat tekintjük gyors neutronoknak, melyek energiája a 10 keV-et meghaladja. A termikus neutronok energiája közönséges hőmérsékleten 0.025 ev.

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

A természetes uránium a gyors-neutronokkal szemben gyakorlatilag ugy viselkedik, mint a tiszta U-238 /kevés U-235-öt tartalmaz, s a két izotóp hasadási keresztmetszetei azonos nagyságrendüek/. Keletkeznek hasadások, de, sajnos, nagy valószinüséggel jönnek létre rugalmatlan szórások s ezek nyomán a neutronok energiája az uránium-238 hasadásiküszöbe alá csökken.

A közepes energiák tartományába tartozó neutronok tovább vesztenek energiájukból, de ezek már lassan, rugalmas szórás következtében. Kénytelenek áthaladni néhány olyan energiaértéken /rezonanciamérési/, ahol az uránium-238 sokkal nagyobb valószínüséggel fogja be a neutronokat, mint amilyen valószinüséggel hasadás jön létre az uránium-235-ben: a neutronok elvesznek, mielőtt eljuthattak volna a termikus energiatartományba, ahol a hasadási keresztmetszet értéke igen nagy.

A láncreakció fenntartását moderátor /grafit, nehéz viz stb./ alkalmazásával biztosithatjuk: a moderátor lelassitja, de nem nyeli el a neutronokat. Ezt a megoldást alkalmazzák a klasszikus lassu neutron-reaktorok.

Alkalmazhatunk U-235-ben többé-kevésbé dusitott urániumot is, mert a dusitás elegendő ahhoz, hogy parazita befogások kisebb valószinüséggel következzenek be, mint a hasadások. Tehát gyors-neutron-máglyát épitünk, melyben a hasadásokat főként 1 MeV körüli energiáju neutronok idézik elő. Ezekben a készülékekben a neutronok átlagos energiája magas /0,5 MeV az EBR-nél; 0,25 MeV az EFFBR-nél/.

A gyorsneutron-reaktoroknál tehát alkalmazhatjuk természetes U-Pu-239 keverékét, vagy még inkább az előbb emlitett három tiszta izotóp /U-235, Pu-239, U-233/ egyikét.

Gyorsneutron-reaktorok épitése tehát akkor jöhetett szóba, amidőn a megfelelő izotópok kellő mennyiségben álltak rendelkezésre. Azon tulmenően, hogy tudományos szempontból minden uj készülék érdekes, a gyorsneutron-reaktornak van egynéhány priori előnye, nevezetesen:

1° a berendezés méretei kicsire szabhatók: a gyors reaktor mindig kisebb, mint egy azonos teljesitményü termikus reaktor.

2° Nagyobb választék szerkezeti anyagok terén. Termikus neutronok esetében sok fém, melynek igen nagy a neutronelnyelési hatáskeresztmetszete, nem használható, s ezért cirkóniumot stb. kell alkalmazni; gyors neutronok esetében például a rozsdamentes acél kitünően megfelel.

3° Nincs szükség moderátorra.

Ezzel szemben fennállnak bizonyos nehézségek:

a/ Kényesebb problémát képez a hütés /mivel a reaktor aktiv részének térfogata kicsi, rendkivül élénk hőkicserélésre van szükség/.

b/ Ugyancsak nehezebben oldhatók meg a szabályozásproblémák.

A leglényegesebb kérdés azonban a szaporitás vagy "breeding"; ezt külön fogjuk tárgyalni.

A szaporitás

Termikus neutron-máglyában /például: természetes uránium-grafit/ elvben csak az U-235 használható fel, azaz a fémnek csak 1/140-ed része s a gyakorlati határ még alacsonyabb /≈ 1/280/ a hasadási termékek mérgező hatása stb. miatt. Ez a hatásfok nagyonis közepes.

Állandó üzemeltetésnél az egy-egy hasadásnál kibocsátott átlagosan 2,5-3 neutronból azonban csak egy fordítódik a reakció fenntartására. Amint a fentiekben emlitettük, 1,5-2 neutron különböző okoknál fogva elvész. A fennmaradó neutronok pedig hasadás nélkül befogadnak az U-238-ba s igy szerencsére uj hasadó atommagok, Pu-239 plutóniummagok jönnek létre.

A Pu-239 és U-238 ezután vegyi uton szétválasztható s a plutóniumot fel lehet használni más reaktorban.

Az egyszerü máglya hasadó anyagot fogyaszt, de ugyanakkor ujat is termel. Ha ugyanannyi, vagy több hasadóanyagot termel, mint amennyit feleméstz, szaporitó, vagy breeder még-

lyának nevezzük /az angol to breed = táplálni, tenyészteni igéből/, s a müveletet magát breeding-nek.

Idézzük a feltétlenül szükséges formulákat és jelöléseket:

U-238-ból a következő reakciók utján keletkezik Pu-239:

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{239*}_{92}U + \gamma$$

$$^{239}_{92}U^{*} \xrightarrow{23\ \text{perc}} ^{239}_{93}Np + \beta^{-}$$

$$^{239}_{93}Np^{*} \xrightarrow{2{,}3\ \text{nap}} ^{239}_{94}Pu + \beta^{-}$$

Hasonló reakciók egy sora a Th-232-t alakitja át U-233-má:

$$^{232}_{90}Th + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{233}_{90}Th^{*} + \gamma$$

$$^{233}_{90}Th^{*} \xrightarrow{23\ \text{perc}} ^{233}_{91}Pa^{*} + \beta^{-}$$

$$^{233}_{91}Pa^{*} \xrightarrow{27{,}4\ \text{nap}} ^{233}_{92}U + \beta^{-}$$

Legyen

ν a /lassu vagy gyorsneutron-okozta/ hasadásban keletkezett neutronok átlagos száma:

σ_f és σ_c a nukleáris üzemanyag hasadási és befogási hatáskeresztmetszetei; az α paramétert az

$$\alpha = \frac{\sigma_c}{\sigma_f} \qquad /1/$$

összefüggéssel definiáljuk.

η a hasadási neutronoknak egy abszorbeált neutronra eső átlagos száma:

$$\eta = \frac{\nu}{1 + \alpha} \qquad /2/$$

ν nem változik lényegesen az energiával; α és η jelentősebb mértékben változik.

Figyeljük meg az I. táblázat adatait.

Ha a hasadó anyag által abszorbeált minden egyes neutronra esően L számu neutron diffundál ki vagy szenved parazitabefogást /nem a hasadó, hanem más anyagban/, ugy: $\eta - 1 - L$ számu szabad neutron marad fenn arra a célra, hogy a szaporitó anyagba befogódva uj hasadó atommagokat hozzon létre. Ez az utóbbi mennyiség a konverziós viszony:

$$C = \eta - 1 - L \qquad /3/$$

Ha a reaktor N számu hasadó /például Pu-239/ atommagot használ el, ugy NC számu, azonos fajta atommag regenerálódik, majd a második müveletnél NC^2 lesz a felszaporitott atommagok száma és igy tovább ... végtelen számu müveletet feltételezve:

$$NC + NC^2 + NC^3 + \ldots.$$

Ha $C \geqq 1$, a sor divergál, elvben az egész szaporitóanyag felhasználható.

Ha $C < 1$, a sor a következőképpen alakul:

$$NC\ /1 + C + C^2 + \ldots\ldots/ = N \frac{C}{1 - C}$$

N számu atommagból indultunk ki, nyereségként mutatkozik tehát a

$$\frac{C}{1 - C} \qquad /4/$$

tényező, melynek értéke C = 0,8 esetében 4;

C = 0,9 esetében 9 stb.

Ahhoz, hogy szaporitás létrejöhessen, ki kell elégülnie a

$$C > 1$$

vagy

$$\eta - L > 2,$$

vagy amennyiben L elhanyagolható, a

$$\eta > 2 \qquad /5/$$

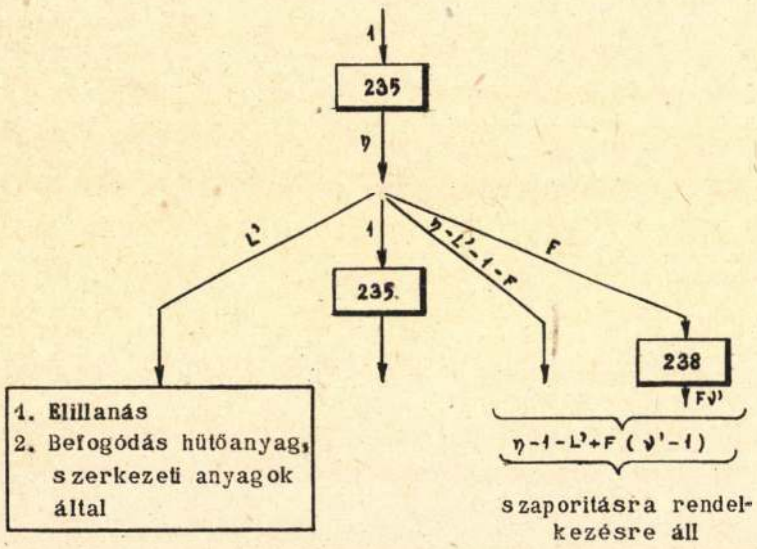
feltételnek.

Itt η értékét a hasadó anyagra és nem teljes egészében a nukleáris üzemanyagra kell vonatkoztatnunk.

Megjegyzés: Előfordul, hogy egy teljesebb alaku formula van adva: /lásd ZINN /34/ cikkét, mely kissé eltérő jelöléseket alkalmaz/:

$$C = \eta - 1 - L' + F\,(\nu' - 1), \qquad /6/$$

mely figyelembe veszi az U-238 hasadásából keletkezett neutronnyereséget is: ν' = az U-238 hasadása folytán kibocsátott neutronok száma; F = a hasadást szenvedő U-238 atommagok száma /a hasadó izotóp által elnyelt egy-egy neutronra vonatkoztatva/. /Lásd 1. ábrát/.



1. ábra

Az I. táblázatból kitünik, hogy termikus neutronokat alkalmazva, az 1945-ben ismert értékek alapján szaporitó máglyát U-233 tápanyaggal könnyen meg lehetett valósitani, U-235-tel már nehezen és Pu-239-es hasadóanyaggal egyáltalán nem; az ujabban kapott értékek alapján termikus szaporitó máglya Pu-239 hasadóanyaggal is megvalósithatónak látszik.

Gyors-neutronok esetében csak két értéksorunk van /21/ és /34/. Ezeket vizsgálva azt látjuk, hogy a három izotóp bármelyikének alkalmazásával bőven meg van a lehetőség szaporitómáglya épitésére. Megjegyzendő, hogy a Pu-239 - ν magasabb értéke miatt - előnyösebb, mint az U-235.

Egyelőre az U-233 esetét vizsgálva annyi bizonyos, hogy - elvben - gyors-neutronokkal könnyü szaporitó máglyát épiteni, lassu neutronokkal azonban problematikus, éppen ebben rejlik a gyorsneutron-reaktorok főjelentősége.

Valószinü, hogy a nukleáris ipar egész gazdasági jövője a szaporitáskérdéstől függ.

Közönséges reaktorban, mely gyakorlatilag a természetes uránium 1/300 részét használja fel, 1 kg urániumfém értéke 10 tonna szénnek felel meg, azaz 20 000 kWó elektromos energiával egyenértékü.

Olyan reaktorban, mely az egész urániummennyiséget felhasználja, 1 kg uránium 3000 tonna szénnel, azaz 6 000 000 kWó villamosenergiával ekvivalens.

Bethe /5/ becslése szerint, ha megelégszünk uránium-235 alkalmazásával, az ismert urániumtartalékokból nyerhető energiamennyiség nem éri el azt az energiamennyiséget, mely az ismert széntartalékokból áll rendelkezésre. Ha azonban - s ezt a szaporitási technikai eljárások teszik lehetővé - a természetes uránium teljesen kihasználódik, a természetes urániumtartalékok energetikai egyenértékben több, mint ötvenszeresét teszik ki az ismert szén- és petroleumtartalékoknak.

Gyorsneutron-reaktorok általános jellemzői:

A/ A reaktiv mag /"Core"/ méretei.

A neutrondiffuzió elmélete keretében felállitjuk a következő formulát:

$$R_c = K \frac{M}{\sqrt{k-1}} \qquad /7/$$

R_c egy kritikus méret, K pedig egy a rendszer geometriájától függő együttható, amely például gömb esetében π., kocka esetében $\pi\sqrt{3}$.

Termikus reaktoroknál k a sokszorozási tényező végtelen közegben s értéke

$$k = \eta \varepsilon p f \qquad /8/$$

Ez a hires négy tényezős formula:

ε = gyorshasadási tényező;

p = a rezonancia-befogás kikerülésének valószinüsége;

f = a termikus felhasználási tényező; ez a termikus neutronoknak az a töredéke, mely elnyelődik az urániumban, az 1 - f töredék elvész a moderátorban stb. való abszorbeálódással.

η = ez esetben az egész hasadó anyagra /235 + 238/ vonatkozik.

A láncreakció végtelen közegben akkor indulna meg, ha $k > 1$.

Például természetes uránium - grafitból álló homogén keverék esetében /ahol 400 grafit-atomra 1 uránium-atom esik/

$$k = 0{,}793$$

a máglya nem képes müködni.

Heterogén keverék esetében azonban

$$k \approx 1{,}05$$
$$k - 1 \approx 0{,}05$$

láncreakció megindul, de a neutrontöbblet csekély.

M a neutronok vándorlási hossza, mely az

$$M = \sqrt{L^2 + L_s^2} \qquad /9/$$

összefüggéssel fejezhető ki.

L a /termikus/ diffuziós hossz, azaz ama távolság négyzetének egyhatoda, amely átlagosan a neutron termikussá válásának helyétől elnyelődésének helyéig tart.

L_s a lelassulási hossz, mely hasonló módon a neutron által a termikus energiákig történő lelassulása alatt megtett úttal kapcsolatos.

M bevezetése, - mely egy neutron által gyors hasadási neutronként való keletkezése és a termikus nivó elérésekor bekövetkező elnyelődése között befutott közepes távolságot fejezi ki, - nyujt lehetőséget arra, hogy számitásba vegyük a reaktor véges méreteit.

Gyorsneutron-reaktoroknál, ha beérjük egy kissé durva közelitéssel, az alábbi formulát tételezhetjük fel, melyet /7/-ből vezettünk le; ez esetben k gyakorlatilag η -ra redukálódik, M pedig a gyors-neutronok diffuziós hosszára, L-re:

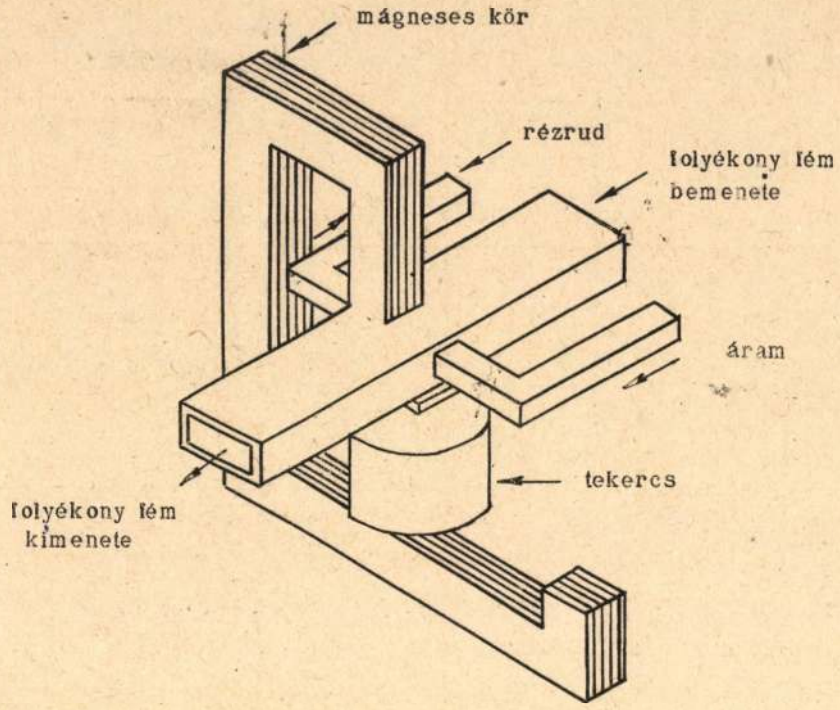
$$R_c = K \frac{L}{\sqrt{\eta - 1}}$$

Termikus neutronoknál nagy a vándorlási hossz /$\approx$ 0,50 m/, a neutronnak nagy távolságot kell befutnia, hogy lelassuljon. Mondottuk, hogy k - 1 igen kicsi /$\approx$ 0,05/, mert nagyon kevés a neutrontöbblet. A kritikus méret például természetes uránium - grafit máglyánál 7 m.

Gyorsneutron-reaktoroknál a diffuziós hossz kicsi /$\approx$ 0,05 m/ és kielégitő a neutrontöbblet: η - 1 értéke jelentős mennyiség. A kritikus méret 0,30 m. Ezért az EBR-1 aktiv magját szabályos foot-ball labda-méretre határozták meg. Ennél a máglyatipusnál tehát a lassu neutronos klasszikus máglyákhoz viszonyitva csak néhány tizezredrésznyi nagyságu a kritikus térfogat.

B/ Hütésproblémák:

A kritikus térfogat csökkentése önmagában is előnyt jelenthet /szállitható készülékek/. Ipari reaktoroknál azonban igen nagy teljesitménysürüséget eredményez: az EBR-1-nél 250 kW/dm^3-t; ez az érték 40 kW/dm^3 /modern tengeri hajó kazánja/ és 1800 kW/dm^3 /egy V-2 rakéta égési kamrája/ között fekszik. Az emlitett adatok ZINN-től származnak /32/.



Egy elektromágneses szivattyu elve.

2. ábra

A hütéshez olyan folyadékra van szükség, melynek jók a termikus tulajdonságai, de nehéz atomok alkotják,/hogy ne lassitsa le tulságosan a neutronokat/. Ha egy erőmünél alkalmazott hütőfolyadék forráspontja magas, a felállitott turbinák jó teljesitménnyel müködnek. Viszont jó, ha a folyadék közönséges hőmérsékleten megtartja folyékony halmazállapotát. Meg kell még vizsgálni a mérgezési, gyulladási, rádióaktiv szennyeződési stb. feltételeket is.

II. Táblázat

Hütőanyagok

	Viz	Li	Na	Na-K eutektikus keveréke 76 % K	Hg	Pb	Pb-Bi eutektikus keveréke 55 % Bi
Olvadási pont °C	0	179	98	-11	-39	327	125
Forráspont °C légköri nyomásnál	100	1317	883	784	357	1737	1670
	A 250°C		A 400°C	A 400°C	A 20°C		A 600°C
Sürüség	0,794	0,49	0,854	0,703	13,55	10,51	9,91
Fajhő cal/g °C	1,10	1,0	0,306	0,210	0,033	0,037	0,035
Hővezetőképesség cal/cm.sec. °C	0,00196	0,09	0,170	0,0636	0,0197	0,038	0,035

Rádióaktivitás

$$^{24}Na \xrightarrow{15\ \text{óra}} \gamma, \quad 1{,}39 \text{ és } 2{,}75 \text{ MeV}$$

$$^{42}K \xrightarrow{12{,}4\ \text{óra}} \gamma \quad 1{,}5 \text{ MeV}$$

$$^{210}Bi \xrightarrow{5\ \text{nap}} ^{210}Po \quad \text{/mérgező/}$$

C/ Szabályozás-problémák

A lassu neutronos reaktoroknál használatos szabályozórud-rendszer gyors-neutronoknál nem alkalmazható, mert jó neutron-abszorbens nincsen. A neutronkiszivárgást ugy növelik vagy csökkentik, hogy a mag vagy a moderátor egyes elemeit elmozditják.

Superkritikus rendszerben a neutronok sürüsége a

$$N = N_o \exp /t/T/ \qquad /11/$$

exponenciális törvényt követi, ahol

$$T = \frac{\tau}{k_{eff} - 1} , \qquad /12/$$

itt τ a neutron "szaporitási ideje" k_{eff} a valóságos reaktor sokszorozási tényezője /figyelembe véve a véges méretnek tulajdonitandó neutronszivárgást/.

Ezenfelül a neutronoknak egy néhány ezredrésznyi/ töredéke, β, "késleltetést" szenved. Mig a "prompt" neutronok gyakorlatilag késedelem nélkül bocsátódnak ki /a késés $< 10^{-14}$ sec/, a késleltetett neutronok 0,6-tól 80 sec-ig változó /átlagosan 12 sec/ közepes élettartammal bocsátódnak ki, s ez a reaktor átmeneti müködésének számitásába egy 0, 1 sec nagyságu időállandót iktat be.

A hasadási neutron kibocsátódásától haláláig terjedő élettartama gyorsneutron-reaktorban körülbelül 10^{-7} sec, termikus reaktorban azonban jóval hosszabb /$\approx 10^{-3}$ sec/.

Ha

$$k_{eff} = 1, \qquad /13/$$

a reaktor kritikus rendszere a "késletetett" kritikus állapotban van.

Ha $$k_{eff}\,/1 - \beta/ = 1, \qquad /14/$$

"prompt" kritikus rendszerrel van dolgunk.

Ha

$$k_{eff} < 1,$$

a reaktor nem müködik.

Ha

$$1 < k_{eff} < \frac{1}{1 - \beta},$$

a reaktor késleltetett neutronok segitségével müködik.

Ha

$$k_{eff} > \frac{1}{1 - \beta},$$

a reaktor pusztán a p r o m p t neutronok hatására is müködik.

Ezekután a következő lényeges konkluziókra jutunk: /a két kritikus rendszer közötti/ közbenső tartományban a késlelte-

tett neutronok kibocsátásának késése /0,1 s, amely idő élettartamukhoz viszonyitva nagy/, fogja meghatározni az időállandót, azt, hogy a reaktor gyors, vagy termikus legyen; a gyorsneutron-reaktorokat /legalábbis elvben/ nem nehezebb szabályozni, mint a lassu neutron-reaktorokat.

Például: ha $k_{eff} - 1 = 0{,}005$

$\tau = 0{,}1$ s

T = 20 s

N körülbelül 90 s-en belül 100-zal sokszorozódik.

A prompt kritikus tartományon tul azonban a neutron élettartama a döntő, és igy a két reaktortipus különbözőképpen viselkedik.

Termikus rendszerben: $\tau = 10^{-3}$ s T = 0,2 s

N körülbelül 0,9 s-en belül sokszorozódik 100-zal.

A szabályozás nehézzé válik.

Gyorsneutron-rendszerben: $\tau = 10^{-7}$ sec T = 2.10^{-5} sec

N 1 sec-en belül 10^{5} tényezővel sokszorozódik; a jelenségek szédületes tempóban játszódnak le: gyorsneutron-reaktornak sohasem szabad a prompt-kritikus állapoton tuljutnia.

Monográfiák

A következőkben ismertetjük az amerikai és angol gyorsneutron-reaktorok /III. táblázat/ néhány adatát. Szovjet berendezésekre vonatkozóan információink nincsenek. Nálunk Franciaországban aligha jutottunk tul az előzetes vizsgálatok szakaszán /31/.

1. CLEMENTINE /L 2/ /17/

A CLEMENTINE elnevezésü kisérleti reaktor volt az első gyorsneutron-reaktor.1946 novemberében Los Alamosban helyezték üzembe, amikoris 25 kW-os teljesitményszintet ért el. 1953-ban szétszerelték, mert egy baleset következtében a

plutónium a higanyt szennyezte. A higanynak hütőként való alkalmazása alacsony forráspontja ellenére kutatási reaktornál nem járt különösebb hátránnyal. Bár termikus neutron-elnyelési hatáskeresztmetszete igen nagy, az elnyelési hatáskeresztmetszet gyors-neutronoknál elegendően kicsi. A higany 80 °C hőmérsékleten távozott a reaktorból, s egy hőkicserélőben viz hütötte le.

A reaktor-magot acéllal burkolt plutóniumrudak alkották. /hossz ≈átmérő ≈15 cm/. A reaktormagot igen bonyolult abszorbens-védőrendszer vette körül.

A maximális fluxus 10^{13} n/cm^2. s volt.

2. EBR-1 /L 2/ /32/ /35/

A Laboratoire National d'Argonne által szerkesztett és Arcoban /Idaho,USA/ felállitott EBR-1 /Experimental Breeder Reactor/-ben sikerült először, 1953 juniusában, magenergiából villamos-energiát előállitani.

A reaktor aktiv magját 2 x 217 hengeralaku, kis átmérőjü /L = 108 mm, átmérő = 9,75 mm/ /U-235-ben 90 %-ra dusitott U/ rud alkotja. Kifelé haladva, előbb egy 138 db nagyobb, természetes urániumrudból /hosszuk 514 mm, átmérő 23,8 mm/ álló köpeny, majd egy tartály következik, melyben a hütőfolyadék kering, s végül a külső burkolat /84 db, 45 kg sulyu természetes urániumtömb/, melyet levegő hüt.

A természetes urániumból készült 12 szabályozórud a külső burkolatban mozog.

A kritikus töltésmennyiség 48 kg U-235. Maximális teljesitmény 1400 kW /melynek 72 %-a a központi magban termelődik/.

A termikus kört a következő részek alkotják:

- első kör /NaK/: hőmérséklete a reaktor be- és kimeneténél 228 ill. 316 °C /percenként 1100 liter/;
- hőkicserélő;
- második kör /NaK/;
- egy vizhevitőből, kazánból, tulhevitőből álló /a vizgőz 280°C hőmérsékleten, 27,5 atm nyomás alatt távozik/ komplexum, mely egy 200 kW-os váltakozó áramu generátort táplál.

A neutronfluxus 1,1 . 10^{14} n/cm^2. sec.

Rádiokémiai eljárásokkal végzett mérések kimutatták, hogy a konverziós tényező 1,00 ± 0,04 s a /6/ egyenlet egyes tagjainak értéke hozzávetőlegesen:

$\nu = 2,5$; $1 + \alpha = 1,143$; $\eta = 2,19$; $L' = 0,39$; $F = 0,152$;
$\nu' = 2,5$; $C = 2.19 - 1 - 0,39 + \frac{/0,152 \times 1,88/}{0,23} = 1,03$

Látjuk, hogy az U-238 gyors hasadásait jelentő tag értéke nagy.

A reaktor aktiv magja, mely már a második beszerelt mag volt, 1955. november 29-én megolvadt /35/. A harmadik magot, mely plutoniumból lesz, 1959 táján fogják majd beszerelni.

3. EBR-2 /4/

Az Argonne-i Laboratóriumban 1959 juniusában meginditandó EBR-2 reaktor egyike annak az öt prototipusnak, melyet az Amerikai Atomenergia-Bizottság egy jövőbeli ipari program alapjául választott.

Aktiv zónájában /üzemanyag: uránium-plutóniumötvözet/ a teljesitménysürüség eléri az 1000 kW/dm^3.

Az aktiv mag gyürüalaku,ez fogja körbe a szaporitóanyagból álló belső magot. Ezenfelül van két külső, szaporitóanyagból álló burkolat.

A hütést a reaktorban 41 600 liter/perc sebességgel keringő tiszta nátrium szolgáltatja. S primér kör szivattyuja egyenáramu elektromágneses szivattyu, melynek fogyasztása 250 000 A. A nátrium 480°C hőmérsékleten távozik a reaktorból.

A szekunder kör /szintén nátrium/ 450°C-nál és 86 atm nyomás alatt vizgőzt fejleszt.

A hőteljesitmény 60 000 kW, az elektromos teljesitmény 15 - 20 000 kW.

4. EFFBR /Enrico Fermi Fast Breeder Reactor/ /44/

Ennek a reaktornak /hő-/ teljesitménye 300 000 kW, illetve /elektromos/ 90 000 kW. Az Atomic Power Development Ass. Inc. dolgozta ki,s Lagoona Beach-ben, a Lac Érié mellett állitották fel.

Üzemanyaga biztonsági okokból nem plutónium, hanem U-235-ben /27 %-ra/ dusitott uránium lesz, s kritikus tömege 485 kg U-235. Szaporitó anyaga uránium-238, konverziós tényezője 1,20 lesz.

A reaktormag hengeralaku /magasság ≈ átmérő ≈ 80 cm/. Az egész reaktort hengeralaku övezet veszi körül /átmérő 22 m; magasság 36,5 m/, melyet 27 mm vastagságu acéllemez alkot.

A két hütőkörben tekintélyes mennyiségü nátrium kering, az elsőben 124 t, a másodikban 50 t, 400°C-nál és 42 atm nyomás alatt óránként 450 t vizgőz fejlődik.

Előreláthatóan az uránium - baleset esetén - elég gyorsan fog kitágulni, ugyhogy katasztrofális üzemállapot nem fog bekövetkezni.

Az EFFBR - ára 29,000.000 dollár - terv szerint 1959-ben indul meg. /Lásd L'Age Nucléaire, No. 4. p. 60./.

5. KÜLÖNBÖZŐ AMERIKAI REAKTOROK /43/

Lássuk először a LAMPFRE tervet /Los Alamos Molten Plutonium Reactor Experimental/. Ennek keretében olyan reaktorok épitéséről van szó, melyeknél az üzemanyag megolvasztott plutoniumötvözet; ezáltal kiküszöbölődnek a szilárd üzemanyagokkal kapcsolatos gyártási és feldolgozási problémák. Három modellt terveznek: az első /1958-59/ teljesitménye 1 MW lesz, hütőanyaga nátrium.

Ezenkivül tanulmányozás alatt állnak különböző, zérus-teljesitményü kisérleti reaktorok /Zero Power Reactors/. Igy például a III. modellnél a reaktormag különböző konfigurációit lehet lesz tanulmányozni. Az V. modell vegyes tipusu lesz: a központi zónában jön létre a hasadások 95 %-a gyors neutronok hatására; a külső zónában keletkezik - termikus neutronok hatására - a hasadások 5 %-a.

6. ZÉPHYR /14/ /26/

Kutatási célokra szolgáló reaktor, 1954. február 5-én helyezték üzembe Harwellben. Teljesitménye igen alacsony /néhány watt/, hütésre nincs szükség. A reaktormag nikkellel bevont plutóniumrudakból álló henger /átmérő ≈ hossz ≈ 15 cm/.

A burkolaton belül 3 tonna természetes uránium van elhelyezve. A szabályozás a burkolat egyes részeinek elmozditásával történik.

Angol fizikusok közlése szerint sikerült azt a jelentős eredményt elérniök, hogy a C konverziós arány 2-nél magasabb érték. Ez a jó eredmény szerintük a plutónium kedvező fizikai tulajdonságainak és az U-238 hasadásából adódó számottevő hozzájárulásnak tulajdonitandó.

7. ZEUS /26/ /38/

1:1 arányu modellje a DUNREAY reaktornak, de hütés nélkül, mert a megszabott teljesitményszint csak 100 W.

A reaktormag erősen dusitott uránium /átmérő ≈ hossz ≈50 cm/

8. DOUNREAY /20/ /41/

A DOUNREAY erőmü Skócia északi partján épül.

A reaktormag 1 tonna, 235-ben dusitott urániumot tartalmazó /fenntartással/ henger /hossz ≈ átmérő ≈ 60 cm/, melynek hőteljesitménye terv szerint 60 MW lesz. Rozsdamentes acélburkolattal van körülvéve, melyet neutronabszorbens védőréteg /1,20 m grafit/ vesz körül.

A primér hütőkör /rozsdamentes acélcsövekben keringő Na vagy NaK/ 24 párhuzamos, önálló, két-két különálló hőkicserélővel ellátott körből áll. A második hütőkör /Na vagy NaK/ adja át a hőt a kazánoknak.

A szivattyukat /elektromágneses szivattyuk/ biztonsági okokból különálló Diesel aggregátok táplálják.

A reaktor maga és a hőkicserélők félgömbalaku betonépitményben /átmérője 30 m, magassága = 15 m, vastagsága 1,5 m/ foglalnak helyet.

A reaktor és tartozékainak összessége /beleértve egy görgőhidat stb./ óriási rozsdamentes acélból készült gömbbe van zárva /átmérője = 41 m, vastagsága = 2,5 cm/ /4. ábra/.

9. GODIVA - TOPSY - JEZEBEL /23/ /18/ /19/ /45/

Ezek nem annyira máglyák, mint inkább kritikus rendszer-összeállitások, kb. 10 vagy 15 cm átmérőjü /két vagy három elemből álló/ egyszerü, csupasz gömbök; GODIVA és TOPSY U-235-ből, a JEZEBEL, mely a legkisebb és a legveszélyesebb, plutóniumból áll. A GODIVA sugara 86.0 mm.

A GODIVÁ-nál - mechanikus rendszer segitségével -egy valamivel a kritikus késleltetett rendszer alatti állapotból hirtelen át lehet térni egy valamivel a prompt kritikus rendszer fölötti állapotba. A hasadás ekkor rendkivül gyors tempóban játszódik le. Ebből következik, hogy az impulzus időtartama mindössze 50 μs/mivel a jelenséget a hőokozta tágulás igen hamar leállitja/ s ennek folyamán a teljesitményszint eléri a 10^9 W maximumot; a kifejtett energia 10^{16} számu hasadásból adódik.

A GODIVÁ-val Keepin-nek /17/ sikerült vizsgálnia az U-238, U-235, Th-232 és Pu-239 késő neutronjainak felezési időit, valamint ezek relativ gyakoriságát.

1957. február 12-én a GODIVÁT lebontották. Egy véletlen robbanás folytán, melyet egy neutronmoderátor helytelen müködése váltott ki, és melynek következtében a hasadások száma $1,2 \times 10^{17}$-re ugrott, az urániumfelületek oxidálódtak, deformálódtak és az acéltartók eltörtek. A baleset személyekben nem okozott kárt. A GODIVÁ-nál müködése alatt 1060 robbanás keletkezett. /Lásd: L'Age Nucléaire, No. 4. p. 61/.

10. Intermedier /közepes energiáju/ neutron-reaktorok

Gyorsreaktorban a neutronok átlagos energiája 100-200 keV. Az intermedier neutron-reaktor olyan berendezés, melyben a hasadások legnagyobb részét közepes energiáju /elvben 1 eV és 100 keV közötti/ neutronok váltják ki.

Ilyen reaktornál megvan a lehetőség arra, hogy kiküszöbölődjenek egyes olyan megkötöttségek, melyek a gyorsneutron-reaktoroknál /a hő eltávolitása/ és a termikus reaktoroknál /a xenon-135 okozta mérgezés/ fennállnak.

Ismert példája ezeknek a reaktoroknak a SIR, ezzel lesz felszerelve a második amerikai atom-tengeralattjáró, a

"SEAWOLF". Egyelőre csak annyit tudni, hogy üzemanyaga dusitott uránium, moderátora berillium, s hütőanyaga nátrium.

A prototipus 25 mm vastag, vizhatlan acélgömbbe volt zárva.

Köszönetnyilvánitás.

x x x

I. Táblázat

	Termikus neutronok 2200 m/s			Gyorsneutronok	
	HARVEY /1956/			ZINN /1955/	
U-238	0			2,88	
U-235	2,47			2,46	
Pu-239	2,91			2,88	
U-233	2,55			-	
	GLASSTONE ZINN 1945	ZINN 1955	HARVEY 1956	ZINN 1955	KOZODAEV 1955 /0,9 MeV/
Term. U.	1,32	-	-	/< 1/	/< 1/
U 2 % U-235	1,73	-	-	-	-
U-235	2,11	2,08	2,08	2,23	2,28
Pu-239	1,95	2,03	2,08	2,70	2,52
U-233	2,34	2,31	2,29	-	2,60

		NEMZETKÖZI 1955 /Glasstone/	Franciaorsz. 1955	USA 1955 /Glasstone/
Hasadási hatás-keresztmetszet /barn-ban/	Term. U	/3,92/	-	/0,29/
	U-238	/0/	-	/0,52/
	U-235	590	1,15	1,27
	Pu-239	729	2,04	2,00
	U-233	524	1,92	1,95

Az első rovat ν-t, az egy hasadással kibocsátott neutronok átlagos számát tünteti fel.

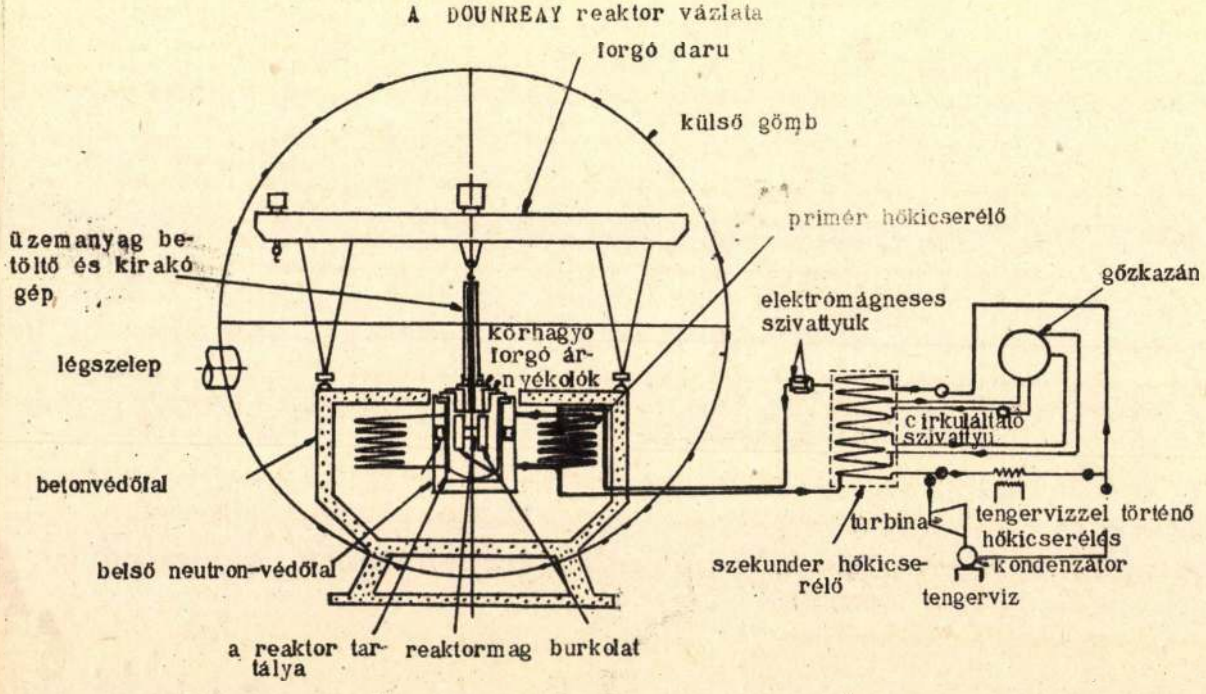
A második rovat η-t, az üzemanyag által elnyelt egy-egy neutronra eső, kibocsátott neutronok átlagos számát.

A harmadik rovat a hasadási hatáskeresztmetszetet, σ_f-et adja meg barnokban /10-24 cm^2/.

II. táblázat
/lásd a szövegben/
III. táblázat

Gyorsneutron-reaktorok

Név	Hely	Üzembe-helyezés	Üzem-anyag	Hütő-anyag	Hőteljesit-mény
CLEMENTINE	Los-Alamos	1946.XI.	plutonium	Hg	25 kW
E B R - 1	Arco /Idaho/	1950.XII.	uránium	Na-K	1 400 -
E B R - 2	Arco /Idaho/	1959.VI.	plutonium-ötvözet	Na	60 000 -
E F F B R	Lagoona-Beach	1959	uránium	Na	300 000 -
LAMPRE /1,2,3/	Los-Alamos	1959-től	megolvasztott Pu ötvözet	Na	1 000 000 -
ZERO POWER REACTORS	? USA	-	-	-	0
ZEPHYR	Harwell	1954.II.5	plutonium	-	0
ZEUS	Harwell	1955 végén	uránium ?	-	0
DOUNREAY	Dounreay	1957 ?	plutonium	Na	60 000 kW
GODIVA	Los-Alamos	-	uránium	-	-
TOPSY	Los-Alamos	-	uránium	-	-
JEZEBEL	Los-Alamos	-	plutonium	-	-
Intermedier-neutron-reaktorok					
SIR	SEAWOLF tenger-alattjáró	?	uránium	nátrium	100 MW



4. ábra

TERMONUKLEÁRIS ENERGIA - A JÖVŐ FŐ ENERGIAFORRÁSA

Igor Kurcsatov

Atom Industry 6/4, 5 /1958/

Termonukleáris reakciót legkönnyebben deutérium /2-es atomsulyu nehézhidrogén/ és tritium /3-as atomsulyu nehézhidrogén/ egyenlő arányban történő keverésével érhetünk el.

A szükséges mennyiségü tritium előállitása azonban igen költséges és a termonukleáris reaktorok főleg tiszta deutériumot fognak használni.

Az elkövetkező 15 évben a Szovjetunió szén és olaj termelése együttvéve eléri kb. az évi 1000 millió tonnát. Ez az egész mennyiség helyettesithető lenne 400 tonna deutériummal. 20 évvel ezelőtt ezt a deutérium-mennyiséget rendkivül nagynak tartották volna. Emlékszem, hogy a háboru előtt Leningrádban egy ciklotronon végzett munkával kapcsolatban óriási nehézségeink voltak, hogy néhány gramm deutériumot kapjunk Dnyepropetrovszkból, ahol laboratóriumi uton állitottak elő nehézvizet az Ukrán Akadémia Fizikai Kémiai Intézetében. Ma teljesen más a helyzet, most már iparilag, különböző eljárásokkal termelünk deutériumot.

Különösen emlitésreméltó a "mélyhütési" módszer, ahol a deutériumot minusz 250 °C hőmérsékleten állitjuk elő. Ezt az igen előrehaladt módszert a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának Fizikai Problémákat Kutató Intézetében dolgozták ki. A deutérium vizből való kivonása nem nagyon drága. A deutérium ára üzemanyagként kevesebb mint a szén árának 1 %-a.

Számitások azt mutatják, hogy egy termonukleáris reaktor képes a deutériumot 300, 400 millió Celsius fokra, egy deutérium-tritium keveréket pedig 40-50 millió fokra felheviteni. Csak ilyen nagy hőmérsékleteken szabadit fel a hidrogénmagok intenziv fuziója több energiát, mint amennyit elveszit /az elsugárzási veszteségek figyelembevételével./.

A reakció feltételei

A gáz teljesen ionizálódik és abba az állapotba kerül, melyet a fizikusok "plazmaállapot"-nak neveznek. Sürüségének igen kicsinek kell lennie, azaz a részecskék száma térfogategységenként nem lehet több, mint normál-nyomásu és hőmérsékletü gázban levő részecskék számának többszázezred része. Még ilyen feltételek mellett is, a plazma nyomása néhányszor tiz atmoszféra nagyságrendü az óriási hőmérséklet következtében.

A hőszigetelést mágneses tér segitségével végezzük, felhasználva azt a tényt, hogy töltött részecskék nem mehetnek át szabadon mágneses erővonalakon. A hő másként is szigetelhető. Ha erős elektromos áramot vezetünk keresztül a plazmán, ennek az áramnak a mágneses tere használható fel a hőszigetelés érdekében. Ebből a célból a kamra falait vastag elektromosvezető anyagból kell késziteni. A mágneses tér teljesen körülveszi a plazmát, melyen az elektromosáram keresztülhalad. Ha az áraminpulzust kisütjük, akkor mágneses tere nem hatolhat be gyorsan a fémbe és igy a plazmát a falaktól távoltartja. Igy pl. vörösrézedény tetején keltett mágneses tér 10 cm-nyire hatol be csak egy másodperc alatt. Gyakorlatilag tehát lehetséges olyan vastagfalu kamrák készitése, amelyekben a plazmán áthaladó mágneses tér kb. egy másodpercnyi ideig biztositaná a hőszigetelést. Ebben az esetben a felhevitett plazma nyomást gyakorol a falakra, de nem ugy mint hideg gázban, ahol a molekulák ütődnek neki a falaknak, hanem a plazmán áthaladó áram mágneses tere utján.

Ha a felhevitett hidrogén olyan intenziven sugározná a fényt és hőt, mint a szilárd testek, akkor néhány millió fok Celsius hőmérséklet melletti sugárzása minden anyagot azonnal gőzzé változtatna és semmilyen müszaki berendezés sem tudná mesterséges hütéssel megakadályozni az anyagok elpárolgását. A felhevült hidrogén azonban a valóságban átlátszó, és kevesebb hőt bocsát ki, mint egy szilárd test, éspedig forditott arányban azzal a számmal, ahányszorosan átlátszóbb, mint ez a test.

Minimális méret

Minél nagyobb méretü egy reaktor, annál nagyobb arányu a fejlesztett energiája a fogyasztott energiához képest. Éppen ezért van egy olyan minimális reaktorméret, amelynél a reaktor több energiát termel, mint amennyit fogyaszt. Deutérium-tritium-keveréket üzemanyagként használó reaktor aktiv magjának legalább egy méter átmérőjünek kell lennie.

Egy méteres aktiv mag 50 millió fokos hőmérsékletnél sugárzik és a hidrogénplazma sürüségénél fogva ugyanolyan intenzitással sugárzik,mint egy azonos méretü szilárd test már 5000 fokos hőmérsékletnél. Ez még mindig igen nagy elsugárzást jelent és termonukleáris reaktorok tervezőinek nagy gondot kell forditaniok ennek elvezetésére. Az elsugárzó energia főleg ultraibolya és röntgensugárzásból fog állni.

Tiszta deutérium-üzemanyagot használó reaktoroknál sokkal nagyobb aktiv magra van szükség. Ezek tehát csak nagyteljesitményü, helyhez kötött elektromos erőművekre lesznek alkalmasak.

Közvetlen energiafejlesztés

Thermonukleáris reaktorokat hőforrásként alkalmaznak majd gőz fejlesztésére, ami a szokványos körfolyammal gőzturbinák és generátorok segitségével elektromos áramot termel. Annak is megvan azonban a lehetősége, hogy elektromos áramot a termonukleáris reaktor közvetlenül fejlesszen, anélkül, hogy szükség volna a kis hatásfoku termikus ciklusra.

Erre G.I. Budker mutatott rá 1954-ben a Szovjet Tudományos Akadémia Atomenergia-Intézetében, aki ki is dolgozott egy ilyen elgondolást.

Ez a lehetőség azon alapszik, hogy a deutériumplazmában az összes energiának több mint kétharmada a töltött részecskék kinetikus energiájaként emittálódik. A töltött részecskéket a mágneses tér tartja össze és nem nehéz annak a belátása, hogy a részecskék kinetikai energiája közvetlenül elektromos energiává alakitható át.

Pulzáló elektromos áramot pl. a következő módon kaphatunk. Tegyük fel, hogy a plazmát a termonukleáris generátor tekercseiben folyó áram által keltett külső mágneses tér tartja össze. Ha ezt a teret kissé növeljük, a plazmára gyakorolt nyomás nő, igy sürüsége és hőmérséklete tovább emelkedik. Ez viszont felgyorsitja a termonukleáris reakciót, ami a plazmát ismét tovább heviti. A plazma kezd kiterjedni, miközben lehül és kiszoritja a mágneses teret a reaktor térfogatából. Mágneses erővonalak mennek át a tekercseken és ezekben elektromos áramot indukálnak. Bizonyos fokon ennek az áramnak energiája nagyobb lesz, mint a plazma összetartására forditott energia.

A mai napig elért fejlődés

Vezérelhető termonukleáris reaktorok kifejlesztésével kapcsolatos munka kb. majdnem ugyanabban az időben kezdődött a Szovjetunióban, Angliában és az Egyesült Államokban. 1950-ben A.D. Akharov és I.E. Tamm akadémikusok javasolták az első mágneses termonukleáris reaktort, ami elinditotta az ilyenirányu kutatást a Szovjetunióban. Ezután ez a munka többirányban folyt és a Szovjetunióban jelenleg több kutató és mérnöki csoport foglalkozik ezzel a problémával.

A Szovjetunió Tudományos Akadémiájának Atomenergiaintézetében L. A. Artsimovich és M. A. Leontovich által végzett ilyenirányu munka eredményeit 1956-ban tettük közzé. Kutatásuk folyamán ritkitott deutériumot hevitettek un. gyors folyamatok segitségével egy millió fok feletti hőmérsékletre egészen két millió amperig terjedő elektromos áram alkalmazásával, mikoris sikerült neutronkibocsátást észlelniök.

Az elmult hat hó folyamán a Brit Atomenergiabizottság jelentette, hogy Harwell-ben elkészült és üzembe is helyezték a ZETA termonukleáris kisérleti berendezést. A ZETA tervezése kiváló, és angol fizikusok máris kisérletsorozatokat hajtottak végre a készüléken. Az elért eredmények azonban még nem elégségesek ahhoz, hogy tiszta képet nyujtsanak a kamrán belüli folyamatok tekintetében.

Mi a Szovjetunióban is kisérletezünk toroid alaku kamrákban végbemenő gázkisülésekkel, az általunk alkalmazott tipus azonban némileg különbözik az angoltól. Ezt a munkánkat az Atomenergia Békés Felhasználásával kapcsolatos II. konferencián, Genfben kivánjuk ismertetni.

A ZETA-ról kiadott jelentéssel egyidőben megjelent amerikai cikkek alapvetően uj tényt nem közölnek. Az Egyesült Államok fizikusai neutronemissziót észleltek nagyintenzitásu kisüléseknél, de a cikkekben ismertetett emissziós intenzitások jóval kisebbek, mint a Szovjet Atomenergia Intézetnek fizikusai által elért intenzitások. Ezek a cikkek azonban nem mérvadók az USA-ban folyó ilyenirányu kutatómunka mértékére nézve, ahol a szabályozható termonukleáris reakciók tanulmányozása legalább öt nagy tudományos központban folyik. Több mint 500 tudós, beleértve olyan kiváló fizikusokat, mint Tellert, az amerikai H-bomba atyját, vesz részt ebben a munkában.

Titkosság

Eddig a különböző országokban a termonukleáris reakciók körüli kutatások nagyrészt titkosak voltak. Termonukleáris reaktorok nemcsak békés, hanem katonai célokra is felhasználhatók, hogy nukleáris fegyverekhez hasadó anyagot, plutoniumot és urániumot termeljenek. Nehéz teljes nyiltságot várni a termonukleáris problémával foglalkozó kutatóktól a különböző országokban mindaddig, amig az atom- és hidrogénfegyvereket be nem tiltották.

x x x

AZ ARGENTIN MAGFUZIÓS KISÉRLETEK UJ MEGVILÁGITÁSBAN

W. Ehrenberg

Atompraxis, 4/4, 138 /1958/

Összefoglalás: Szerző, - aki a résztvevő személyeket és a körülményeket közvetlenül ismeri - vázolja R i c h t e r 1950/51-ben Argentinában végzett magfuziós kisérleteit.

Az olvasók közül legtöbben még emlékeznek arra, hogy 1951-ben a Dr. Ronald RICHTER által kidolgozott termonukleáris reaktorra vonatkozó argentinai hiradás visszhangja általában az volt, hogy ilyenfajta kisérleteknek nincs értelme, önfenntartó magfuziós-zóna létrehozásához Nap-méretekre volna szükség. Azóta a szakemberek állásfoglalása ebben a kérdésben alapvetően megváltozott, amint ez E. H. Graul: "Szabályozható termonukleáris reaktorok, - a jövő megvalósitható energiaforrása" cimü munkájából kitünik. Mindez azonban még nem segitette elő Richter munkájának helyesebb értékelését. Elterjedt az a téves felfogás, - s ez visszahatás volt a sajtó 1951-ben napvilágot látott eltulzó hireszteléseire, melyeket politikai érdekek is támogattak - hogy Richter a magfuzió terén nem ért el eredményeket. Tény azonban, hogy R. Richter már 1949 előtt olyan uton haladt, mely az azóta máshol publikált eredmények megvilágitásában a legnagyobb figyelemre tarthat számot.

Az a kisérleti berendezés, melyet Richter 1950-51-ben Barilocheban különböző argentin kormányképviselőknek bemutatott, s amelyet azok helytelenül értelmeztek, - amennyire látni lehetett - lényegileg egy nagy induktivitásu, ivfénygerjesztő egyenáramkörből állt, melynek ellenállását hirtelen felfokozza egy keresztirányu mágneses tér utólagos beiktatása. Ezt, miközben az emissziós maximum egyidejüleg a látható szinkép ibolya-végén tulra tolódott el, egy rendkivül nagy fényerejü gömbzóna keletkezése kisérte, mely a két elektróda és az azokra merőleges két mágneses sarok között körülbelül a középen a térben szabadon lebegett, s amelyből erős hang- és ultrahanghullámok és mintegy másodperces időközökben váltakozó erősségü plazmaerupciók in-

dultak ki. /Richter 1950 elején bemutatott nekem egy filmfelvételt egy ilyen, még 1949-ben Cordobában végzett kisérletről/. A kb. 200 V üzemfeszültségnél keletkezett iváram, mely előbb mintegy 200 Amp. erősségü volt, a nagy indukciós feszültség következtében a mágneses tér beiktatása utáni első másodpercekben nagyságrendileg megtartotta ezt az intenzitásértéket és kb. 10 másodperces közepes lecsengési idő mellett kb. 20 Amp.-re csökkent le. A szikraköz eközben 100 kWs nagyságrendü indukciós energiára tett szert, amely elegendő lenne több liter plazmának a Post /2/ szerint szükséges 100 keV "kinetikus hőmérsékletre" való felhevitéséhez 1000 Atm mágneses kompresszió mellett. Két db, egyenként 1 m^3 térfogatu, hornyolt vasmagokat tartalmazó mágnestekercs, mely az indukciós folyamat elsimitására szolgált, egyben energiatároló volt a kisülési körben.

Ennek a keresztirányu mágneses térnek alkalmazása, mely a szikraköz ellenállását és egyben energiafelvevőképességét növeli, - ellentétben az általában javasolt hosszirányu mágneses térrel /3/,avagy pusztán a kondenzátorkisülés saját terével /4/ - egyben megoldotta a plazma veszélytelen felhevitésének problémáját is. Azt, hogy erre egy kondenzátor kisülése nem igen alkalmas, Richter már 1950-ben látta /5/. Felfogását igazolták az azóta végzett amerikai /6/ és orosz /7/ nagyméretü kisérletek, melyeknél a befektetett energiának csak egynéhány ezredrésze volt hasznositható a plazma felhevitésére. Ennek oka az, hogy egy normális gázkisülés saját ellenállása tul csekély, s egy hosszirányu mágneses tér sem tudja jelentősen befolyásolni.

A Richter-féle kisérleti telepnek 1952. végén, tehát mindössze háromévi fennállás után történt bezárását, - amint azt annakidején Buenos-Airesben megállapitottam - éppugy,mint az azt követő, Richter ellen irányult rágalomhadjáratot, "pszihológiai tényezők" idézték elő.

Az 1955. évi Genfi Atomenergiakonferencián közölt idevágó orosz és amerikai eredmények ugyszólván kizárólag ütközési kisérleteken alapultak, az ugynevezett "pinch-effektus"

is, amint azt Allen /8/ bebizonyitotta. Ütközési folyamatoknál azonban, a szabad uthosszak figyelembevételével, csak hidrogénbombaméretek mellett lehet pozitiv az energia-mérleg, igy tehát szabályozott termonukleáris energiatermelés szempontjából az ütközési folyamatok zsákutcát jelentenek. Erős a gyanu, hogy az amerikai és orosz titkos tervekkel kapcsolatos szükszavu közlésekben éppen a "pinch" effektusnak oly erős hangsulyozása leplező manőver, mely el akarja terelni a figyelmet sokkal jobb kilátásokkal kecsegtető elgondolásokról.

Ugyancsak Richter mutatott rá először 1952-ben arra - és ezirányban a szerző végzett kisérleteket - hogy a nehézviz dusitás, vagyis részleges desztilláció utján /9, 10/ termonukleáris energiaforrásként alkalmazható. Az eljárást azóta Du Pont technikailag tökéletesitette, s erről az irodalom 1955-ben már be is számolt /11/.

x x x

BESUGÁRZÁS HATÁSÁRA KÉPZŐDŐ RÁÉGETÉSES KOPOLIMEREK EGY UJ TECHNOLÓGIAI ELJÁRÁS?

Donald J. Metz
Brookhaven National Laboratory
Upton, New York

Nucleonics 16/4, 73 /1958/

Különleges plasztikanyagok sugárzás segitségével való előállitása uj technológia alapját képezheti. Az ipari termelésben máris alkalmazzák a besugárzást polimerek keresztkötődésének elősegitésére és fizikai jellegzetességeik javitására. Laboratóriumban előállitott kopolimerek sugárzás hatására hasznos tulajdonságokra tettek szert, mint ioncserélők, hőálló dielektrikumok és vízhatlan műszálak. A felületre való ráégetés /oltás/ megadja annak a lehetőségét, hogy az egyik plasztikot felhasználjuk a másik beboritására és védelmére éppugy, mint ahogyan a galvanizálás védi a fémeket.

Sugárzás által szerves polimerekben előidézett változásokat általában szabad gyök mechanizmussal értelmezik. A fellépő reakciók a szabad gyökökkel reakciót létrehozni képes idegen részecske jelenlététől vagy hiányától függnek.

Ilyen részecske hiányában a főbb reakciók a keresztkötődés, és gázképződéssel, valamint telitetlennéválással járó lebomlás. Ha oxigén van jelen, peroxid és hidroperoxid csoportok képződhetnek.

Ezek a csoportok alkalmasak további bomlásra, ami az eredeti anyag szerkezetének és tulajdonságainak megváltozásához vezet.

Ha monomer van jelen, összeégetett kopolimerek képezhetők. Ezeknek egyes tulajdonságai igen nagy technológiai lehetőségeket rejtenek magukban. Az ezzel kapcsolatos kutatás azonban még gyermekcipőben jár, ugyhogy nem rendelkezünk elég adattal, hogy a különböző kisérleti paraméterek variálásának hatását részletesen ismertethessük.

A sugárzás hatása összességében a szabad gyökök és a közegben előforduló kémiai reagensek számától függ, amelyet viszont a közeg természete, hőmérséklet stb. szab meg. Ha a szerves molekulát rádióaktiv sugár éri, akkor főleg két reakció, éspedig ionizáció vagy gerjesztés léphet fel. Ez a két folyamat a pályaelektronokkal való közvetlen, vagy közvetett kölcsönhatás következménye. Az ionizált és gerjesztett molekulák felezési ideje nyilvánvalóan olyan rövid, hogy közvetlenül nem vesznek részt a reakcióban. A töltés semlegesitése után a kovalens kötések majdnem azonnal felszakadnak. A disszociáció homolitikus, amennyiben az egyik elektron az egyik, a másik pedig a másik töredék résznél marad. A keletkezett aktiv részecskék terjesztik tovább a reakciót.

Az aktiv molekula szabad-gyök mivoltára vonatkozólag bizonyitékot szolgáltat pl. metil-metakrilát és stirol monomerek keverékének kopolimerizációs viselkedése, sugárzásos polimerizáció gátlása ismert szabad-gyök gátlók által, valamint a reakció termékek és a reakció kinetikájának szabad-gyök mechanizmussal való sikeres értelmezése. Ennél pozitivabb igazolást

jelent továbbá az elektron paramágneses rezonanciája segitségével szabad gyökök kimutatása besugárzott polimerekben és kis hőmérsékleten besugárzott kristályos monomerekben.

Ezek a szabad gyökök a következő reakciókat hozhatják létre, főpolimerlánc felszakadása, polimer oldalláncának felszakadása, keresztkötődés, gyökök arányának megváltozása, oxigén bekötődés, monomerek egymásutáni bekötődése stb. Ez a felsorolás nem teljes, de a kisérletileg megfigyelt molekulák több fajtájának képződését fenti reakciók magyarázzák.

Egymásra égetett polimereket ugy kapunk, ha egy második polimer láncot égetünk rá egy meglévő polimer molekulára. Az egymásra égetett kopolimerek több szempontból különböznek a szokásos kopolimerektől, az előbbiek mintegy a két polimer lazán megkötött keverékének tekinthetők. Igazi keverék, vagy oldat termodinamikai szempontból nem stabil, a kémiai kötődés viszont megszünteti az instabilitást.

Polimerek egymásraégetése sugárzás segitségével többféle módon történhetik. 1. Egy A polimer tiszta B monomerben feloldható vagy szuszpendálható és ezután besugározzuk. 2. A polimer felduzzasztható B monomerrel, majd ezt a felduzzadt tömeget sugározzuk be és homopolimert extrahálunk. 3. Az alap A polimer levegőben, vagy oxigénben besugározható, hogy a láncok mentén peroxidos és hiperoxidos csoportok keletkezzenek. Az igy keletkezett rendszer ezután B-be mártható és az aktiv csoportok gyors szétesése céljából hevitjük, mikoris ezek az egymásraégési folyamat kiindulópontjaivá válnak. 4. Ha A-t oxigén jelenléte nélkül sugározzuk be, akkor szabad gyökök keletkeznek és fogva maradnak a polimerben. Ha most B-t adunk hozzá, lehetőleg oxigénmentesen, a szabadgyököknél bekövetkezik az egymásraégés.

Több sokatigérő anyagot nyerhetünk polimerek egymásraégetése segitségével. Ezek között első helyet foglalnak el ioncserélő lemezek, melyeket stirolnak polietilénre való égetésével, majd stirol szulfonálásával kapunk. A két anyag tulajdonságai összetevődnek. A polietilén jó szakitószilárdsággal és hajlékonysággal rendelkezik és ezért igen vékony lemezekbe nyujtható, vagy hengerelhető. A polistirol ezzel szemben tö-

rékeny, de szulfonálható, és igy ioncserélőközeggé válik. Egymásraégetéssel erős, hajlékony lemezt kapunk, mely szulfonálható.

Vinyl-carbazol-polietilén kopolimer mint nagy hőálló dielektrikum kerülhet alkalmazásra, készitése hasonló módon történik, mint a fent leirt kopolimer ioncserélő lemezé. Az uj termék kombinálja a polivinyl-carbazol kis dielektromos veszteségét a polietilén hajlékonyságával és szakitószilárdságával. Olyan hőmérsékletek mellett alkalmazható, melyek nagyobbak annál, mint amit a polietilén elbir, és alacsonyabb hőmérsékleteknél, mint ahol már csak teflon alkalmazható.

Co-60 besugárzással a kereskedelmi forgalomban kapható nylon szöveteknél értek el nagyobb foku vizhatlanságot, ha besugárzás után stirolban és cetánban áztatták.

x x x

A BRIT EGYESÜLT KIRÁLYSÁG ATOMENERGIA PROGRAMJÁNAK TOVÁBBI FEJLŐDÉSE

Sir John Cockcroft

Atom Industry, 6/4, 4 /1958/

Első előadásomat az atomenergia fejlesztéséről 1955-ben, három hónappal a Kormány által kibocsátott Fehérkönyv megjelenése után tartottam. Ez a Fehérkönyv ismertette a Kormány terveit 1500-2000 megawatt teljesitményü villamosenergia, atomerőmüállomások révén való előállitásának 1965-ig történő megvalósitására vonatkozólag. A Fehérkönyv szerint ez a program csak ideiglenes előirányzatot jelentett, amely idők folyamán változásokon mehet át, mivel uj müszaki eredmények esetleg az erőművek teljesitménye terén gyorsabb haladást hozhatnak létre, mint ahogyan azt eredetileg feltételezték. Ez bölcs előrelátásnak bizonyult, amit igazol a teljesitményben és az egész programban az utolsó három évben beállott változások sora, melyeket előadásom folyamán ismertetni kivánok.

Az első fontos változást jelentette az egyes erőműállomások teljesitményében mutatkozó emelkedés. A Fehérkönyv eléggé tartózkodóan ugy becsülte, hogy két reaktoros erőmü teljesitménye a Calder Hall-beli 70 megawattról 100-200 megawattra emelkedik. Ezt a becslést jóval tullépik Berkeley, Bradwell, Hunterston és Hinkley Point erőmüvek 275, 300 és 500 megawattra tervezett teljesitményei. Ilymódon a programban előirányzott összteljesitmény is alaposan megnőtt, és 1966-ra ezidőszerint 5000-6000 megawatt összteljesitményü erőmüvek felépitését tervezik.

Calder Hall-hoz viszonyitva a teljesitmény növelését tervszerü müszaki fejlesztés utján értük el. Először is a reaktor méretének és az uránium tápanyag mennyiségének megfelelő növelésével, másodsorban azzal, hogy kb. megkétszereztük az egy tonna urániumból kivont hő mennyiségét. Ezt a hatásfok növelést az eredményezi, hogy a tápelemek felületi hőmérsékletét sikerült 410°C-ról kb. 425°C-ra emelni a széndioxid hőátviteli gáz nyomásának 50 %-os emelésével és a hőátviteli felület tökéletesitésével. A végső eredmény pedig az, hogy fokozatosan csökkent az 1 kilowattra eső beruházási költség.

Amig ezek a tervek készültek, technológiai ismereteink lényegesen bővültek, jóllehet ilyen gyorsan fejlődő területen a tervezés elkerülhetetlenül előrelátja a technológiában később bekövetkező haladást.

Technológiai ismereteink bővülését főleg a Calder-Hall üzemi tapasztalatoknak köszönhetjük, melyeket az elmult 22 hónap alatt szereztünk. Ezek a tapasztalatok feltünően jók voltak. A Calder Hall reaktorokat 180 megawattos termikus és 35 netto villamos megawatt teljesitményre terveztük. Ezek a teljesitményszintek könnyen megemelhetők 10 %-kal. Az üzemeltetés igen rugalmasnak bizonyult. A teljesitményszint percenként 10 termikus megawattig terjedő mértékben növelhető, jóllehet az üzemi sebességet általában ennek a felére állitják be. A teljesitményszint tehát egy félóra alatt 30 MW-ról 180 MW-ra emelhető. Az üzemi terhelési tényezők elég nagyok voltak és a második Calder-reaktor a teljes energiának megfelelő terhelési tényezőt ért el, amely nagyobb, mint amit a szokványos erőmüvek

elérnek. A legfőbb technológiai bizonytalanságok Calder-Hallban akörül voltak, hogy miképpen válnak be a tápelemek és milyen mértékben lép fel vegyi reakció széndioxid és grafit között sugárzás jelenlétében. A tápelemek teljesitménye képezi minden reaktor-teljesitmény kulcsát.

A Calder-reaktorok voltak az elsők, melyeknél a sugárzás okozta deformálódást tapasztalni lehetett, melyet Dr. Cottrell Harwellben rövid idővel megrendelésük előtt megjósolt. A hasadási termékeknek az urániumon való áthaladása által okozott helyi igénybevétel 100-szorosan kisebb igénybevételnél, mint neutron sugárzás nélkül, már deformálódást idéz elő. Calder Hall-ban hat tápelemet raktak sorba egymás fölé, ugyhogy a legalsó rudak erősen terheltek támfaszerüen és megnyulás következtében elhajlanak. A tapasztalat igazolta a Cottrell effektust és merevitő rudak felszerelése vált szükségessé ennek kiegyensulyozására.

Ettől a tapasztalattól eltekintve a tápelemek jól beváltak. 27 havi üzemeltetés alatt az 1. sz. reaktor első töltéséből 10000 közül csak háromnál mutatkoztak csekély meghibásodások a burokban. Ennek következtében a széndioxid lassan beszivárgott, ami az uránium fém lassu oxidációjához és ennek megfelelően radioaktiv hasadási termékek kidiffundálásához vezetett. Ezt mindenegyes tápcsatornát radioaktiv kiszivárgás szempontjából ellenőrző elektronikus készülékek detektálják. Hibás tápelemet nem kell sürgősen cserélni, elég ha ez a rendes karbantartást célzó leállitás alkalmával történik. Általában elég nehéz a hibát a tápelemen felfedezni. Ugylátszik, hogy a tápanyag igen lassu kiterjedése eléggé megfesziti a magnox burkot ahhoz, hogy ilyen hibák kifejlődhessenek. Ezt a magnox nyujthatóságának növelésével akarjuk elkerülni. A második Calder Hall reaktorral tapasztalataink nagyjában hasonlók voltak. Mindenesetre mindeddig tapasztalataink csak olyan sugárzási behatásokra terjedtek ki, melyek csak ötöd-részben akkorák, mint amilyeneket az Elektromos Főigazgatóság többi reaktoránál várhatunk.

Az Elektromos Főigazgatóság reaktoraiban a tápelemek üzemi hőmérséklete jóval nagyobb lesz. A tápelemek élettartamát várhatóan az a belső nyomás szabja meg, melyet a hasadási gázok fejtenek ki. Ezek kis buborékokban gyülnek össze, melyekben többszáz atmoszférára terjedő nyomás alakulhat ki. 450-600 fok C hőmérsékletnél az uránium igen plasztikus és a belső nyomás olyan térfogatkiterjedést eredményezhet, amely egészen 10 %-os nagyságrendü lehet 3000 MW nap per tonna igénybevételnél a kiterjedés tényleges mértéke függ a metallurgiai hibáktól, mint zárványoktól, nyulási szilárdságtól és egyéb tényezőktől. A magnox burkot ezért ugy tervezik, hogy ilyen kiterjedésekhez alkalmazkodjék. A Calder reaktorokban a polgári reaktorok tápelemeinek sorozatos próbáját vették tervbe. Ezeknek a reaktoroknak kisérleti csatornáiban a lehetőséghez képest létrehozzák az épitendő reaktoroknak megfelelő feltételeket.

A második bizonytalanság Calder Hall-ban a CO_2 - grafit reakciók mértéke, ami szénmonoxid keletkezéséhez vezet. Ezzel az effektussal kapcsolatban kisérleteket folytattak Harwellben a BEPO reaktor hütőköreiben. A monoxid-képződés sebessége Calder Hall-ban jó megegyezést mutat a Harwell-ben folytatott kisérletek eredményeivel, és nem jelent különösebb problémát.

Az Atomenergiahatóság erősen dolgozik azon, hogy biztositsa Calder Hall és az Elektromos Igazgatóság jövő reaktorainak mindenkori biztonságos üzemeltetését. A Windscale-i baleset a grafitban felhalmozódó energiára összpontositotta a figyelmet. Amint a grafitot a reaktorban gyors atomok bombázzák, a szénatomokat kimozditják a grafitrácsban elfoglalt rendes helyükről, és ezek rácspontok közti helyre kerülnek. Amikor ezek az atomok visszatérnek üres rácsponthelyekre, a lekötött potenciális energia felszabadul. Az energia ilyetén felhalmozódásának mértéke kifejezetten attól a hőmérséklettől függ, amely mellett a besugárzás történik. Minél nagyobb a hőmérséklet, annál kisebb a grafitban lekötött energia felhalmozódási sebessége, mivel némi önizzás lép fel.

A lekötött energia ugy szabaditható fel, hogy a grafit hőmérsékletét normális üzemi hőmérséklete fölé emeljük. Az energia

ekkor a hőhullám terjedésével, elég lassan, kb. egy nap alatt szabadul fel. Ha ez a hütő áramlásával egyidejüleg történik, a hőmérséklet emelkedése nem számottevő. Ha ez azonban adiabatikus feltételek mellett, hütőáramlás nélkül következik be és a lekötött energia tullépi a specifikus hőt, a hőmérséklet erősen emelkedik.

Az Elektromos Igazgatóság reaktorainál a legalacsonyabb grafit-hőmérséklet kb. 20 fokkal magasabb lesz, mint Calder Hall-nál, ugy hogy sokkal később válik szükségessé a kiizzitás és megközelitheti a reaktor feltételezett 20 éves élettartamát is.

Egy másik biztonsági probléma a reaktor tranziens viselkedése az üzemi feltételekben fellépő zavarok következtében, mint amilyen a CO_2 cirkulátorok villamosenergiaellátásában fellépő hiba. Biztosaknak kell lennünk abban, hogy ilyen zavarok mellett a tápelemek hőmérséklete nem emelkedik tulságosan, és nem érheti el a magnox ötvözet olvadási pontját, ami kb. 650 C^{o} körül van. Eredetileg a Calder tipusu reaktorok reaktivitásának negativ hőmérsékleti koefficiense van. Ez azt jelenti, hogy a tápelemek hőmérsékletének emelkedésével a többletneutronok száma csökken, tehát a reaktivitás is csökken és automatikusan igyekszik csökkenteni a hőmérsékletemelkedést. Amint azonban a láncreakció folytatódik, az U-235 hasad és helyét részben plutonium foglalja el, mely már más nukleáris sajátságokkal rendelkezik. Ennek az a következménye, hogy a reaktor tranziens karakterisztikái megváltoznak. A tervezőnek gondoskodnia kell arról, hogy a reaktor vezérlő rendszere és a szivó-fuvó berendezés karakterisztikái számoljanak ezekkel a változásokkal.

További fontos biztonsági kérdés a nagynyomásu dob tökéletes épsége. Gyártás közben minden egyes hegesztést külön rádiógráfiának vetnek alá és az egész dobot mentesitik mindennemü feszültségtől. Óvakodnunk kell azonban az acél nyulékonyságában neutronbombázás következtében fellépő változásoktól. Az acélnál a rideg törés átmeneti görbéjéről ismeretes, hogy neutronbombázás behatására nagyobb hőmérsékletek felé tolódik

el, és vigyáznunk kell arra, hogy az átmeneti hőmérséklet ne emelkedjék az üzemi hőmérséklet fölé. Igy a nagynyomásu dobon belül acélmintákat helyeznek el, melyeket időnként kivesznek ellenőrzés céljából, hogy a tulajdonságokban bekövetkezett változásokat megállapitsák. Gyorsitott próbák ezzel kapcsolatban a DIDO-nál is folyamatban vannak.

Ezenkivül igen fontos biztonsági követelmény az is, hogy bármilyen hiba folytán kiszabaduló rádióaktiv termék ne juthasson a szabadba. A Calder Hall tipusu reaktorok zárt köre jelenti az ez ellen irányuló első védelmi vonalat. A CO_2 kiszivárgást napi 2 %-ra csökkentették, ugyhogy a szabadba történő szivárgás igen lassu lenne.

Arról is gondoskodni kell, hogy minden elszivó kört megfelelő szürőberendezés védjen, és ez alkalmas akármelyik hasadási termék legnagyobb részének kiszürésére.

Érdekes itt megjegyezni, hogy amennyiben a Windscale szürők permeabilitása 10-szer kisebb lett volna, akkor nem lett volna aggodalomra ok a baleset után, melyet a rádióaktiv jód kiszivárgása és az ebből eredő tejfertőződés okozott - még annak a nagy tüznek ellenére sem, melyben kb. három tonna uránium oxidálódott. A Windscale ban tanult lecke segitségünkre lesz abban, hogy a jövőben gondoskodjunk az atomenergiafejlesztés tökéletesebb biztonságáról.

A reaktorok jövő fejlődése

Az 1955. évi Fehérkönyv jelezte, hogy a brit atomenergiaprogram második szakaszában esetleg folyadék-hütésü reaktorokat fog alkalmazni. 1955. évi előadásomban röviden foglalkoztam három lehetséges reaktortipussal a nagynyomásos és vizforraló reaktorokkal, illetőleg a folyékony nátrium-hütésü, grafittal moderált reaktortipussal.

Az utóbbi három évben részletesen tanulmányoztuk egy nátrium-grafit reaktor müszaki tervezési problémáit, és elméleti kutatásokat végeztünk a nagynyomásos vizzel hütött reaktorral kapcsolatosan.

A folyékony nátriummal hütött, grafittal moderált reaktortipusnál igen vonzó az, hogy igen magas kimeneti hütő hőmérsékletet ér el - kb. 500 fok C nagyságrendben; ennek megfelelően termodinamikus hatásfoka magas, kb. 37 %. A rendszer nyomása a cseppfolyós nátrium kis gőznyomása következtében alacsony, mig tonnánként legalább 10 megawattnyi hőteljesitmény látszik elérhetőnek kis átmérőjü urániumrudak halmazával, vagy urániumoxid tápelemekkel. Ilyen paraméterekkel tehát legalább 400 megawatt elektromos teljesitményt nyujtó reaktorok is épithetők.

Ezekkel az előnyökkel szemben a reaktor neutronökonómiája nem kielégitő részben a neutronoknak a nátrium által történő abszorciója miatt és a természetes U-235 tartalomnak legalább kétszeresére dusitott urániumra volna szükség a tápelemekben. Az üzemanyag tehát igen drága lenne.

Még ennél is fontosabbak azonban a reaktor kompatibilitási és biztonsági problémái. A cseppfolyós nátrium nem fér összze a grafittal, igy a tápelemeket körülvevő nagynyomásu csövekkel kellene azokat egymástól elválasztani. Ezeknek a csöveknek cirkoniumból, vagy annak egyik ötvözetéből kellene készülniök, mivel az acél tul sok neutront abszorbeál. A cseppfolyós nátrium rendkivül erősen korrózióokozó, ha az oxigénarány néhány milliomod fölé emelkedik, és a müszaki fejlődés mai fokán a beáramló és a cirkonium-csővel érintkező cseppfolyós nátrium nem lehet 350°C-nál magasabb hőfokon. A fő hütőkör számára a cseppfolyós nátriummal kompatibilis kissé ötvözött acélt kellene találni. Rozsdamentes acél tulságosan drága volna.

Végül felmerül a cseppfolyós nátriummal kapcsolatos karbantartási és biztonsági probléma. A nátrium rádióaktivitása kb. 100 millió curiet tenne ki, és jóllehet 15 órás felezési idővel bomlik, a legkisebb kiszivárgás hosszadalmas és nehézkes fenntartási problémákkal járna.

A nagynyomásos viz és vizforraló reaktorok képezik jelenleg az Egyesült Államok és a Szovjetunió atomenergiaprogramjának fő célkitüzéseit, ugy hogy ezekre is ki kell térnünk. Ezek jellemzője a kisméretü, nyomásalatti reaktor-tartály, melynek átmérője 3,5 méter, a Berkeley-beli 17.5 m és Bradwell-beli 24.5 méter átmérőjü gömbhöz viszonyitva. Az üzemanyag hő-

teljesitménye nagy, tonnánként kb. 20 MW /termikus/; igy már eleve kedvezőbb kalkulációs alapból indulnak ki. A Yankee Atomic Power Co. 140 MW erőmüve kW-ként kb. 130 fontba fog kerülni, kb. annyiba, mint az első CEA erőmüvek, de müszaki fejlesztés folytán a beruházási költségek egy kW-ra eső összege előreláthatólag 90 fontra fog csökkenni.

A vizzel moderált reaktoroknak az a hátránya, hogy dusitott urániumot igényelnek üzemanyagként. A Yankee Atomic Power Co. reaktora 2.6 %-os U-235 tartalomra dusitott urániumoxidot használ. USA árakon ez a dusitott üzemanyag kb. 100.000 fontos nyersanyagárat jelentene tonnánként, melyhez még tetemes gyártási költség is járul. A brit ár a természetes uránium üzemanyagnál tonnánként 20 000 font alatt van. Még akkor is,ha elérik a tonnánkénti 800 MW nap kiégést az üzemanyagköltség USA árak mellett kilowattóránként 0.2 penny felett lenne.

Bármely európai országban előállitott dusitott uránium még sokkal drágább volna, mint az Egyesült Államokban. Ez az USA diffuziós üzemeinek óriási méreteivel magyarázható - mindegyikük 2000 MW villamosáramot használ fel. Másrészt a villamosáram náluk rendkivül olcsó - kb. 4 mil/1 mil = ezred dollár/ - egy európai diffuziós üzem által a villamosáramért fizetendő árnak kb. egyharmada. Egy USA diffuziós üzem szerepét ugy tekinthetjük, mint ha az olcsó Kentucky-beli szenet palackoznák. Nyomásos-viz reaktorok üzemanyagköltsége országunkban kb. 0.35 pennyt tenne ki kilowattóránként.

Végeredményben azt mondhatjuk, hogy még a maximálisan lehetséges fejlődés esetén is a villamosáram bruttó bekerülési ára nyomásos-viz reaktoroknál igen kis valószinüséggel csökkennék le a kilowattóránkénti 0.7 penny alá. Nem foglalkozunk tehát ezzel a reaktortipussal nagyobb mérvü energiatermelés szempontjából. Az Egyesült Államokban kilátásai kedvezőbbek a dusitott uránium helyi olcsóbb ára miatt.

Éppen azért a fejlődésnek két irányával foglalkozunk. Először is a gázhütésü, grafitmoderátoros reaktort igyekszünk kifejleszteni a maximális lehetőségekig. Másodszor megvizsgáljuk azokat az esetleges előnyöket, amit az jelentene, ha moderátorként grafit helyett nehézvizet alkalmaznánk.

Az első ilyen programszerü munkát a fejlettebb gázhütéses reaktor tervének /AGR/-nek nevezzük. Az AGR célkitüzése a kilowattonkénti beruházási költséget tetemes összeggel - kb. 30 %-kal csökkenteni azáltal, hogy a tápelemek felületi hőmérsékletét kb. 600°C-ra emeljük. Ennek a segitségével, és kisebb átmérőjü tápelemekből álló kötegek alkalmazásával az átlagos hőteljesitményt tonnánként kb. 8 MW termikus teljesitményre kell emelnünk. Hogy lehetővé tegyük a tápelemek hőmérsékletének ilyen mérvü emelését, a fémes-uránium-üzemanyagról zsugoritott uraniumoxid tápelem alkalmazására térünk át. A zsugoritott UO_2 olvadáspontja kb. 2400 °C körül van. Efajta tápelemeket máris használnak a Westinghouse PWR-reaktorban, és a besugárzással szemben rendkivül stabilnak mutatkozik, az elért kiégés pedig tonnánként 8000 MW-ra is emelkedett. Az UO_2 tápelemeket valószinüleg berillium-tokba helyezik. Máris készitettünk berillium tokokat, melyeket hőellenállási és besugárzási próbáknak vetünk alá, az utóbbi a DIDO reaktorban történik.

Máris folytatunk kisérleteket egy zérusenergiáju NERO elnevezésü reaktorral, hogy az AGR reaktor nukleáris tulajdonságait megállapitsuk.

A jó hatásfoknak és az urániumoxid alkalmazásának megvan az ára is: az U-235 arányát némileg növelnünk kell. A nagyobb üzemanyagköltséggel szemben azonban a jobb sugárzásellenállás és nagyobb hatásfok tonnánként kb. kétszeres hőmennyiség elérését teszi majd lehetővé. Azt hisszük, hogy az összüzemanyagköltség végeredményben kb. ugyanaz lesz teljesitmény-egységenként, mint a reaktorok első nemzedékénél, azaz 0,16 penny /kWóra/.

A jobb hatásfok következtében azonban a beruházási költségnél kW-onként 80 fontot kellene elérnünk, ugyhogy az 1960-as évek vége felé várható 70 százalékos terhelési tényező mellett az összköltségnek le kellene csökkennie kilowattóránkénti 0.47 penny-re, amint azt Sir Christopher Hinton az Axel Johnson előadásában 1970-re megjósolta.

Egy sokatigérő másik reaktortipus a nehézvizzel moderált gázhütésü reaktor.

Ezzel a tipussal velejár annak a lehetősége, hogy kisebb méretü legyen a grafittal moderált reaktornál, ami kisebb beruházási költséget jelent, és ez nagyobb teljesitmény esetében /500 elektromos MW/kW-ként 80 fontot tenne ki. Az üzemanyag hőteljesitménye kb. azonos lenne a fejlettebb tipusu gázhütésü reaktoréval, az előnyös neutronökonomia folytán a nehézvizes reaktornál kisebb mérvü dusitásra van csak szükség, és igy az üzemanyagköltség kisebb volna, mint az AGR-nél.

Folyékony moderátor alkalmazásával kiküszöböljük az energiafelhalmozódási és oxidálódási problémákat és az a tény, hogy a moderátort hidegen tartjuk, csökkenti a reaktivitás hőmérsékleti koefficiensének problémáját.

Jelentős mennyiségü nehézvizre lesz szükség, ez pedig kW-onként 10-15 fonttal szerepel a 80 fontos beruházási költségben. A nehézviz ezidőszerint tonnánként 20 000 fontért kapható az USA-ban. Nehézviz előállitásának technológiájával Harwellben foglalkoznak néhány év óta, és reméljük, hogy hasonló áron sikerül majd országunkban és más európai államokban is nehézvizet termelni. Gazdaságossági szempontból mindent összevetve tehát, a nehézviz-gázhütésü reaktor azonos előnyökkel rendelkezik, mint az AGR.

A gázhütésü reaktor végső kifejlődésében a tápelemeknél fémtokok helyett mindenütt kerámiai anyagot fog alkalmazni. Ez lehetővé teszi, hogy a kimeneti gáz hőmérséklete kb. 700°C-ra emelkedjék, ami további hőteljesitménynövekedéshez vezet.

Az Atomenergiahatóság ezidőszerint elméleti kutatásokat folytat a nagyhőmérsékletü gázhütéses reaktorokkal kapcsolatban. Igyekeznek áthatolhatatlan kerámikus tokanyagot kifejleszteni a tápelemek részére; ez a tokanyag grafit, uránium és tórium keveréke. Zérus energiáju kisérleti berendezést épitünk Winfrith Heath-ben. Ez lehetővé teszi, hogy a reaktor nukleáris tulajdonságait nagy hőmérsékleteknél tanulmányozzuk.

A reaktorfejlődés végső fokán ott van a gyorsreaktor, melylyel az uránium hasznositását a termikus reaktor hasznositásának százszorosára kivánjuk emelni.

Mikor a gyors-reaktor-programba belevágtunk, egyáltalán nem látszott biztositottnak, hogy a rendelkezésre álló uránium-készletek lehetővé teszik egy nagyméretü atomenergia-program végrehajtását. Ma azonban már eljutottunk oda, hogy a Nyugat évi urániumtermelése több mint 30 000 tonna, és szükség esetén még sokkal többet lehetne termelni belőle. Ez több, mint amennyi bármely előrelátható atomenergiafejlesztési program ellátására az 1970-es évek végéig szükséges, igy már nem olyan sürgős a gyors-reaktor-tipus kifejlesztése. Azonban ahhoz, hogy elfogadhatóan olcsó áron tudjunk atomenergiával villamosáramot termelni, termikus reaktor erőmüvekkel, el kell tudnunk égetni ezek melléktermékét, a plutóniumot. Ezt ujra bevihetnénk a termikus reaktorok körfolyamába, vagy gyors-reaktorok tápanyagául szolgálhat. Lehet, hogy a gyors-reaktor bizonyul majd a leggazdaságosabbnak ebből a szempontból. Erre a kérdésre a Dounreay 60 MW /thermikus/ reaktor üzembehelyezése adja majd meg a választ.

A tervezés folyamán kezdtük csak igazán megismerni ennek a reaktornak bonyolult technológiai és biztonsági problémáit, igy csak kellő elővigyázattal és óvatosan járunk majd el az üzembehelyezés és fejlesztés terén, ugyhogy nem számitunk arra, hogy energiatermelési programunkban ez a reaktor az 1970-es évek előtt nagyobb szerepet fog játszani.

A fejlődés későbbi fokán fuziós reaktorok foglalják majd el talán a hasadási reaktorok helyét; végső célunk az, hogy a deutérium fuziós reakciójából nyerhető energiát hasznositsuk. Hiszen ez többezer millió év óta igen jó energiaforrásul szolgált a Nap és csillagok számára; és amennyiben sikerül ezek energiatermelését a Földön utánoznunk, nemcsak hogy kimeríthetetlen, olcsó üzemanyagforrásra teszünk szert, de büszkék lehetünk arra, hogy megoldottuk korunk egyik legkáprázatosabb tudományos problémáját.

E feladat megoldása felé ZETA az első, bár igen biztató lépés. Biztató azért, mert a kezdeti teljesitmény igen nagy lehetőségeket rejt magában és hozzákezdhetünk a tervezéshez 100

millió fok esetére, mikor a fuziós reakciók energiatermelése megközeliti a reakciók létrejöttéhez szükséges energiát. Négy éve ez még hihetetlennek látszott.

x x x

AZ URÁNIUM ÁRALAKULÁSÁNAK MAI HELYZETE

Dr. E. Kruse
Die Atomwirtschaft, 3/No.4, 168 /1958/

Az urániummal való kereskedelem legtöbb országban állami monopólium, s igy az állam meglehetősen önkényesen, nem mindig gazdasági szempontok szerint szabhatja meg az árakat. A nyugati országok közül döntő befolyást gyakorolnak világgazdasági viszonylatban az "atomnagyhatalmak": az USA, Nagy-Britannia és bizonyos tekintetben Franciaország. Ezek az országok jelenleg a legnagyobb urániumfogyasztók, de egyben a legnagyobb uránium-szállitók is, egyrészt, mert maguk is előállitanak urániumot, mint az USA és részben Franciaország, másrészt mert régi szerződések alapján rendelkezésükre áll a Föld legnagyobb urántermelő vidékei: Kanada, Dél-Afrika, Belga-Kongó urániumhozamának tulnyomó része. Az atomnagyhatalmak számára az uránium elsősorban stratégiai anyag, csak elenyésző mennyiségben kerül normális gazdasági forgalomba.

Az áralakulás vizsgálatánál tehát abból kell kiindulnunk, hogy keresleten és kinálaton alapuló, vagy legalábbis tulnyomórészt gazdasági tényezők által irányitott szabadpiac csak akkor alakulhat ki, ha a katonai szükséglet hosszabb időre fedezve lesz. De sok tény mutat arra, hogy bizonyos telitettségi fok máris bekövetkezett, s a katonai szükségletek talán hamarabb kerülnek a polgári szükséglet mögé, mint sokan gondolják. Ezeken a tényezőkön kivül azonban természetesen az előállitási költségek képezik az árkalkuláció alapját. Az uránium árelemzését három részletkérdésre kell felosztani:

1. Mibe kerül a nyersanyag, az urániuméro?

2. Milyen költségekkel jár a kész atomüzemanyag előállitása /tápelemekké való feldolgozás nélkül/, annak szem előtt tartásával, hogy teljesitményreaktorok céljára az atomüzemanyaga legelőnyösebb alakja jelenleg az urániumfém.

3. Mennyivel emelkedik az urániumfém ára urániumizotópok szétválasztása és U-235-ben dusitott atomüzemanyag előállitása esetén?

Urániumérc

Az árhelyzet már itt is bonyolult, mert csupán a mult év óta érezhető némi lazulás a lelőhelyek, kitermelés és szállitások adatainak titokbantartása terén. A nagy államközi szállitási szerződések anyagából legfeljebb az "átlagárakat" közlik, az áralakulásra döntő egyéb adatokat /szállitott urániummennyiség, urániumtartalom stb./ nem. Egyáltalán nem ismeretesek például a Kanada és Nagy-Britannia között az 1962-63. évre kötött urániumszállitási szerződésnek áradatai.

Áttekinthetetlen az árhelyzet azért is, mert az amugyis igen különböző ércek, ill. érckoncentrátumok előállitási költségeit állami támogatás is módositja. Utoljára, de nem utolsó sorban az is közrejátszik, hogy a jövő urániumtermelés és szükséglet felbecsülése igen különböző becslésekre támaszkodik. Igy nem csoda, hogy még nemzetközi szervezetek is, mint az OEEC vagy az Euratom hatóságai olyan régi, nem reális árakat emlegetnek urániumércre és már használatkész atomüzemanyagra vonatkozólag egyaránt, hogy legtöbbjüket gazdasági szempontból már nem is veszik komolyan.

Ami a piaci helyzetet illeti, ugy látszik, hogy az 1963-1970 közötti időszakban - amidőn már nagy számban fognak atomerőmüvek müködni - nem hiánnyal, hanem fenyegető tultermeléssel kell majd számolni. Ez a nézet három jelenségen alapul:

1. Jesse C. Johnson, az USAEC Nyersanyagosztályának igazgatója, 1957 októberi előadásában közölte, hogy az Egyesült Államok kormánya nem szándékszik tovább bőviteni az uránium-bányászatot. Az Egyesült Államok urániumiparának szakemberei a kongresszus előtt bejelentették, hogy egyes bányák máris jelen-

tősen csökkentették a fejtési munkálatokat, s munkáselbocsátásokra került sor.

2. Johnson további bejelentése szerint az USA fennálló szállitási szerződésein tulmenően nem vásárol több uránium-ércet külföldön, sőt a Kanadából 1963-ig lekötött urániumkoncentrátum-mennyiségről is lemondott Anglia javára.

3. Dél-Afrikában a Combined Development Agency elutasitott egy aranyurániumtelep urániumhozamának átvételére vonatkozó ajánlatot.

Az USAEC a nyugati országok 1957. évi urániumérctermelését U_3O_8 - tartalomban kifejezve 19 300 tonnában adta meg, valószinüleg alacsonyan, hiszen az AEC saját közlése szerint az USA urániumérctermelése 1957-ben, a külföldről behozott mennyiséggel együtt egymaga 18 000 tonna U_3O_8-at képvisel. A fogyasztás alapján sokkal valószinübbnek látszik, hogy a nyugati országok 1957. évi termelése 21.000 tonna volt.

Szó van arról is, hogy az AEC az Egyesült Államok uránium-koncentrátum-feleslegét az Európai Atomközösségnek és a brit Atomenergiaprogramnak adná át.

Mindez feltehetően előbb-utóbb ki fog hatni az uránium árára. 1957-ben az AEC belföldi termelőknek kg-onként 23 dollárt fizetett "sárga érc"-ért. Ezzel szemben külföldi vételeknél, például belga-kongóbeli uránkoncentrátumért minden kg U_3O_8 után csak 15,4 dollárt fizetett. Nagy-Britannia ujabb keletü szerződései alapján feltehetően ugyanilyen áron vásárol, sőt az Angol Atomenergiabizottság a rodéziai körökkel létesitett szerződés keretében az 1962-ig szállitandó első 5 tonna U_3O_8-ért kg-onként 14,8 dollárt fog fizetni. Ezek szerint, minthogy az USA vásárlásainak kb. 57 %-a import, az USA belföldi termelésből történő vásárlásait véve alapul, az árak rendkivül magasak lennének.

Az U_3O_8-nak urániumfémmé történő bérfeldolgozása

Az urániumkoncentrátumnak urániumfémmé való feldolgozása a lelőhelyektől függetlenül bárhol történhet, s ezért nemzetközi viszonylatban, főleg német szempontból igen érdekes magángaz-

dasági szektort képez; ha az urániumszállitás, feldolgozás terén fennálló politikai korlátozások többoldalu szerződések kialakulásával remélhetőleg lassan megszünnek, ugy ezen a téren várható a legélesebb nemzetközi verseny kifejlődése is. Ezért ebben a vonatkozásban is meg kell vizsgálnunk a költségek alakulását.

Az USA-ban az érckoncentrátum feldolgozását az AEC megbizásából egyre nagyobb mértékben a magánipar végzi, a nyersanyagot az AEC szállitja, s az urániumfémet vagy maga veszi át, vagy irányitja annak elosztását. Minthogy a feldolgozóipar állami támogatásban részesül, itt sem tünik ki világosan az urániumfém áralakulása. Az AEC által kovácsolt, természetes uránium-rudakért fizetett árból következtetve, s hitelesnek látszó USA-közlések alapján a bérfeldolgozás kg-ként kerek számban 20 $-nak adódik. Ezt az árat azonban csak az amerikai feldolgozóberendezések méretei mellett lehet valóságos árnak tekinteni, ezek kapacitása azonban egyelőre jóval meghaladja a nyugateurópai szükségletet.

Ezzel szemben az OEEC 1956 januárban közzétett adatai szerint "az urániumérckoncentrátumnak urániumfémmé való átalakitása uránium-kilogramonként kb. 8,50 dollárba kerül". Ez az összeg nyilván csak a legfontosabb közvetlen költségeket tartalmazza, egyéb "mellékköltségeket", mint értékcsökkenés, kamat, kutatás, fejlesztés stb. nem, s ezenkivül igen nagy amerikai vagy angol üzemben történő urániumfeldolgozást vesz alapul, tehát nem reális.

Magán-iparvállalat természetesen nem dolgozhat ilyen kalkulációval. Teljes kereskedői kalkulációt kell készitenie, még abban az esetben is, ha esetleg már meglévő berendezéseket és adminisztrációt vehet kölcsönképpen igénybe. Emellett a Szövetségi Köztársaságban a tiszta előállitási költségeken kivül figyelembe kell venni:

a kisérleti és fejlesztési költségeket,
adókat /vagyon-, ipari hozam-, stb. adó/
biztositást /tüz-, stb./

értékcsökkenést /terep, üzemi berendezés, raktárhelyiségek, munkásellátási berendezések, általános épületek stb./

kockázati pótlék minden statisztikusan megfogható kockázatért, mint selejt, lopás, fejlesztési munkák, minőségi garancia stb.

a felépités és tervezés folyamán felmerülő mindennemü költségre, bérre stb. eső felépitési költség, beleértve az épités idejére eső tőkekamatot,

felfutási költségek, melyek tekintélyes összeget tehetnek ki, mert ilyen bonyolult berendezéseknél csak bizonyos idővel az első üzembehelyezés után érhető el a kapacitás teljes kihasználása,

eladási költségek, kereskedelmi vezetés, könyvvitel,

kamatok /idegen és saját tőke után/.

Általában az alábbiakat kell szem előtt tartani:

1. Bérfeldolgozásról van szó, ahol a megbizó szerzi be az érckoncentrátumot és viseli a feldolgozással járó, az uránium mennyiségének átlagosan 3 %-át kitevő veszteséget.

2. A kalkulációt egy meghatározott gyártási szakaszra állitják fel, s ennek a szakasznak végén a ráforditásokat és beruházásokat át kell vinni a tőkére. Ez azonban azt jelenti, hogy az előirányzott időn belül az egész berendezés-vagyon leirásra kerül.

3. A tőkeszükségletet szabad piaci gazdálkodásban szokásos módon kell fedezni.

4. A kalkulációnak figyelembe kell vennie az önköltséget, a tőkekamatot, s a minimális osztalékot az azzal kapcsolatos adókkal együtt.

5. Be kell épiteni a kalkulációba a kutatási- és fejlesztési költségeket.

Az ilyen alapon kalkulált magánvállalkozói árak valószinüleg mindenütt magasabbak az állami szervek által közölt áraknál.

U-235-ben dusitott tápanyag

Az uránium természetes izotópösszetételénél több U-235-öt tartalmazó atomüzemanyag előállitásában két fázist különböztetünk meg:

1. maga a dusitás,
2. a dusitott atomüzemanyag további feldolgozása tápelemekké.

A dusitás tulnyomórészt katonai célokra szolgál, főleg, ha erős dusitásról van szó, ezenfelül annyira költséges eljárás, hogy egyelőre az atomfegyvereket gyártó országokra: USA, Nagy-Britannia, Szovjetunió korlátozódik. Nagytisztaságu U-235-öt főként gázdiffuziós eljárással állitanak elő; egy erre szolgáló amerikai berendezés költségei kb. 800 millió DM-nak felelnek meg. Amennyiben Franciaország, mint a jövőbeli negyedik "atomfegyvernemzet" felállitana egy izotópszétválasztó berendezést U-235 előállitására, ez jelentősen befolyásolná a dusitott atomüzemanyag piaci helyzetét.

A dusitott urániummal járó költségek és az ár tekintetében is meglehetősen bonyolult a helyzet: az USAEC által különböző dusitásfokokra közölt árjegyzés szerint a 20 % U-235-re dusitott uránhexafluorid gramonként 16,12 dollár, mig az angol ár ugyanezen dusitási fokra gramonként 17-18 fontsterling között mozog, vagyis három-négyszerese az amerikai árnak. Ennek oka egyrészt az, hogy az amerikai urániumizotópelválasztóberendezések nagyobbak és az áram olcsóbb; másrészt a katonai célokra, állami támogatással, magáncégek által létesitett üzemekben ma már jóval többet termelnek, mint a katonai szükséglet, s maga a katonai célra történő U-235 felhasználás is visszaesőben van a magfuziós fegyverek előtérbenyomulása folytán.

A dusitott urániumhexafluoridnak tápelemekké való továbbfeldolgozása már kisebb technikai és anyagi ráforditást igényel, s az Egyesült Államokban az AEC magánvállalatokkal végezteti. Az urániumhexafluoridot urániumfémmé vagy urániumoxiddá kell átalakitani; ennél az eljárásnál nagyfoku sugárvédelemre van szükség, ez az, ami majdnem duplájára emeli a dusitott

üzemanyaggal járó költségeket. Amennyiben nyugatnémet magánvállalat foglalkoznék dusitott urániumhexafluoridnak tápelemekké való átalakitásával, - amint arra a Nemzetközi Atomenergiaszervezet keretében esetleg sor kerülhet - ugy a költségterheket még jelentősen emelné a drága szállitás és a kockázattal járó biztositási költség.

A Nemzetközi Atomenergia-szervezet már több oldalról kapott ajánlatokat urániumérc-koncentrátumnak és atomtápanyagoknak a fogyasztó tagállamok közötti elosztására, ezért - amint a fenti rövid helyzetképből is kitünik - a Nemzetközi Atomenergiaszervezet egyik legfontosabb feladata az lesz, hogy az atomüzemanyagok világpiaci ára terén tiszta helyzetet teremtsen.

x x x

AZ ATOMENERGIA GAZDASÁGI ALKALMAZÁSAI

Energiatermelés, ipari és mezőgazdasági alkalmazások
/A főtitkár jelentése/
Egyesült Nemzetek, New York, 1957

I.fejezet

A magenergia szerepe a villamosenergia-termelésben

A magenergia helyét a villamosáramtermelésben az fogja eldönteni, milyen lesz a villamosáramszükséglet, ennek ára és milyen előnyöket fog tudni nyujtani adott esetben a magenergia más energiaforrásokhoz képest. Igy tehát ahhoz, hogy a magenergia gazdasági jövőjét felmérhessük, mindenekelőtt az elektromos energiaszükségletet kell megvizsgálnunk. Ez a tárgya a beszámoló első részének; a B/ pont alatt a nukleáris forrásokból előállitott villamos energia gazdasági kilátásait,s a C/ pontban azokat a különböző tényezőket tárgyaljuk, melyek akkor jöhetnek számitásba, ha villamosságtermelés szempontjából a körülmények folytán a magenergia jut előnybe a klasszikus energiaforrásokkal szemben.

A/ Villamosenergia-szükséglet a modern gazdasági életben

Az utóbbi ötven év alatt a villamosenergia termelésében és felhasználásában rohamos növekedés állt be; az egyre nagyobb igényeket támaszt uj energiaforrások iránt. Ha elektromos energiában kinálat jelentkezik, ez a kinálat a felhasználás széles skálája folytán máris keresletet támaszt és sajátmaga kibővitését teszi szükségessé. Tehát az egész világon minden országnak, - ha fel akarja becsülni jövőbeli elektromos energiaszükségletét, - számolnia kell egyrészt ennek az energiának az egyes ipari és mezőgazdasági termelési ágakban betöltött alapvető szerepével, s ugyanakkor az energiaszükségletnek a gazdasági és társadalmi fejlődéssel járó egyre kibontakozóbb jellegével.

A különböző gazdasági szektorok részesedése az összes elektromos energiafogyasztásban mindenesetre országonként lényegesen változik és egy adott gazdasági rendszeren belüli változásai mindenkor szorosan követik a rendszer szerkezeti módosulásait. Amidőn egy ország a lehető legpontosabban meghatározta jövőbeli elektromos energiaszükségletének nagyságrendjét, irányát és felépitését, körül kell még határolnia azokat a területeket is, amelyeken felszerelés, vagy anyagi forráshiány merülhet fel. Meg kell állapitania azt is, hogy a meglévő klasszikus energiaforrások ki fogják-e tudni elégiteni a szükségleteket, és milyen mértékben lesz szükség uj energiaforrásokra.

Ipari országokban a különböző gazdasági szektorokban beállt növekedésből képet lehet alkotni az elektromos energiaigény rövid időn belül várható felduzzadásáról. Az ilyen országoknak egész területükre kiterjedő hálózata van, melyhez egymással összekötött, hatalmas energiafejlesztő berendezések kapcsolódnak; ezek fontos szerepet töltenek be. A jövő villamosenergia-ellátás jellemzői tehát viszonylag pontosan, előre láthatók.

De a fejlődésben elmaradottabb országokban hiányoznak az előbecslés alapjául szolgáló elemek; az elektromos energiaszükséglet általában elszórt és legtöbbször kis vagy közepes nagyságu, szétszórt energiafejlesztők utján elégitik ki. Mielőtt jóslásokba bocsátkoznánk a jövő elektromos energiaszükségletét illetően, feltétlenül ismernünk kell a nagy gazdasági szektorok mindenegyes ágának szükségletét, melyek az egész gazdaságfejlesztési programban első helyen állnak. Fontos tehát, hogy megvizsgáljuk az elektromos energia szerepét az iparban, bányászatban és mezőgazdaságban; ez alapvetően szükséges ahhoz, hogy a jövő szükségletét felmérhessük.

Villamosenergia az iparban

A villamosenergiát a modern iparositás első feltételének tekinthetjük, hiszen az elektromos energiahiány majdnem mindig késlelteti az ipari fejlődést.

Az utóbbi ötven év folyamán rohamosan nótt az elektromos energiafogyasztás, s egyre jobban kiszélesedik alkalmazási területe. Ennek oka nemcsak az, hogy igen sok, a modern ipar számára jelenleg rendkivül fontos ipari eljárás függ az elektromos energiaszolgáltatástól, hanem az is, hogy az elektromos energia alkalmazható a legkülönbözőbb követelményekhez, és hogy tőke- és munkaerőbefektetés szempontjából hasznothajtóbb./3/

Az ipar különböző ágainak elektromos energiaszükséglete igen eltérő; a jövő elektromos szükségletét nemcsak az ipari termelés növekedésével, hanem az össztermelés elektromos fogyasztásával és a gyártott termékek milyenségével kell majd meghatarozni. A vegyipar általában nagy elektromos energiafogyasztó, számos vegyi termék egy tonnájának előállitásához 1000 - 10000 kwó-ra van szükség. A szükségletek igen változatos igényeket produkálnak, 50 kwó-tól /kénsav/ egészen 40 000 kwó-ig /buna/. Sok más iparágban a szükséglet 1000 kwó-át sem ér el, de esetenként nagyon különböző. Igy például a cementgyártáshoz tonnánként 100-150 kwóra, mig az /elektromos/ acélgyártáshoz 720-820 kwo-ra van szükség./4/

A termelési költségből az elektromos energiara eső rész az iparág és a termék szerint igen különböző. Aluminiumtermelésben eléri a 25 %-ot, az elektromos metallurgiában közel jár a 12 %-hoz, a cementiparban 9 és 10 % között mozog, a mürostfeldolgozásnál 3,5 %, a pep- és papiriparban pedig 2,5 és 3 % között változik.

Villamositási program kidolgozásához meg kell vizsgalni mind az üzemeltetéshez szükséges mennyiségeket, mind pedig az össztermelési költségekből az elektromos energiaköltségre eső hányadot.

A villamosság szerepe a bányászatban

A bányászat a gazdaságnak az a szektora, mely a legtöbb elektromos áramot fogyasztja, nevezetesen a földalatti szektorban. A jelenlegi irányzat azt mutatja, hogy az érckivonás és finomitás elektromos energiaszükséglete tovább fog emelkedni, mert ugyanakkor növekszik a modern ipar számára szükséges asványi ter-

mékek száma és még inkább ezek mennyisége az egész világ ipari fellendülése következtében. /6/

A földalatti berendezésekben majdnem minden müvelethez elektromos áramot használnak, nevezetesen a bányafelszerelés meghajtásához az elektromos furógépektől kezdve a nagy gépekig és nagyteljesitményü szivattyukig, a földalatti szállitáshoz, valamint friss levegő és komprimált levegőellátáshoz. Bányászatban az egy tonna ércre eső átlagos elektromos energiafogyasztás 10 és 45 kwó között változik, egyes esetekben elérheti a 80 kwó-t is./7/

A válogatáshoz, finomitáshoz és az ércolvasztáshoz még több elektromos energia szükséges /8/. A legtöbb finomitási és olvasztási eljárásnál a termék egy tonnájára több ezer kwó fogyasztás esik; igy például a nikkelhez 2650 kwó, az elektrolitikus mangánelőállitáshoz több mint 11 000 kwó, a tiszta sziliciumhoz 19 000 kwó s a titánhoz 44 000 kwó szükséges. Éppen ezért még mindig az olcsó áron és kellő mennyiségben rendelkezésre álló villamos energia az a tényező, mely kohók és finomitók felállitását leggyakrabban eldönti.

Kevés adattal rendelkezünk arra nézve, hogy mennyi a villamosenergiára eső rész a bányászat /koncentráció és finomitás előtti állapotig/ összköltségében. Becslés szerint a normális mértékben mechanizált bányákban ez az arány 8 és 20 % között mozog. A kiadások a helyi körülményektől és a kérdéses ércektől függően változóak.

Fejlett iparu országokban az elektromosságot már meglévő elosztóhálózatok szolgáltatják, viszonylag nem magas áron. De a fejlődésben elmaradottabb területeken a villamosáram elégtelen mennyisége vagy magas ára a bányaipar fejlődésének egyik legsulyosabb akadályát képezi. Ez a helyzet, s az ebből adódó gépesitéshiány gyakran arra vezetett, hogy egyes bányák kitermelését érctartalékuk kimerülése előtt abbahagyták. Bányaszakértők véleménye szerint az elmaradt országokban igen sok bánya kitermelését meg lehetne hosszabbitani a jelenlegi árak mellett, ha a villamosáramköltségek felére csökkennének, és ha a villamosáram olcsóbb lenne, érdemes lenne sok, jelenleg lezárt bányát ujra üzembeállitani.

Villamos-energia a mezőgazdaságban

Mezőgazdaságban elektromos energia adottsága lényegesen meg tudja javitani az élet- és munkafeltételeket, s ilyen módon csökkenti a városokba való özönlést, ami gazdasági és társadalmi szempontból sokszor hátrányossá válhat. Döntő szerepet tölthet be ezenkivül öntözésnél és a mezőgazdasági termékeket feldolgozó berendezéseknél.

Az öntözéshez használt villamosenergia egyre nagyobb részét képezi az energiaszükségletnek minden olyan vidéken, ahol nagy vizmennyiségeket folyóvizekből kell alacsony fekvésü területekre leszivattyuzni, avagy földalatti forrásokból felszivni. Ez a szükségesség egyes országokban olyan parancsoló, hogy néha kizárólag erre a célra épitenek erőmüveket.

Igen sok mezőgazdasági területen hiányoznak a feldolgozó, hütő és tároló berendezések. Gyakori eset, hogy a mezőgazdaság fejlődése termékátalakitó iparágakat is kialakit, amelyek legtöbbször önmaguk is több-kevesebb elektromos energiát igényelnek. Az alkoholhoz, melyet melászból állitanak elő, tonnánként csak 30 kwó, lisztőrléshez a gabonától függően 15-115 kWó, cukorfinomitáshoz pedig a nyersanyag kategóriájától függően 70-250 kWó/ tonna szükséges. A tea és az erjesztőanyagok előállitásához egészen kimagasló mennyiségü villamosenergiára, tonnánként 4000 ill. 2000 kWó-ra van szükség.

B/ Nukleáris eszközökkel történő villamosenergia-termelés gazdasági kilátásai

Ez a fejezet a nukleáris eredetü villamosenergia-termelés gazdasági tényezőit fogja megvilágitani, összegyüjti az erre vonatkozó, hivatalos forrásokból származó dokumentációkat és áttekintést ad a jövőbeli kilátásokról. A feladatot - utóbbiak tekintetében - megnehezíti az a körülmény, hogy nukleáris eredetü villamosenergia-termelés és ennélfogva a technikai fejlődés gyors kialakitása terén gyakorlati ismeretekkel nem rendelkezünk.

Magenergia előállitása jelenlegi ismeretünk szerint az uránium-235 izotóp természetes állapotban való előfordulásától és

két izotóp: az uránium-233 és a plutónium-239 mesterséges uton való előállitásától függ. Ezek az izotópok atommagjaiknak neutronokkal történő kölcsönhatása folytán átalakuláson mennek át, melyet hasadásnak nevezünk,s ezt energia felszabadulása kiséri. Egy készülék, az atommáglya, idézi elő és irányitja a hasadási folyamatot. Az energia hő alakjában szabadul fel, s azt megfelelő hütőanyag vonja ki a máglyából. Jelenleg semminemü gyakorlati eljárással nem lehet a hasadási energiát közvetlenül más energiára, mint hőenergiára átalakitani. Ez igen lényeges körülmény, és ennek a következménye az, hogy a máglyákat elektromosenergia kinyerése céljából klasszikus berendezésekkel, /mint például váltóáramu turbogenerátorok/ kell felszerelni.

Nukleáris üzemanyagforrásokról szólva, két kategóriát kell megkülönböztetnünk: a/ hasadóanyagok, b/ szaporitó anyagok. A hasadóanyag fő forrását a természetes urániumban körülbelül 0,7 %-ban jelenlévő uránium-235 képezi. Az ez idő szerint ismert szaporitóanyagok: a/ az uránium-238, a természetes uránium fő alkotórésze, amely körülbelül 99,3 %-ban foglaltatik benne; b/ a tórium, mely csak egy izotópból áll, ez a tórium-232. Ezeket az anyagokat azért nevezik szaporitó anyagoknak, mert, ha máglyában neutronsugárzásba helyezzük őket, ugy nukleáris üzemanyagként felhasználható hasadóanyaggá alakulnak át; nevezetesen az uránium-238 plutóniummá, a tórium-232 pedig uránium-233-má.

Egyes máglyatipusok természetes urániummal üzemeltethetők, más tipusuaknál viszont hasadóanyagban dusitott üzemanyagra van szükség. De bármilyen a máglyában elégett üzemanyag, hasadási termékek keletkeznek és olyan feltételek állnak be, melyek a továbbmüködést akadályozzák. Tehát az üzemanyagot egy idő mulva ki kell venni a máglyából. A kivont tápanyagban lévő vagy a szaporitóanyagban keletkezett hasadó anyagot gyakran uj tápanyag gyártására használják fel. Ez azonban csak vegyi feldolgozás vagy ujragyártás árán lehetséges.

A nukleáris üzemanyag elégése tehát sokkal bonyolultabb jelenség, mint a klasszikus üzemanyag elégése. Az uránium egységnyi tömegéből ténylegesen kinyert energiamennyiség ennélfogva lényegesen függhet a máglya tipusától és táplálásának módjától.

Becslés alapján megállapitható tehát, hogy egyes épités alatt álló, természetes-urániummáglyák egy tonna urániumból 3000 megawatt-nap /12/ hőenergiát fognak termelni, vagyis körülbelül annyit, mint 10 000 tonna szén. Ebben az esetben az uránium-238 tápanyagban nagymennyiségü **plutónium** is keletkezik. Ha ezt a plutóniumot ujra behelyeznék egy máglyába s ott elégne, megtizszereződnék az egy tonna urániumból kapott energiamennyiség. Sőt, remélhető, hogy egy különleges tipusu, un. "gyors-neutronos tulszaporitó" máglyában még nagyobb arányban emelkednék a jövőben az urániumból nyert energia mennyisége. Egy tonna uránium akkor talán egy millió tonna szénnel válna egyenértéküvé.

Az energiatermelésnek ez a módja még az alkalmazás első stádiumában van és ez idő szerint majdnem mindig drágább, mint a többi, már létező eljárás. Bár a kezdet időszakában a nukleáris kWó árát szükségképpen terheli a kutatási és létesitési költségek fedezése is, az atomenergia elterjedésének gyorsasága, miután tuljutott ezen a kezdeti időszakon, nagymértékben függ attól, hogy adott körülmények között milyen előnyöket fog nyujtani. A magenergia azonban értéket képvisel már azért is, mert bizonyos mértékben függetlenséget biztosit a klasszikus energiaforrásoktól, és mert a hasadóanyag szállitásához nincs szükség nagyteherbirásu szállitóberendezésekre,s az a lehetőség, hogy atomerőmüvek számára ki lehet választani a lehető legelőnyösebb terepet, a jövő gazdasági fejlődés tekintetében sokat nyom a latba.

1. A magenergia önköltségi árának fő elemei

Amint láttuk, a nukleáris üzemanyagból nyert elektromos kWó önköltségi ára jelenleg aránylag magas,annak ellenére, hogy a nukleáris üzemanyag kis térfogatban nagy energiát képvisel. Az önköltség alakulásában két fő tényező játszik szerepet: a felszereléshez és az alapmunkálatokhoz szükséges össz-beruházások tekintélyes összege,és az üzemanyagellátási költség és üzemanyaghasználati dij.

/12/ Egy megawatt-nap 24 000 kWó-val egyenlő.

Elektronukleáris energiafejlesztő beruházási költségei

A legfontosabb tényezőt azok a sulyos beruházások jelentik, melyek egy elektronukleáris erőmü különleges berendezéséhez szükségesek: bonyolult épitkezési munkálatok és különleges anyagok, melyek megfelelnek az energiafejlesztő üzemeltetési karakterisztikáinak. További problémákat vet fel a sugárzás: itt közvetlen költségeket jelent védőfalak és a sugárzás által áthatolhatatlan övezetek létesitése s ehhez járulnak még közvetett költségek abból kifolyólag, hogy a máglyánál alkalmazott klasszikus felszerelésnek esetleg fokozottabb használati követelményeknek kell majd megfelelnie, mint normális esetben. Ezenfelül a máglya egyes részei technikai vizsgálat, legyártás és üzembeállitás szempontjából rendkivüli pontosságot igényelnek. Bár sok különböző máglyatipus létezik, valamennyi igen pontos normáknak kell hogy megfeleljen és igy jelenleg nagyobb tőkebefektetést igényelnek, mint a klasszikus hőerőmüvek. A közeljövőre tervezett elektronukleáris erőmüveknél lehetséges, hogy egy kilowattnyi beinditott energia kétszer annyi beruházási költség esik, mint a klasszikus hőerőmüveknél /13/. Ennek a különbségnek azonban hosszabb idő multán valószinüleg csökkennie kell.

Ami a berendezések méretével kapcsolatos gazdasági problémákat illeti, az egy beinditott kilowattra eső költség, bár vannak eltérések az elektronukleáris erőmüvek különböző tipusai között, nagyobb berendezéseknél általában alacsonyabb lesz.

Üzemanyagköltség

Minthogy elektronukleáris erőmühöz tetemes beruházások szükségesek, a magenergia az erőmü indulásánál csak akkor versenyképes, ha az üzemanyagköltség, mely a termelési költségek második fontos tényezője, nem magas. Az üzemanyag ára magában fog-

---

/13/ Ellenben elektronukleáris erőmüveknél az egy kilowattra eső tőkeráforditás kevesebb, mint egyes vizerőmü-terveknél. /Lásd C/ fejezetet./

lalja: a/ a beruházási terheknek azt a részét, mely az üzemanyag lekötésére esik előállitásának különböző állapotában, a máglyában, tárolás alatt vagy a vegyi feldolgozás folyamán, miután a máglyából kivették /14/. b/ a máglyában ténylegesen használt üzemanyag árára eső terheket, c/ a vegyi feldolgozással és a hulladékok eltávolitásával járó járulékos költségeket. Ha egy adott máglya összes üzemanyagköltségeit akarjuk megállapitani, a költségeket részben kompenzálhatjuk azzal, hogy tekintetbe vesszük az üzemanyagból a máglyából való kivétel után visszanyerhető hasadóanyag és néha más melléktermék révén történő megtérülést.

Biztató kilátások feljogositanak arra a reményre, hogy az üzemanyagok ára kellő mértékben csökkenni fog. De pillanatnyilag az ismeretek hiányossága mind az üzemanyag hatásfoka, mind a feldolgozási és gyártási költség terén némi pontatlanságot visz be a magenergia önköltségi árába.

Ár és terhelési tényező

Bármilyen a vizsgálat tárgyát képező máglya, a termelt energia egységára jelentősen csökken a termelt kilowattórák számának növekedésével. Ahhoz, hogy a nukleáris erőművek gazdaságosak legyenek, évente megszakitás nélkül igen sok munkaórát kellene teljesiteniök s ehhez legtöbbször olyan egyéb termelési egységekkel kellene összekapcsolva lenniök, melyek az üzemanyagfogyasztás változásait és csucsértékeit fel tudják emészteni s igy az atomerőmü alaperőmü szerepét töltheti be. Meg kell jegyezni, hogy az elektronukleáris erőművekben termelt kWó árára vonatkozó becslések kidolgozásánál a terhelési tényezőt magasan állapitották meg. /15/

/14/ Az üzemanyagra forditott tőke-immobilizáció költségeit hol a tőke egy részének, hol költségtényezőnek tekintik.

/15/ A "load factor" /terhelési tényező/ és "plant factor" kifejezéseket gyakran azonos értelemben használják. Itt a "terhelési tényező" az alábbi fogalomnak felel meg:

$$\text{Terhelési tényező} = \frac{\text{Évi elektromosenergia-termelés /kWó-ban/}}{8760 \times \text{előirányzott elektr.teljesitmény /kW-ban/}}$$

2. Elektromos erőművek, melyek felépitését jóváhagyták

A Főtitkár kérdőivére adott válaszok azt mutatják, hogy az atomenergia fejlesztésére forditott tetemes összegek ellenére az atomenergia villamosáram-termelésre való alkalmazása 1956. év végéig lényegében kisérleti jellegü volt. Eddig az időpontig a nukleáris elektromos energiát, melyet Franciaországban, a Szovjetunióban, az Egyesült Királyságban és az Amerikai Egyesült Államokban a közfogyasztás számára termeltek, kisérleti reaktorok szolgáltatták, melyek eredetileg nem villamosáram-termelésre voltak szánva. Az elektromos energiamennyiség, melyet ilyen módon nyertek, nem volt jelentős, kivéve az angol Calder Hall erőművet, melynek teljesitmény-előirányzata közel 70 000 kW s 1956 októberében helyezték hivatalosan üzembe. Az Egyesült Királyságnak a Főtitkár kérdőivére adott válasza szerint /16/ a Calder Hall-i erőmü kettős rendeltetésü, elsősorban plutóniumot termel, a villamosenergiát melléktermékként szolgáltatja. Eltér a következő években meginduló és kimondottan villamosenergia előállitására tervezett erőművektől.

Az 1960. évet követő években előreláthatólag több ország fogja az atomenergiát villamosságtermelésre felhasználni. A jelenleg már müködő, vagy épités, illetve tervezés alatt álló berendezések fogják a leghasznosabb számitási adatokat szolgáltatni ahhoz, hogy az atomenergia önköltségi árának a közeli években várható stabilizálódási vagy kialakulási lehetőségeit kiértékelhessük. A táblázat néhány adatot tartalmaz a legnagyobb erőművekről. Mivel hiányzik a gyakorlati tapasztalat az elektronukleáris erőművek normális gazdasági feltételek mellett folyó üzemeltetése tekintetében, az üzemeltetés gazdaságossági vizsgálatának minden kisérletében szükségképpen nagyrészt feltevések szerepelnek.

A felsorolt erőművek legtöbbjét inkább az elektronukleáris erőművek épitéséhez és üzemeltetéséhez szükséges tapasztalatok megszerzése céljára tervezték, semmint azonnali energiaszükségletek közvetlen kielégitésére. Azonban egyeseket ezek közül, nevezetesen a Szovjetunió és az Egyesült Királyság erőmüveit, közvetlen üzemanyag- és energiaproblémák megoldására szánták. Az

---

/16/ Lásd második rész, A/ fejezetét.

1960 után meginduló nagy teljesitményre tervezett erőmüvek, lényegében technikai okokból, bizonyos tipusokra korlátozódnak. Csak a továbbiakban kerülhetnek sorra más erőmü-tipusok, melyek jelenleg még kidolgozás alatt álló technikán alapulnak; ezektől jobb teljesitményt várnak és épp ezért olcsóbb áron fognak elektromos energiát termelni.

Mindenekelőtt nem szabad elfelejteni, amidőn az 1960 utáni nagy reaktorok energiatermelési árát érintő különböző tényezőket vizsgáljuk, hogy ennek az önköltségi árnak felértékeléséhez a máglyák teljesitménye és müködési feltételei tekintetében,minden esetben feltevésekhez kellett folyamodni. Még az épitési költségtételben is, melyet a piaci anyagárak alapján kalkulálnak és állitanak be a költségvetésbe, tartani lehet attól, hogy több feltevésre épül, mint amennyire például egy klasszikus tipusu hőerőmü épitésénél volna szükség, éspedig a felmerülő különleges technikai problémák miatt. Ebben a számitásban a feltevésen alapuló elem még nagyobb, mint amidőn az üzemanyag hozamáról, az erőmü jó müködésének biztositékairól vagy valószinü élettartamáról van szó.

Egy kilowattra eső tőkeberuházás

Az egy kilowattra eső beruházásokat értékelhetjük az előirányzott teljesitményre, vagy a termelt energia pontos mennyiségére vonatkoztatva. Ezen utóbbi adatra vonatkoztatva lehet a fogyasztásra szánt energia önköltségi árát a legjobban megbecsülni. A Főtitkár kérdőivére adott válaszokban szerepel néhány becslésadat a kilowattonkénti beruházás összegére vonatkozóan s ezek az 1.sz. táblázatból is kitünnek.

A jelenlegi értékelések szerint a reaktorral kapcsolatos, egy kilowattra eső tőkekiadás jóval nagyobb kis kapacitásu erőmü esetében, mint nagy erőmünél. Nem valamennyi máglyatipus alkalmas kis teljesitmények esetében. Igy a nagy villamosenergia-termelésre szánt, most épülő gázhütésü természetes urán + grafitreaktorok nem felelnek meg olyan esetben, amidőn kisebb teljesitményre van szükség. Folyamatban van más tipusu, kisebb teljesitményekhez inkább alkalmas reaktortipusok tanulmányozása, illetve megva-

lósitása. Ha a moderátor nehézviz, avagy dusitott tápanyagokat alkalmazunk, kisebb teljesitményü reaktorokat is lehetséges lesz épiteni. Itt további beruházások szüksége merül fel. A kis terjedelmü reaktorok irányában az Egyesült Államokban technikai téren jelentős erőfeszitéseket tesznek.

Fontos tudni, hogy a tápanyagra forditott tőke-immobilizáció nagy részét teszi a beruházott tőkének és igen különböző az egyes reaktortipusok szerint. Például az Egyesült Királyságban az erőmü-tervekkel kapcsolatos beruházások 150 000 kilowatt előirányzott teljesitményre, betervezett kilowattonként 115,o,o és 125,o,o font sterling között mozognak /azaz 322 és 350 $ között/, a kezdő tápanyagokra forditott beruházást nem számitva; a kezdő üzemanyagot is számitásba véve 140-150 font sterlingre rugnak /vagyis 392-420 $/. Az Egyesült Államokban ezt a tőkebefektetést 150 000 kilowatt teljesitményü, gázhütésü erőmünél kilowattonként körülbelül 93 dollárra, 250 000 kW teljesitményü nehézviz erőmünél kilowattonként 17 dollárra becsülték, mig nátriumos és grafit erőmünél kilowattonként 60 és 90 $ között mozognak ezek a beruházási költségek.

Egy kilowattóra ára

A termelt energia árának megállapitásához tekintetbe kell venni a fix költségeket, az üzemanyag árát és az üzemeltetési költségeket. Értékét a különböző máglyákra vonatkozóan a kormányzatok válaszaiból láthatjuk. Ha összehasonlitjuk a különböző máglyák ezen önköltségeit, nem szabad elfelejtenünk, hogy az üzemanyagköltségek és a beruházott tőke kapcsolatban állnak egymással és hogy ezek az elemek különböző máglyák között nem cserélhetők fel.

a/ Fix terhek

Atomerőmüvek esetében a fix terhek a beruházott tőkék magas volta miatt, nagy részét képezik a kilowattóra globális önköltségének, annak ellenére, hogy a becslések igen különbözők, a reaktorok különböző tipusuak és a becsléseket különböző módsze-

rek szerint állitották fel. A fix terhek nagysága kitünik az Egyesült Királyság által közölt, a Central Electricity Authority erőmüveire vonatkozó becslésekből; ezek az erőmüvek előreláthatólag az 1960 utáni első években fognak megindulni; az egy kilowattórára eső termelési össz-önköltségi ár 80 %-os terhelési tényező mellett 0,6 és 0,7 penny között mozog s ebből a 8,03 % kamatlábbal számolt fix terhek 0,39-0,43 pennyt tesznek ki, azaz több, mint az össz-önköltségi ár felét./17/

Az amortizáció kérdése az erőmü nukleáris részének meghatározatlan élettartama miatt különleges problémát jelent. Ez az élettartam lehet technikai tényezők függvénye, amelyekre nézve az ismeretek még hiányosak. A becslések igen különbözők. Az Egyesült Királyságban a nukleáris rész élettartamát tizenöt évre a berendezés többi részét harminc évre s az egész berendezés globális élettartamát husz évre becsülik s ugy vélik, hogy gyakorlatban valószinüleg nem lesz gazdaságos az erőmü nem-nukleáris részét tovább üzemeltetni, ha már a kiindulási reaktort használhatatlannak tartják. Más becslések szerint a nukleáris részre 20 évet, a klasszikus tipust képviselő részre 33 1/3 évet és az egész berendezés átlagos élettartamára 25 évet vesznek.

Bár a biztositási költségek csak kis részét képezik az össz-önköltségi árnak, a fennálló különleges kockázatok és a tárgyra vonatkozó legujabb tájékozottság hiánya miatt magasabbra emelkedhetnek, mint klasszikus erőmüveknél.

Magától értetődik, hogy a fix terhek kiszámitása olyan paraméterektől függ, mint a tőkepiaci helyzet, az adózás tarifája és módja; ezek a paraméterek országonként változnak.

Azok az országok, melyek ipari alkalmazás céljára épitenek atomerőmüveket, - hogy csökkentsék a fix terhek befolyását a kilowattóra önköltségi árára, - az atomerőmüveket 60-80 %-os terhelési tényezővel szándékoznak müködtetni. Ez áll a Szovjetunióra, az Egyesült Királyságra és az Amerikai Egyesült Államokra.

/17/ Ebben az értékben nem szerepelnek egyes más, nem kifejezetten a termeléssel változó költségek: a kezdeti üzemanyagellátás, üzemeltetés és karbantartás.

b/ Uzemanyag-költség

Bármilyen tipusu a máglya, a termelési önköltségi ár üzemanyag-komponense igen sok változótól függ /gyártás,feldolgozás, felujitás és hulladékok eltávolitása stb./ és nyilvánvalóan külön-külön kell kiszámitani minden egyes nukleáris rendszernél. A máglyában ciklikusan felhasznált üzemanyagban lévő hasadóanyag-mennyiség jelentős tőke-immobilizációt képvisel,s emlékezünk arra, hogy az erre a tőke-immobilizációra eső terheket az égési körfolyamatban résztvevő hasadoanyag mennyiségének függvényében számitják ki. Jelenleg az egész üzemanyag-ellátás mindenütt a kormány ellenőrzése alatt áll, s az önköltségi árakat nem közlik. Ezenkivül a magenergia versenyképessége a klasszikus energiával szemben magymértékben függeni fog államközi megállapodásoktól, melyek kiterjednek anyagi feltételekre, a szállitásra, árra, üzemanyag-gyártásra és felujitásra, s az immobilizált tőke kamataira.

c/ Üzemeltetési és karbantartási költségek

Bár az üzemeltetési és karbantartási költségek az elektronukleáris energiatelepekre vonatkozó majdnem minden előbecslésben csak kis részét képezik az össz-önköltségi árnak,mégis jelentős eltérés mutatkozik a különböző becslések között. Az első atomerőműveknél általában ugy vélik, hogy a karbantartási költségek valamivel magasabbak lesznek, mint azonos körülmények között klasszikus erőmünél.

x x x

Bár 1960-ban még kevés máglya fog egyes országokban közfogyasztásra elektromos energiát termelni,ugy látszik,hogy az elkövetkezendő 10-15 év jelentős javulást fog hozni magenergiatermelés terén. Ez a lehetőség nagymértékben függ attól, milyen befolyással lesz a technikai előrehaladás az önköltségi árakra és ez a fejlődés mennyi időn belül valósul meg.

A szerzett tapasztalatok feltehetően egyidejüleg csökkenteni fogják a tőkeberuházást és az üzemanyag-kiadásokat.Minthogy különböző ipari szektorok illeszkednek bele az atomerőművek

épitésével járó igények kielégitésébe, lehetséges, hogy bizonyos megtakaritások érhetők el a termelésben. Minthogy az atom-erőmüvekhez szükséges egyes különleges anyagokat és felszereléseket ez idő szerint kis szériákban állitják elő, nagyon valószinü, hogy ha a termelés nő, az árak csökkenni fognak. A gyártási módszerek tökéletesedése, az üzemanyag jobb felhasználása és az elégési arány növekedése, az immobilizált üzemanyagból szükséges mennyisegek csökkenése, az üzemanyag-feldolgozási és ujból való alkalmazási módszereinek javulása, adott beruházás esetében a termelt energia növekedését fogja eredményezni.

Az is remélhető, hogy a számos országban különböző reaktormodellekkel folyó jelenlegi kisérletek nyomán jobb teljesitményü máglyák fognak születni. Mindenesetre az energiatermelésben várható javulás a számos területen folyó kutatási és megvalósitási törekvések összehangolásától és kiterjesztésétől függ.

C/ Az energiatermelés nuklearis és klasszikus eszközei

Ez a fejezet azon néhány gazdasági tényező vizsgálatával foglalkozik, mellyel számolnunk kell a villamosságot szolgáltató magenergia-források értékelésénél, amidőn ezeket a klasszikus energiaforrásokkal hasonlitjuk össze. Ez a vizsgálat szükségképpen összegező és általános jellegü. Mivel adva van egy meghatározott helyzet, nyilvánvaló, hogy a villamositási program céljából követendő utat csak olymódon határozhatjuk meg, hogy figyelembe vesszük ennek vagy amannak az energiaellátási módnak technikai és gazdasági jellegzetességeit és ami még fontosabb, az ellátandó vidék egyéni körülményeit. Tehát minden helyzet egy bizonyos értelemben kivételes helyzet és legapróbb vonásai is érdemesek tanulmányozásra. Ez a kutatómunka a kormányok és a közvetlenül érdekelt hatóságok feladata és mind technikai, mind gazdasági tekintetben az idő- és helybeli feltételekhez szabott megoldások gondos vizsgálatát teszi szükségessé. A jelen fejezet tárgyát képező általánosabb szemlélet minden becslés kiindulását képezi.

Az előző fejezetben mondottak arra is rávilágitanak, miért nem lehet ez a vizsgálat más, mint összegező és hiányos jellegü. Magenergiáról lévén szó, a jövő lehetőségeit kell szem előtt tar-

tanunk és nem a jelenleg előállitott mennyiségeket. Nukleáris és klasszikus források összehasonlitásához szükséges dokumentáció csak kis részben létezik. Ilyen módon az atomerőmüben alkalmazott üzemanyag hozama és az, hogy milyen mértékben lehet normális müködési feltételekre számitani, néhány év mulva még nem lesz olyan pontosan ismeretes, mint klasszikus erőmüvek esetében. Annyi mindenesetre biztos, hogy az azonnali alkalmazás lehetőségeit technikai és egyben gazdasági okok korlátozzák, de elég gyorsütemü fejlődést engednek remélni ahhoz, hogy az atomenergia lényeges helyet kapjon a villamositási programok hosszu lejáratra történő megtervezésében. Egy terület vagy egy ország ilyen tervezésének határidői felvetik a kérdést: a kérdéses időszak valamely időpontjában az atomenergia alkalmazása képes lesz e általános gazdasági előnyöket nyujtani az illető ország számára? Erre kell némi világosságot deriteniök az itt röviden tárgyalt tényezőknek.

Az energiafejlesztési programokat kidolgozó országoknak szembe kell nézniök a villamositás különböző fokozataiban szükségessé váló felszerelésekre és berendezésekre forditandó tőkeberuházások nehéz problémájával. Tanácsos előbb megvizsgálni azt, vajon a magenergia felhasználása a klasszikus forrásokkal szemben hozhat-e valamely változást és milyet a villamositási programra szánt beruházások globális összegében. Majd egy-két olyan problémát vizsgálunk meg, melyet az energiaforrásokkal való ellátás vet fel. Végül néhány észrevételt ismertetünk az atom-erőmüvek, illetve a klasszikus erőmüvek által termelt kilowattóra fogyasztási árának összehasonlitására vonatkozólag.

1. Az atom-erőmüvek és a klasszikus erőmüvek beruházási költségei

Az elektromos energiának a tényleges fogyasztóhoz való eljuttatásához az energiafejlesztőn kivül sok más állomásra és berendezésre van szükség; ide tartozhatnak az energia-átviteli és elosztó hálózatok és az üzemanyag-szállitási és kezelési eszközök. Az elektromos-energia fogyasztói árára nemcsak az energiafejlesztő erőmüvel kapcsolatos beruházások, hanem a fenti beruházások összességének tőkekiadásai is kihatnak. Adott helyzetben és meghatározott teljesitmény-előirányzattal rendelkező elektromos elosztó-hálózat esetében a beruházások összessége és minden

egyes részre eső hányad, ugy látszik, némileg eltérő lesz vizerőmünél, hő-erőmünél és atom-erőmünél. Bár végső számvetésnél, ha ki akarjuk értékelni egy villamos-erőmü épitésénél számitásba jövő különböző megoldások előnyeit és hátrányait, egyidejüleg a berendezésekre és a felszerelésre forditandó összes beruházásokat és az állandó üzemeltetési költségeket is figyelembe kell venni,s az első kérdés, mely felmerül az, hogy az atomenergia adott körülmények között kecsegtet-e tőkemegtakaritás lehetőségével.

Ami magát az energiafejlesztőket illeti, a kilowattonkénti beruházási költségek kisebb biztonsággal határozhatók meg atomerőmüveknél, mint hő-erőmüveknél és a reaktor tipusától függően is változhatnak. Közölt becslések szerint az egy kilowattra eső tőkeberuházás, mely a reaktortipus szerint változhat, nagyteljesitmény-előirányzatu atomerőmü esetében kétszer akkora, mint azonos feltételek mellett müködő hő-erőmünél. Kis vagy közepes előirányzott teljesitményü atom-erőmünél az egy kilowattra eső tőkeberuházás jóval magasabb is lehet. De előfordulhat, hogy atomerőmünél kisebb, mint egyes vizi-erőmüveknél. /18/

Ehhez hozzá kell füznünk azt, hogy mig - amint a B/ fejezetben láttuk - a beruházási költségek atom-erőmüveknél csökkenő irányzatot mutatnak, amint az uj technikai felfedezés esetében természetes, klasszikus erőmüveknél a kilátások forditottak, nevezetesen az olyan vidékek vizi-erőmüveinél, melyeknek legkedvezőbb helyei már ki vannak aknázva. /19/

/18/ A nagyteljesitmény-előirányzatu klasszikus hő-erőmüveknél a beruházott tőke kilowattonként 120 és 220 $ között változik. Vizi-erőmünél 100-tól 800 $-ig változhat a helyi adottságoktól, illetőleg a berendezés és a gát méretei által megszabott feltételektől függően.

/19/ Ez az elgondolás részben az OECE /Gazdasági Együttmüködés Európai Szervezete/ egy tanulmányára támaszkodik,mely szerint a nyugateurópai vizierőmü-energiára 1955-ben kW-ként átlagosan 315 $ beruházás esett s ez az összeg az 1955-1975 közötti időszakban 375 $-ra emelkedik. Ugyanezen forrásból származó adatok szerint a klasszikus energiafejlesztőkkel kapcsolatos költségekben,ugy látszik, némi emelkedés mutatkozik és az 1955.évi kW-kénti $ 145-ről 1975-ig $ 160-ra fog emelkedni annak ellenére, hogy az erőmüvek méreteit növelni szándékoznak. Lásd OECE: "Európa növekvő energiaszükséglete" /Párizs 1956/, p. 55, 131, 128-129.

Bármilyen is az energiatermelés módja adott helyzetben és adott teljesitmény-előirányzat mellett, a villamosenergia elosztására és felhasználására szolgáló beruházási költségek lényegesen nem változnak, tehát itt bővebb vizsgálatot nem igényelnek. /20/ Az energia-átviteli berendezésekbe és az üzemanyagellátásra és kezelésre szánt berendezésekbe fektetett beruházások viszont jelentős mértékben változnak az energiatermelés módja és a helyek szerint.

Erőátviteli vonalakkal kapcsolatos beruh zások

Az erőátviteli vonalak a villamositási programhoz szükséges beruházások nagy részét emészthetik fel. Egy erőátviteli vonalba befektetett tőke összegének nagyságrendje négy tényezőtől függ /21/: a távolságtól, a terep természetétől, melyen az átvitel áthalad, a továbbitandó energiától és a jó müködés biztositékaitól; ezek a tényezők lehetnek olyanok, hogy a légköri vagy egyéb körülmények miatti megszakitások megelőzése céljából kettős átviteli vonal épitésére van szükség.

A vizierőművek szorosan alá vannak rendelve a helyi viszonyoknak és ámbár üzemanyag számára szolgáló berendezésekre nincs szükség, rendszerint nagytávolságu erőátviteli vonalak kellenek. Sok helyet, melyek más tekintetben megfelelnének vizi-erőmüberendezések céljára, nem aknáznak ki azért, mert az erőátviteli vonalak költséges volta jobban megdrágitaná a termelt elektromos energiát, mint más módon nyert villamosság esetén /22/.

A klasszikus hő-erőművek elhelyezése sokkal több hajlékonyságot mutat, müködésükhöz azonban rendkivül nehéz és terjedel-

/20/ Talán érdekes megemliteni, hogy kivételes esetekben az elosztóhálózatok nagyobb beruházásokat igényelnek, mint az energiatermelési és áttételi berendezések összességébe beruházott tőke. Az elektromos energiafelhasználás az igény természetétől függően különböző méretü tőkeberuházásokat tesz szükségessé: legnagyobbat az iparban, ahol az energiahasználathoz szükséges felszerelésbe beruházott tőke sokszor tizszerese az energiafejlesztési és áttételi berendezésekbe beruházott tőkének. Az egész energiahasználati felszerelésből a lakóhelyek világitása jár a legkisebb költségekkel.

/21/ Lásd V.mell.: Néhány erő-átviteli vonal beruházási költségei.

/22/ Általában a 250 mérföldnél hosszabb szállitási vonalak csak 60 %-nál nagyobb terhelési tényezővel szállitott nagy mennyiségeknél kifizetődők. Megjegyzendő, hogy egy szállitási utvonal rentabili-

./.

mes üzemanyag rendszeres szolgáltatása szükséges. Az üzemanyag szállitási költsége minimumra csökkenthető, ha az üzem az üzemanyag közelében épül /a behozatali kikötőben vagy szénlelőhely, avagy petróleumfinomitó közelében/, vagy pedig már meglévő szállitási eszközök folytán előnyös helyen létesül. Ha nincsenek megfelelő szállitási lehetőségek, amint ez elmaradottabb országokban rendszerint lenni szokott, az utak helyreállitási költsége, vasut vagy olajvezetékek, melyek segitségével az üzemanyag eljut az erőmühöz,mind számitásba jönnek. Egyes esetekben az ilyenfajta költségek igen megdrágitanák a fütőanyagot. Ha egy energiafejlesztő telep üzemanyagellátási szempontból legelőnyösebb helye távol esik a fogyasztó központtól, erőátviteli berendezésekről kell gondoskodni. A helyi körülmények döntik el, hogy egy klasszikus hőerőmüvet az üzemanyagforrás, vagy a fogyasztó központ közelében gazdaságosabb-e elhelyezni. Ahol a villamosságfelhasználó központok közelében nem drága az üzemanyag és annak szállitása, ott a klasszikus hő-erőmünek mindig előnyös helyzete van minden más megoldással szemben, mert viszonylag nem magas a beruházandó összeg.

Elektronukleáris erőmüveknél nincs szükség nagytömegü üzemanyag-szállitásra, ezért sokkal könnyebben helyezhetők el valamely területen, mint a klasszikus villamoserőmüvek. Igy el lehet őket helyezni a fogyasztóközpontok közelében, s ezáltal elkerülhető nagytávolságu erőátviteli berendezések létesitése. Minthogy az ilyen erőátviteli berendezésekhez tetemes összegek beruházására van szükség, melyek jövedelmezősége csekély, hacsak nem igen nagymennyiségü elektromos energia szállitásáról van szó, az elektronukleáris erőmüvek helymegválasztásának könnyedsége egyes esetekben lecsökkentheti a villamositási programba beruházott tőke összegét.

Elektronukleáris erőmüvek felállitása azonban alá van vetve egyrészt biztonsági követelményeknek, melyek megtilthatják az erőmünek sürün lakott területek közvetlen szomszédságában való

/22/lábjegyzet folytatása: -tásának abszolut mértéke épp annyira függ az energiatermelési költségtől, mint magának az erőátviteli vonalnak költségeitől, - csak az igen alacsony áron előállitott energiát lehet nagy távolságra elszállitani ugy, hogy a szállitás költsége elfogadható szinten maradjon.

elhelyezését, másrészt nagytömegü viz jelenlétének, hütés céljára. A jelenleg alkalmazott reaktortipusok több hütővizet használnak betervezett teljesitmény-kilowattonként, mint a klasszikus hő-erőmüvek.

A helyi körülmények különböző változatai

Erőátviteli berendezések adottsága vagy hiánya egy vidéken nagy befolyással lesz mind ennek a területnek sajátos villamositási tervéhez szükséges beruházások összegére, mind pedig a legelőnyösebb energiatermelési mód megválasztására. Bár minden egyes esetnél számos tényező játszik közre, melyek közül egyesek a szóbanforgó vidék sajátságaihoz tartoznak, a probléma megvilágitásához - ugy látszik - három vidék-tipust különböztethetünk meg: amelyeknek már van hálózata; melyeken erőmü van, de hálózat nincs és az elmaradt, minden energiatermelő eszköz nélküli vidékek.

Olyan vidékeken, ahol erőátviteli hálózat már van és főleg ott, ahol a hálózat általában kevéssé terhelt, ugyhogy a leadott villamosenergia-mennyiség növelése főleg energiafejlesztők terén igényelne beruházásokat, a magenergia előállitása adott teljesitmény-előirányzat esetében több össz-beruházást igényelne, mint a klasszikus hőenergia. Itt ugyanis nem érvényesülne a magenergia könnyed helykiválasztásából adódó előny, és igy ezen az uton a beruházási költségeket már nem lehet csökkenteni. Ebben az esetben a klasszikus üzemanyag megszerzési módja és ára döntően befolyásolhatja a magenergia és a klasszikus energia közötti választást. /23/

/23/ Előfordul, pl. az Egyesült Államokban, hogy a hálózatok legtöbb esetben nem a termelt energia zömének, hanem csak a csucsterhelés vagy kisegitő terhelés szállitására szolgálnak. Amidőn nagy energiamennyiségeket szállitanak át egyik hálózatból a másikba, pl. valamely kivételes igény vagy a piac hirtelen megnövekedésének kielégitésére, a szolgáltató hálózathoz tartozó fogyasztó-területről jövő energiát egy ehhez a területhez igen közelfekvő ponton adják át a vevőhálózatnak. Igy az energia legnagyobb részét 25 mérföldnél kisebb távolságon szállitják, a villamosenergia-fogyasztásnak csak kis hányada igé-

./.

Megjegyzendő, hogy ha hálózati összeköttetés/a centrálék összekapcsolása/ adva van, a hálózat módot ad az energiafejlesztő telepek olyan módon való üzemeltetésére, hogy egyes állomások biztositsák az alapterhelést és maximális számu üzemórán át müködjenek, amennyit évente a müszaki feltételek lehetővé tesznek. Elektronukleáris erőmüveknél, ahol a nemváltozó költségek aránya igen magas és amelyek ennélfogva magas terhelési tényező mellett kell hogy müködjenek, az üzemeltetés gyakran gazdaságosabb lenne, ha a hálózat alapterhelését az atom erőmü szolgáltatná.

Számos esetben, amidőn erő-átviteli halózat adva van, a termelési kapacitás növekedésének normálisan az erő-átviteli berendezések bizonyos kibővitését kellene maga után vonnia. Sok hosszutávu erő-átviteli vonal van már teljesen megterhelve, ennélfogva a teljesitmény-előirányzat megnövelése ilyen esetben az erő-átviteli beruházások kiegészitésével járna, hacsak ki nem kerülhető olymódon, hogy a pót-energiaforrásokat a nagyfogyasztó centrum közelébe helyezzük. /24/

Az erő-átviteli hálózatok csak ott gazdaságosak, ahol a területhez viszonyitva nagy az elektromos energiaszükséglet; a Föld lakott területeinek legnagyobb részét független energiatelepek látják el elektromos energiával. Mig egy nem nagy és igen sürün lakott vidéken a villamositás fejlesztése aránylag rövid időn belül hálózati összeköttetés létesitéséhez vezethet, erő-átviteli hálózat létesitésének nagy, de ritkán lakott területen, amennyire a jövőt megitélhetjük, nincs sok esélye. Igy például Braziliában erő-átviteli hálózatot a területnek csupán 12 %-án létesitenek, mig az ország területének

---

/23/ lábjegyz. folyt.: -nyel nagy távolságu szállitást. Titus G.Leclaire, a Commonwealth Edison Company munkatársa: "Economic Considerations in Locating Power Reactors", kivonat a "Minutes of Third Conference on Atomic Energy in Industry"-ból, National Industrial Conference Board, New York, 1955. p. 88.

/24/ Svédországban 1955-ben a hosszutávu erőátviteli vonalak teljesitménye 1800 megawatt volt s a valóságos maximális terhelésük 1740 megawatt. Az uj vizierőmüvek teljesitményelőirányzata szükségessé teszi az erőátviteli vonalak 800 kilométerrel való kiegészitését.

88 %-át, melyen a lakosságnak csupán 40 %-a lakik, önálló erőtelepek fogják ellátni. /25/

Abban az esetben, ha a független energiafejlesztő telepeket az energiaforrások közelében és a fogyasztócentrumtól bizonyos távolságra kell felállitani, a tőkeberuházás viszonylag magas ahhoz az esethez hasonlitva, amidőn uj erőművet kapcsolnak be az erőátviteli hálózatba. Ennek oka az, hogy az előbbi esetben az energiaigény kielégitésére más eszköz nincs, és rendszeres energiaszolgáltatás biztositására az erőátviteli vonalrendszert kettős erőátviteli vonallal kell kiegésziteni, melynek rendeltetése az, hogy a viharok vagy más okok miatti perturbációk esetén biztositékot nyujtson. Vizierőművek esetében a beruházott tőkét még növeli az, hogy szükség van bizonyos mérvü tartalék hőenergia-előirányzatra, /26/ amidőn adva van erőátviteli vonalhálózat, amelyből vizi-energiahiány esetén hozzájuthatunk a szükséges energiamennyiséghez, ilyen kiadástöbblettel nem kell számolni.

Önálló elektronukleáris erőmünek megvan az az előnye, hogy a fogyasztócentrum közelében állitható fel. Másrészt azonban a magenergia alkalmazásánál esetleg számolni kell bizonyos korlátozó tényezőkkel: például a nukleáris erőmü méretével és rentabilitásával. Ezenfelül, ha az elektromos energiának nincs aktiv piaca, s nincs is lehetőség ilyen piac kialakitására, igen valószinü, hogy a nukleáris energia drágának fog bizonyulni.

Olyan esetekben, amidőn a fogyasztó centrum és a klasszikus üzemanyagforrások egy helyen vannak, s igy nincs szükség erőátviteli vonalakra, csupán a termelési költségek közötti különbség dönti el a klasszikus erőmü és a nukleáris erőmü közötti választást.

/25/ Egyesült Nemzetek: "Actes de la Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques" /Egy.Nemzetek kiadása, elad.sz. 1956.IX.1., vol. I.p. 128./

/26/ A tartalékolt hőenergia-előirányzat a helyi esőzési viszonyoktól függ, de lehetséges, hogy eléri maga a vizierőmü teljesitmény-előirányzatának 30-40 %-át.

Minthogy az elektronukleáris erőművek mentesek a tömegszállitmányok kényelmetlenségétől, sokszor azt képzelték, hogy a magenergia meg tudja oldani a Föld elmaradott területeinek energiaellátását, amennyiben ott a klasszikus energiaforrások igen költségesek. Ezek a vidékek néha olyan gazdagok bányakincsekben és egyéb forrásokban, hogy azokat hasznositani lehetne s kitermelésükhöz többek között energiára volna szükség. /27/ E vidékek gazdasági fejlődésének atomenergianyujtotta lehetősége számos tényezőtől függ, különösen attól, hogy a magenergiát olcsó áron, viszonylag kis teljesitményelőirányzatu erőművekben lehessen előállitani.

Devizaproblémák

Számos ország esetében nemcsak a beruházások összege számit, hanem ennek külföldi devizákban fizetendő része is. /28/ Vizierőmüveknél a beruházás tetemes részét az alapmunkálatok emésztik fel, amelyek majdnem mindenütt csekély devizakiadással járnak. Ezzel magyarázható, hogy hőerőmü esetében ezek a kiadások gyakran magasabbak, mint azonos teljesitményelőirányzatu vizierőmünél. Mivel a nukleáris felszerelés jelentős része igen speciális és ez idő szerint csak kevés ország gyártja, az elektronukleáris erőmü-felszerelés nagy részét a legtöbb országnak importálnia kellene. Valószinü tehát, hogy a nukleáris erőművekhez szükséges beruházások devizaigényesebbek, mint ugyanolyan teljesitmény-előirányzatu hő- vagy vizi-erőművek berendezései. Ami az erőátviteli hálózat anyag- és felszerelésszükségletét illeti, a legtöbb iparilag fejletlen országnak számitania kell az ilyen létesitmények beruházási összegénél 60-80 %-ot kitevő importra.

De az atomerőművek, ha előfordul is, hogy a kezdeti beruházáshoz sok devizát igényelnek, az időközönkénti tápanyagkiadásokhoz nem sok devizát fogyasztanak, mig klasszikus erő-

---

/27/ Egyesült Nemzetek, "Actes de la Conférence internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques, 1955. vol.I.Kanadára nézve lásd p. 195-196;Dél-afrikai Unióra vonatkozólag p. 488-489;Ausztráliaföldre p. 273.
/28/ Lásd a VI.mell.: A villamositás devizaköltségei.

müveknél ennek forditottja állhat elő. Ezek a meggondolások főleg azokra az országokra állnak fenn, melyek energiaforrásai nem kielégitőek vagy nem eléggé fejlettek és amelyek elektromos berendezéseket nem gyártanak. Ha a fogyasztócentrum nincs a tápanyagbehozatal helyének közelében és a tápanyag vagy az energia szállitásához pót-beruházásokra van szükség, akkor lehetséges, hogy magenergiához kevesebb devizaigényes beruházás kell, mint egy szállitóeszközöket igenylő klasszikus energiafejlesztőhöz.

Feltehető, hogy olyan országokban, ahol a klasszikus energiaberendezések gyártása biztositva van és amelyek üzemanyagellátás terén ugy állnak, hogy a magenergia a közel jövőben előnyös lehet számukra, gyártani fognak nukleáris felszereléseket, akkor is, ha nukleáris üzemanyag gyártására nincs lehetőségük. De kezdetben a nukleáris felszerelés jelentős hányadát külföldről kell behozni, kockáztatván ezzel azt, hogy kezdetben a magenergia devizaköltség tekintetében drágább lesz, mint a klasszikus tipusu elektromos energia. Tenno.

Erősen iparositott országokban, melyek reaktorokat és nukleáris üzemanyagot már gyártanak, vagy már megvan a lehetőségük a gyártásra s ugyanakkor klasszikus energiaforrások terén hátrányos helyzetben vannak, lehetséges, hogy a növekvő üzemanyagimport és a devizaköltségek kikerülése érdekében erősen hajlanak az atomenergia irányába.

2. Energetikai források

Minthogy a magenergia fejlesztésének menete részben a többi energiaforrás adottságától és önköltségi árától függ, hasznos lesz gyorsan áttekinteni néhány olyan tényezőt, amelyeken a klasszikus nagy energiaforrások előirányzatai alapulnak. A különböző országok és egy ország különböző vidékei különbözőképpen vannak ellátva természetes energiaforrásokkal és szállitási eszközeik különböző fejlettségi fokon állnak. A három legfontosabb klasszikus energiaforrás-a szén, petróleum és a vizienergia - földrajzi eloszlását vizsgálva megállapit-

hatjuk, /29/ hogy a Föld népességének több, mint kétötöde olyan országokban él, ahol a tartalékok - egy főre esően - ugyszólván elhanyagolhatóan csekélyek, vagy elégtelennek látszanak folyamatos gazdasági fejlődés biztositására. Hacsak nem tárnak fel előre nem látott energiaforrásokat, ezeknek az országoknak villamositási program megvalósitásához üzemanyag-importtal kell számolniok.

Alapvető különbség áll fenn a nukleáris energiát szolgáltató és a klasszikus energiát szolgáltató üzemanyagok között. Mig az utóbbiak villamosságfejlesztő erőművekben akár közvetlenül, akár aránylag egyszerü finomitási müvelet után felhasználhatók, a magenergia alapanyagainál sokkal bonyolultabb átalakitások egész sora szükséges ahhoz, hogy a nukleáris üzemanyagot kinyerjük. Ezért annak ellenére, hogy az uránium- és tóriumforrások elég nagy mennyiségben fordulnak elő a Földön, /30/ csak néhány iparositott ország képes ma dusitott vagy természetes nukleáris üzemanyagot előállitani. Ebből következik, hogy az Egyesült Államokat, a Szovjetuniót, Kanadát, Franciaországot és talán még néhány országot kivéve, az atomenergia felhasználása gyártott nukleáris üzemanyag-importra fog támaszkodni.

Azonkivül, hogy különbséget kell tennünk a már jól kifejlesztett energetikai forrásokkal rendelkező országok, /31/ a jelentős, de még ki nem aknázott energetikai forrásokkal rendelkező és az ezek hijján lévő országok között, érdekes lesz külön tanulmányt szentelni a vizienergia-lehetőségeknek és a földből bányászott üzemanyagoknak, melyek közül a legfontosabbak a szén és a petróleum.

/29/ Lásd VII.mell.: A klasszikus energia alapanyagainak eloszlása.

/30/ Lásd VIII.mell.: Egyes országok urániumtartaléka és urániumoxidtermelése.

/31/ Lásd IX. mell.: Fejlett energetikai forrásokkal rendelkező országok.

Hidraulikus villamosenergia

A hidraulikus uton nyert villamosenergia csak annyiban használható, amennyiben szállitására mód van. A fejlett energetikai forrásokkal rendelkező országok már ugyszólván minden lehetőséget felhasználtak hidraulikus villamosenergiának olcsó önköltség melletti előállitására. Igy majdnem egész Nyugat-Európában és Japánban kiaknázták már a legelőnyösebb helyeket, a még fel nem használt lehetőségek pedig elégtelenek az energiaszükséglet kielégitésére s kiaknázásuk valószinüleg elég költséges. Jól fejlett energetikai forrásokkal és nem drága, nagy kilowatt-mennyiséget képviselő, még kiaknázatlan vizienergia-lehetőségekkel rendelkező országok főként Kanada, Norvégia és a Szovjetunió.

Számos, még felhasználatlan energetikai forrásokkal rendelkező országban tekintélyes vizienergia-lehetőség áll fenn. Két tényező dönti el, hogy érdemes-e ezeket az energetikai forrásokat a hő-, vagy a nukleáris energiával szemben előnybe helyezve minden áron értékesiteni. Ahol a közvetlen fogyasztó nagyon távol van a termelés helyétől, az erőmü felállitásához a szállitási vonalak létesitése járul s minthogy ezek önköltsége nagy távolságoknál magas, a mü nem igen lesz rentabilis, hacsak nem igen nagy a villamosenergia-igény. Másodsorban az előzetes vizsgálatokhoz szükséges tájékozódások összegyüjtése, melyek alapján az alapmunkálatok elkezdhetők, vizierőmüvek esetében gyakran igen hosszu időt vesz igénybe. Iparilag fejletlen országokban az adatok hiánya miatt egy vizierőmü tervének elkészitésétől a kivitelezésig igen hosszu idő telik el.

Bányászott üzemanyagok

Hőerőmüvek fontos üzemanyaga a szén /beleértve a lignitet is/ és a petróleum. Egy villamoserőmü üzemanyag-ellátási költségei lényegében egyrészt az üzemanyag kinyerési és feldolgozási árától, másrészt a szállitási költségtől függenek.

Minél nagyobb egy adott mennyiségü üzemanyag kalóriaértéke, annál inkább kifizetődik a magasabb szállitási költség is. Ebből a szempontból a lignitet kevésbé érdemes szállitani, mint bitumenes szenet vagy petróleumot, a lignittel müködő erőmüveket tehát az üzemanyag-lelőhely közelében kell felállitani. A klasszikus üzemanyagok közül a petróleum szállitható a legkönnyebben, az erőmüveket elhelyezhetjük a petróleummezőktől egészen távoleső helyen is.

Klasszikus üzemanyagokkal bőven ellátott országokban, ahol a forrásokat már jól ki is használják, a magenergiának a klasszikus hőenergiával szembeni versenyképessége nagymértékben a helybeli üzemanyag árától függ.

A szénnel rendelkező országok egészen különböző kitermelési költséggel bányásszák ki a szenet. Erre nézve néhány példát találunk a mellékelt statisztikában. /32/ A szénbányászat önköltsége egyes országokban, igy a Dé afrikai Unióban, Dél-Rodéziában és Ausztráliában nem magas, az Egyesült Államokban és Indiában közepes, az Egyesült Királyságban s egyes nyugat-európai országokban viszont magas. Mig az elmult 50 év folyamán a szén ára az egész világon határozottan emelkedő irányzatot mutatott, 1945 óta nem egységesen alakult. Például az Egyesült Királyságban és Nyugat-Európában a szénnek a bánya területére eső ára a legutóbbi években jelentősen emelkedett s irányzata folytonosan emelkedő a munkabérek és egyéb költségek növekedése miatt, amit az egyre fokozódó gépesités nem tud kompenzálni. Ugyanebben az időszakban például Indiában, Délafrikai Unióban s az Amerikai Egyesült Államokban az árak meglehetősen állandó szinten maradtak.

Ha a szállitást is számitásba vesszük, a kép bonyolultabbá válik. A mindenütt növekvő szállitási költségek egyre jobban szükitik a szénnek a bányától távoli helyen energiatermelésre való felhasználását s egyes széntermelő országokban éppen ezért az erőmüveket magán a lelőhelyen vagy annak közelében épitik. Amely országban a szén kitermelési ára nem magas és jól fejlett szállitási eszközök vannak, nem valószinü, hogy

/32/ Lásd X.mellékletet: A szén árának alakulása különböző országokban 1948-tól 1955-ig.

a magenergia belátható időn belül versenyre kelhessen a szénből nyert energiával.

Ahol a vasut- vagy országuti-hálózat nem elegendő a szénszállitmányok jelentékeny növelésére, további tekintélyes beruházásokra volna szükség a szénnek egyes területekre való eljuttatásához. Ez a probléma merül fel például Indiában és a Dél-Afrikai Unióban, ahol a bánya területére számitott, viszonylag alacsony szén-ár egyébként az ország legtöbb részében kedvező volna a szénnek energiatermelésre való felhasználására. De a szállitási hálózat épitéséhez szükséges beruházások s a hosszu idő, mely ehhez szükséges, esetleg a magenergiának fog kedvezni a széntelepektől messze fekvő vidékeken.

Olyan országokban, melyek még kiaknázatlan, de gazdag klasszikus üzemanyagforrásokat rejtegetnek, legtöbb esetben nem valószinü, hogy pusztán villamosságszükséglet céljára jóváhagyjanak olyan magas összegü beruházásokat, amilyenek ezek kitermeléséhez szükségesek. Egyszerübb és gyorsabb megoldás ilyen esetben az üzemanyagot importálni és ilyenkor mint lehetséges megoldás szóba jöhet a nukleáris energia. A klasszikus üzemanyagtartalékokkal rendelkező, elmaradottabb országok azonban hosszu távlatra megtalálhatják számitásukat forrásaik felhasználásában villamosságtermelés céljára, mert általános gazdasági fejlődésük további szakaszában az üzemanyagforrások és szállitóeszközök nemcsak villamositás, hanem más szükségletek céljára is felhasználhatók.

A petróleumforrásokat nagyobb elszigeteltségük ellenére szélesebb méretekben használják fel energiatermelésre. Mivel a kitermelt mazout /nyersolaj/ aránya a petróleum többi termékének aránya szerint változik, ára részben ezeknek a termékeknek keresettségétől függ és mivel majdnem minden alkalmazási területén versenyképesnek kell maradnia a szénnel és a többi üzemanyaggal, ára általában alacsonyabb, mint a többi petróleum-terméké és többnyire alacsonyabb a nyers petróleum áránál is. A petróleum ára az egész világon egyenletesebben alakul és több hajlékonyságot mutat, mint a széné s a mazout árváltozása minden valószinüség szerint világviszonylatban érezhető hatást

gyakorol. A magenergiának tehát a mazout mindenütt jelenvalóság tekintetében nagyobb versenytársa, mint a szén vagy a vizenergia. Minthogy nem tudni, milyen irányba tendálnak az árak, csupán annyi valószinü, hogy ha a mazout ára nem magas, vele szemben a nukleáris energia hátrányba kerül, főleg energiaszegény országokban. Hozzá kell még tennünk, hogy a mazoutforrásokat hosszu távlatban nem ismerjük, mert a kinálat csak az ujabb feltárások ütemétől függően lesz majd kielégitő.

3. A kilowattóra ára

Az elektronukleáris kilowattóra árát, amint már mondottuk, csak akkor fogjuk tudni teljes bizonyossággal megállapitani, amidőn atomerőmüvek már normális körülmények között fognak a közfogyasztásnak áramot szolgáltatni. Van néhány előbecslés azokra a reaktortipusokra vonatkozólag, melyeknek majd speciális feltételek mellett kell müködniök. Hangsulyozzuk, hogy ezek a számok becslések, - és nem gyakorlati eredmények - melyek a máglya egyes részeinek valószinü élettartamára s az üzemanyag teljesitményére vonatkozó feltevéseken alapulnak. Ezeket a feltevéseket majd a gyakorlatnak kell igazolnia. Igaz ugyan, hogy különböző becslések szerint a magenergia jelenleg gyakran drágább, mint egyes más megoldások, ennél pontosabb konkluziót azonban nem állithatunk fel. A következő fejezetek néhány észrevételt füznek az atomerőmüvekből nyert és a klaszszikus energia fogyasztói árához.

A villamosenergia fogyasztói önköltségi árát általában a végső fogyasztónak számlázott önköltségi egységár képviseli. Ez magában foglalja az előállitási árat, a szállitás és az elosztás árát. Adott feltételek mellett az elosztási árnak nem szabad lényegesen változnia az elosztásra kerülő energia eredetétől függően, ugyhogy itt nem vesszük figyelembe. A szolgáltatott villamosenergia árát tehát mint a termelési ár és az elosztóhálózatig történő szállitási ár összegét tekintjük.

A kilowattóra árának mindennemü, az energia előállitási módja szerinti összehasonlitása csak akkor helytálló, ha azonos körülmények között müködő berendezésekre vonatkozik. Or-

ságonként és azokon belül is igen változóak a kamat-, törlesztés- és adótételek; ezekre az összehasonlitásnál nagy figyelmet kell forditanunk, mert minden különbség, mely ezeket az alapelemeket érinti, vissza fog hatni az önköltségi árbecslésre.

Termelési költség

Az energia kilowattóránkénti ára általában olyan mérvben csökken, ahogy a terhelési tényező növekszik, azonban berendezésenként jelentősen változó törvényszerüséggel. Vizierőmüveknél, ahol üzemanyag-költség nincs, s igy változó költségeik igen kis százalékra csökkennek, a kilowattórára eső önköltségi árnak a terhelési tényező emelkedésével való csökkenése kisebb mérvü, mint a hő- vagy nukleáris energiánál. A klasszikus hőerőmüvek üzemanyag-költsége az összköltségeknek nagyobb százalékát képviseli, mint az atomerőmüveké és a kilowattórára eső önköltségi árnak az erőmü termelésnövekedésével való csökkenését az egy kilowattórára eső kiadások szabják meg. Minthogy feltételezzük, hogy az üzemanyag atomerőmünél olcsóbb, mint klasszikus hőerőmünél, a kilowattórára eső össz-önköltségi árnak atomenergia esetében gyorsabb ütemben kell csökkennie a termelés növekedésével, mint klasszikus hőenergiánál. A magenergia tehát ott, ahol hidraulikus elektromos energia kedvező körülmények között állitható elő, utóbbival még nem fog tudni egyhamar versenyre kelni. Hogy mennyire lesz versenyképes a hőenergiával szemben, amidőn a terhelési tényező magas, ez nagymértékben függ az egy kilowattórára eső üzemanyag-áraktól.

Már rámutattunk arra, hogy a nukleáris energia könnyebb helymegválasztási lehetőséget nyujt, és igy az erőátviteli költségek tekintetében sokszor előnyösebb. A klasszikus hőerőmüvek is célszerüen fogyasztócentrum közelében helyezhetők el, s igy kiküszöbölődnek az erőátviteli költségek, ha a fogyasztócentrum egyben az üzemanyagforrások közelében van, avagy megfelelő eszközökkel rendelkezik az üzemanyag szálli-

tására. Ilyen körülmények között a termelési önköltségi árak közötti különbségben mutatkozni fognak a magenergiának a klasszikus energiával szembeni előnyei. Azonban sok esetben a hőerőmü legkedvezőbb elhelyezése bizonyos mérvü erőátviteli költségekkel járhat, ugyhogy az atomerőmü és a klasszikus tipusu erőmü versenyképessége attól fog függni, hogy milyen az arány az atomerőmüben előállitott kilowattóra termelési önköltségi ára és a klasszikus erőmüben előállitott egy kilowattórának az erőátviteli költségekkel növelt termelési önköltségi ára között. Azt az előzőkből már láttuk, hogy a vizierőmüvekhez általában szükség van /gyakran hosszu-távu/ energiaátviteli eszközökre, és igy az egy kilowattórára eső fogyasztói önköltségi ár tekintélyes részét, vizienergia esetében, az erőátviteli költségek teszik.

Erőátviteli költségek

Az erőátviteli költségek lényegében az erőátvitelhez szükséges óriási fix beruházásokkal járó fix terhekből állnak. Az egy kilowattórára eső eme költségek nagyságrendje különböző paraméterektől, éspedig a vonalak hosszuságától, ezek tervszerinti teljesitményétől és azon terhelési tényezőtől függ, mely mellett a vonalakat üzemeltetik. Ott, ahol a kamatlábak magasak és a villamosenergia-szükséglet viszonylag kicsi, lehetséges, hogy az egy kilowattórára eső erőátviteli költség magasnak adódik. Általában alacsonyabb a termelési költségnél, kivéve egyes vidékeket, ahol az olcsó vizienergiát nagy távolságokra szállitják és ilyen módon az egy kilowattórára eső erőátviteli költség elérheti vagy meg is haladhatja a termelés költségeit.

Diesel-motoros erőmüvekben termelt villamosenergia

Alacsony ipari fejlettségü országokban széles körben alkalmazzák a Diesel-motoros erőmüveket, és számos vidéken ezek jelentik az energiatermelési felszerelés nagy részét. Minden

méretben, egészen 10 000 kW-ig gyártják őket, általában sorozatgyártásban s a kilowattonkénti tőkeberuházás viszonylag nem nagy. Viszont drága üzemanyaggal müködnek: Diesel-olajjal, melynek ára a világpiac tulnyomó részén legalább kétszerese a nyersolaj árának. S ezenfelül, minthogy Diesel-motoros erőmüveket általában távoleső vidékeken használnak, ahol az energiaszükséglet csekély, az üzemanyag szállitása sokszor igen megdrágul. A Diesel-motoros erőmüvek által termelt villamosenergia önköltségi árának összetevői annál is inkább különböznek a hő-, vagy az atomerőmüvekben előállitott villamosenergia önköltségi ár-összetevőitől, mert a nagyobbik tényező az üzemanyag megvásárlása s ez egyenes arányban változik az erőmü termelésével. Ezért a Diesel-motoros erőmüveket leginkább ott alkalmazzák, ahol kevés a fogyasztás s ahol nincs hálózati összeköttetés /33/. Az elektronukleáris erőmüvek, a helymegválasztás könnyedsége folytán, esetleg második villamosenergiatermelési módot nyujthatnak olyan vidékeken, ahol jelenleg beérik Diesel-motoros erőmüvekkel. Ennek előfeltétele azonban az, hogy olyan kis atommáglyák épüljenek, melyek alacsony terhelési tényező mellett is gazdaságosan üzemeltethetők.

x x x

Annak ellenére, hogy a technikai előrehaladásnak köszönhetően a magenergia önköltségi ára remélhetőleg hamarosan csökkenni fog, nem szabad elfelejteni, hogy ugyanezen technikai előrehaladás a klasszikus energiánál is önköltségi árcsökkenést fog előidézni mind a felszerelés, mindpedig a termelési mód terén, bár kevésbé szembeötlő mértékben. Igy például épülőben vannak uj, nagyobb méretü hőerőmüvek, melyeknek tervszerinti teljesitménye eléri a félmillió kilowattot és üzemanyag-hozamuk jóval meghaladja a jelenlegi felszerelés hozamát. Bizonyos, hogy a magenergia megjelenése ösztönzőleg hathat a klasszikus erőmüveket érintő technikai fejlődésre. Bár ugy gondoljuk, hogy a magenergiát a közeljövőben egyre nagyobb mérvben fogjuk tudni hasznositani, valószinütlennek látszik, hogy a vizienergiát vagy a klasszikus hőenergiát,

I.táblázat

HAT ORSZÁGBAN ÉPÜLŐ, VAGY ÉPITÉSRE ENGEDÉLYEZETT NÉHÁNY ELEKTRONUKLEÁRIS ERŐMŰRE VONATKOZÓ ELŐBECSLÉSEK ÉS ADATOK

Ország, terv megnevezése	Üzembehelyezés éve	Máglya tipusa	Moderátor	Hütő	Tápanyag tipusa	Elméleti hőtelj. /1000 kW/	Elméleti elektromos teljesitm. /1000 kW/	Beinditott elektr. teljesitm. /1000 kW/	1 kW elméleti elektr. teljesitményre eső beruházás	
									tápanyagot és moderátort beleértve	tápanyag nélkül
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
a/ Brazilia	1961	vizforraló	viz	viz	25%-ra dusitott uránium	50	-	10	a	a
b/ Kanada	1959	viznyomás	nehézviz	nehézviz	természetes urániumoxid	80	-	20	-	450 $ 1955 /előzetes becslés/
Egyesült Államok f/ Viznyomásreaktor állami tulajdonban, Shippingsport, Pennsylvania	1957	viznyomás	viz	viz	erősen dusitott uránium	236 g./	60 g/	-	Összes beruházás:	70 millió $ h/
General Electric Co. & Pacific Gas and Electric Co., Livermore, California	1957	vizforraló	viz	viz	erősen dusitott uránium	12	3	-	-	-
Wolverine Electric Corp. Hersey, Michigan	1961	homogén	nehézviz	cirkuláló tápanyag	erősen dusitott uránium	38 i/	10 i/	-	Összes beruházás:	4,500.000 $ h/
Chugach Electric Assn. Inc. és Nuclear Development Corp. of America, Anchorage, Alaska	1962	-	nehézviz	nátrium	2%-ra dusitott uránium	40	10	-	Összes beruházás:	7,300.000 $
City of Piqua, Ohio	1961	szerves anyag	polifenil	polifenil	3%-ra dusitott uránium	45,5	12,5	-	Összes beruházás:	8,000.000 $
Rural Coop. Power Ass. Elk River, Minnesota	1961	vizforraló	viz	viz	erősen dusitott uránium	73,3 i/	22 i/	-	Összes beruházás:	8,000.000 $
Consumers Public Power District, Beatrice, Nebraska	1961	-	grafit	nátrium	23%-ra dusitott uránium	245	75	-	Összes beruházás:	41,200.000 $ h/
Power Reactor Development Co., Monore, Michigan	1960	gyors neutron	nincs	nátrium	35%-ra dusitott uránium	300	100	-	Összes beruházás:	47,300.000 $ h/
Yankee Atomic Electric Co., Rowe, Massachusetts	1960	viznyomás	viz	viz	2,5%-ra dusitott uránium	480	134	-	Összes beruházás:	34,500.000 $ h/
Pennsylvania Power and Light Co.	1962	homogén	nehézviz	cirkuláló tápanyag	cseppfolyósitott	-	150	-	-	-

I. táblázat folytatása

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
Commonwealth Edison Co., Dresden, Illionis	1960	vízforraló	víz	víz	enyhén dusitott uránium	630	180	-	Összes beruházás:	45,000.000 $ h/
Consolidated Edison Co., New-York, Indian Point, New-York	1960	viznyomás	víz	víz	U-235-ben erősen dusitott uránium és tórium	500	275 j/	-	Összes beruházás:	70,000.000 $ h/
Franciaország:										
EDFI c/ /Avoine/	1959	-	grafit	széndi-oxid	természetes urá-nium	250	-	60	-	180.000 frank, 1956 /előzetes becslés/
Egyesült Királyság:										
Kommerciális gyártás gyorsitása	1961 1962	-	grafit	széndi-oxid	természetes urá-nium	550	165	150	140-150 fontster-ling	115-125 fontster.
Szovjetunió:										
1. terv e/	-	-	víz	víz	1 %-ra dusitott uránium	1.520	420	390	-	-
2. terv e/	-	-	grafit	víz	1,2%-ra dusitott uránium	1.150	400	375	-	-

BRAZILIA

a/ A Brazil Kormány kiegészitő tájékoztatásából kitünik, hogy az atomerőmühöz 5,600.000 $ összegü beruházásra lesz szükség, mely $ 488.000 összegü 20 éves részletekben, azaz összesen 9,760.000 $ értékben törleszthető. A kamatláb, valamint az amortizációs kulcs 5 %. Egy kilowatt árát 50 %-os terhelési tényezővel és 20 éves időtartamra számitották ki, amely a berendezés kifizetődő időtartamának tekinthető. A 20 évre történő kilowatt-ár kiszámitás a következőképpen alakul: felszerelés és berendezések: 976 $, üzemeltetési költség: üzemanyag 252 $, egyéb 524 $. Ezeken az alapokon a kilowattóra termelői önköltségi árát 2 dollárcentre becsülik.

Ezek az adatok szigoruan ideiglenes jellegüek. A kétoldalu együttmüködési megállapodás, mely a reaktor szállitásának előfeltétele, még nem jött létre.

KANADA

b/ NRX csupán kisérleti erőmü /elektronukleáris erőmü-prototipus/. Építése folyamán a különböző költségkategoriák felosztására nézve semmi értékelést nem végeztek /vizsgálat, kutatás stb./. Pontos becslésekre az erőtelep üzembehelyezésekor fog sor kerülni.

EGYESÜLT ÁLLAMOK

f/ A fent felsorolt valóságos elektronukleáris erőmüveken kivül müködik, illetve épités alatt áll egynéhány kisérleti reaktor. Lásd második részben, I. 6.

g/ Egy további reaktormag behelyezésével a hőteljesitmény 400.000 kW, s az elméleti elektromos teljesitmény 100.000 kW lesz.

h/ A tőkekiadásokban bennsfoglaltatnak az első reaktormag költségei.

i/ A termelésnek kb. 20 %-át nem-nukleáris energia szolgáltatja.

j/ Beleértve egy mazut-tulhevitő által szolgáltatott 112.000 kW-ot.

FRANCIAORSZÁG

c/ Az EDFI az első francia ipari máglya, mely energiatermelésre épül s a Francia Elektromos Müvek számára fog elektromos energiát előállitani. Szintén engedélyezték már a második, ugyanilyen tipusu erőmüvet, az EDF2-t, melynek tervszerinti villamos energiateljesitménye 100.000 kW lesz. E két máglyán kivül még egynéhány kisérleti máglya müködik, vagy épül. További részletek a második részben, A. 3.

EGYESÜLT KIRÁLYSÁG

d/ A megadott értékek egy máglyára vonatkoznak. Minden erőmüben két reaktor van. Az Egyesült Királyság kormánya ezekre nézve a következő kiegészitő tájékoztatást adta: az értékcsökkenési kulcs husz éves időtartamra van számitva s a kamat 5 %. Biztositási dijtétel, sem költség nincs felszámitva. Az egy kilowattórára eső fix terheket 8,03 % állandó tőketörlesztés alapján értékelték fel; az indulási tápanyagköltségeknél értékcsökkenést nem vettek tekintetbe. A terhelési tényezőt 60 %-osnak véve, az állandó költségek 0,52 és 0,57 penny között változnak kilowattóránként; 80 %-os terhelési tényező mellett kilowattóránkent 0,39-0,43 pennyre mérséklődnek A tiszta üzemanyagköltség kilowattóránként 0,16 és 0,19 penny között változik, ha tonnánként 3000 megawatt-nap kiégési arányt veszünk alapul. A karbantartási és üzemeltetési költséget kilowattóránként 0,05 pennyre becsülik. Az egy kilowattórára eső termelési összköltséget 60 %-os terhelési tényezőnél 0,7 vagy 0,8 pennyre, 80 % terhelési tényező mellett 0,6 vagy 0,7 pennyre becsülik.

Az Egyesült Királyság kormányának az Egyesült Nemzetek kérdőivére adott válasza adatokat közöl egy épités alatt álló kisérleti reaktorról is; lásd második részben, I.5.

SZOVJETUNIÓ

Mindegyik erőtelepen két reaktor lesz. Az 1. tervbe tartozó erőmünél tonnánként 3500 megawattnap kiégési aránnyal, a 2. tervnél 2500 megawattnappal számolnak. A két erőtelepnél évi 7500 üzemórát irányoznak elő. Ezeken az elektronukleáris energiafejlesztőkön kivül üzemben állnak még, vagy előzetes tanulmány tárgyát képezik kisérleti reaktorok is. Részletek második részben, I. 4.

akár hosszabb távlatban is, teljesen kiszoritaná. Inkább csak ki fogja egésziteni az egész világon egyre növekvő elektromos energiaszükséglet kielégitésére szolgáló változatos eszközöket s uj lehetőségeket fog nyujtani ezeknek az eszközöknek olyan összekapcsolására, mely a különböző energiatermelési módszereket - egyéni jellegük megőrzése mellett - hatékonyabbakká teszi.

x x x

II. fejezet

RÁDIOAKTIV ANYAGOK ÉS A SUGÁRZÁSOK ALKALMAZÁSA AZ IPARBAN

E fejezet a magenergiának azon ipari alkalmazásait vizsgálja, melyek számos országban gyors tempóban szélesednek ki: a rádioaktiv anyagokat és sugárzásokat, melyek főleg kutatási területeken, gyártásellenőrzés és anyagvizsgálat terén nyernek alkalmazást. Továbbá igen sok automatikus gyártási folyamathoz és minőségvizsgálathoz, melyek egyre elterjedtebbek az iparban, szükség van a sugárzások alkalmazására. Általában mindezek a módszerek csak kiegészitik a hagyományos módszereket. A jelenlegi iparágakban a sugárzások és rádioaktiv anyagok emelni tudják az ipari termék értékét, a kezelés és gyártás folyamán előálló veszteségeket pedig csökkentik, ugyhogy növelik a jövedelmezőséget. Az erősen iparositott országok olyan összegeket forditottak sugárzás-berendezésekre, amelyek a brutto nemzeti jövedelemnek talán csak kis hányadát teszik ki, mégis több millió dollárra rugnak.

Az emlitett alkalmazásokhoz általában az aránylag kicsi s könnyen megszerezhető sugárforrások is elégségesek, a most megindított kutatások arra mutatnak, hogy a jövőben esetleg ujfajta ipar fog kialakulni, mely a gyártási müveleteknél közvetlenül fogja a sugárzásokat alkalmazni. Ennek egyes korláto-

zott területeken való alkalmazását máris láthatjuk, de egyelőre még nem lehet pontosan meghatározni a sugárzások iparbeli szerepének alakulását éspedig azért nem, mert két ponton nem látunk még tisztán: elsősorban még nem állnak egykönnyen rendelkezésünkre azok a nagyméretü sugárforrások, melyekre szükség lesz; ugyanis ha növekszik is a rádioaktiv anyagok termelése, ezzel még nincsenek adva a felhasználás feltételei, mert hiszen ezek nagymértékben függenek az elektronukleáris energia és az ezekkel kapcsolatos nukleáris berendezések fejlődésétől. Másodsorban jelenlegi ismereteink alapján nem tudjuk kiértékelni, mennyire lesz ez az uj módszer versenyképes - azonos vagy hasonló termékek gyártásánál - más gyártási módszerekkel szemben.

A/ Sugárzások és rádioaktivitás az ipari alkalmazás szemszögéből /1/

A sugárzások ipari alkalmazása lényegileg annak köszönhető, hogy a sugárzások energiát adnak le. Az atom- vagy magreakciók atomsugárzás alakjában energiát szabaditanak fel. A sugárzások az anyagon áthaladva főleg ionizáció/2/ során leadják energiájukat, ezt a jelenséget azonban egyéb atom- vagy magreakciók kisérik. Az atomsugárzásokat ezért "ionizáló sugárzások"-nak szokás nevezni.

Ionizáló sugárzások

Háromféle ionizáló sugárzástipust különböztetünk meg:
1. Az alfa-részecskék /3/ hélium-atommagok; erősen ionizálók.
2. A béta-részecskék pozitiv vagy negativ töltésü elektronok. A gyorsitóban előállitott elektronokat katódsugaraknak nevezzük. A béta-részecskék kevésbé erősen ionizálók, mint az alfarészek. Minthogy energiájukat lassabban vesztik el, áthatolóképesebbek, mint az alfa-részek.

/1/ A jelen fejezetben előforduló legtöbb jegyzet az Atomenergia békés felhasználása nemzetközi konferenciájának aktáira utal. Ezek az utalások vagy az okmány jelzését /P/ , vagy az ülést tüntetik fel és minden esetben feltüntetik a kötet számát. Amidőn más adatforrásokat idéznek az akták, csak az aktára hivatkozunk. ./.

3. A gamma-sugarak elektromágneses sugárzások, melyek magreakcióból keletkeznek. Bár más mechanizmussal jönnek létre, azonosak a röntgensugarakkal. Közvetve ionizálnak olymódon, hogy szabad elektronok alakjában szekunder sugárzást hoznak létre. Áthatolóképességük jóval nagyobb a béta-részecskék áthatolóképességénél.

A sugárzások e három alap-tipusához sorolhatók a neutronok, melyek, bár nem ionizálnak, ionizáló sugárzásokat képesek létrehozni magreakciók folytán. Vannak más tipusu sugárzások is, de ezek nem tartoznak ennek a tanulmánynak keretébe.

Mindenfajta sugárzás keletkezése pillanatában energiára tesz szert, melynek mennyisége változó. Ezt az energiamennyiséget elektronvoltokban mérik, helyesebben legtöbbnyire millió elektronvoltokban /MeV/. S ha ismerjük azt a törvényszerüséget, mely szerint a sugárzások energiájukat leadják, ez a törvényszerüség azt is meghatározza, meddig terjedhetnek tovább ezek a sugárzások. Az energiaátadás törvényszerüségét a sugárzástipus ionizáló képessége s annak az anyagnak jellemzői szabják meg, melyen a sugárzás áthalad. Az átadott energiamennyiség függ ezenkivül a kibocsátott sugárzásmennyiségtől is.

Amint az előzőkben mondottuk, az ionizáló sugárzások atom- vagy magreakciókból keletkeznek. Ezek a reakciók különböző módon jöhetnek létre.

1. Természetes rádioaktiv anyagok /4/: Egyes elemeknek vannak a természetben olyan izotópjaik, melyek természetüknél fogva instabilok. Azon reakció folyamán, mely ezeket az izotópokat stabil izotópokká alakitja át, sugárzásokat bocsátanak ki. Ezek közé tartozik a rádium. Ezek az anyagok azonban drágák, mert nem nagy számban fordulnak elő és minthogy természetes állapotukban alacsony koncentrációjuak, koncentrálni kell őket ahhoz, hogy felhasználhatók legyenek.

/2/ Az a jelenség, melynek folyamán az atomok vagy a részecskék elektromos töltéssel gyarapodnak.

/3/ Két neutronból és két protonból álló, pozitiv töltésü részecske.

/4/ Néhány szót kell szólnunk a rádioaktiv anyagok tulajdonságairól. Minden rádioaktiv izotópot az általa kibocsátott sugárzások tipusaival és energiájával /ival/ jellemezhe-

./.

2. Mesterséges rádioaktiv anyagok: Különböző magreakciók segitségével majdnem minden elemnek elő lehet állitani rádioaktiv izotópjait. A magreaktorban hasadás utján keletkezett legtöbb uj atom rádioaktiv. Ezek a hasadási termékek kémiai uton elválaszthatók, avagy az üzemanyag kezelése után hasadási termékkeverék alakjában felhasználhatók, hacsak nem használjuk magát az üzemanyagot kezelés előtt sugárforrásként. A nem rádioaktiv izotópok ezenkivül ugy is átalakithatók rádioaktiv izotópokká, hogy magreaktorban neutronokkal besugározzuk. Ez az eljárás igen fontos eszköze a rádioaktiv izotópok előállitásának, mert lehetővé teszi rendkivüli tisztaságu anyag neutronokkal való besugárzását s ezzel feleslegessé, de legalábbis egyszerübbé válik a további tisztitás. Rádioaktiv izotópokat elő lehet állitani elektromágneses készülékekben, ugynevezett gyorsitókban lejátszódó magreakciók utján is. Kezdetben minden rádioaktiv izotópot gyorsitókban állitottak elő, azonban néhány izotóp kivételével, atommáglyában olcsóbban és nagyobb mennyiségben állithatók elő. Az iparban használatos izotópok gyártása terén gyakorlatilag a máglya foglalta el a gyorsitók helyét.

3. Gyorsitó berendezések: Az egyes tipusu gyorsitókban előállitott nagyenergiáju részecskék a sugárzások egy formáját képezik. Maguk a gyorsitók kényelmesen kezelhető sugárforrásként, nevezetesen elektronforrásként használhatók ipari célra.

74/ lábjegyz. folyt.: -tünk. Igy a kobalt-60 gamma-sugarakat bocsát ki, melyek 1,33 és 1,17 MeV energiájuak, a foszfor-32 1,71 MeV energiáju béta-sugarakat s a cézium-137 0,662 MeV-es gamma-sugarakat s 0,52 MeV és 1,12 MeV energiáju béta sugarakat bocsát ki. Ezenkivül minden rádioaktiv izotóp karakterisztikus törvényszerüséggel bocsát ki sugárzásokat, amely általában a "felezési idő"-vel vagyis azzal az idővel fejezhető ki, mely a rádioaktiv anyag felének elbomlásához szükséges. Ezek a felezési idők a másodperc néhány apró töredéke és többezer év között változnak. A rádioaktiv anyagmennyiséget általában "curie"-kben fejezik ki. Egy curie-nyi anyagban $3,7 \times 10^{10}$ atom bomlik el és bocsát ki sugárzást másodpercenként. A curie nem számitható át automatikusan más energiaegységre, itt számitásba kell venni a sugárzás tipusát és energiáját. A könnyebbség kedvéért megjegyezhetjük, hogy 1000 curie-nyi kobalt-60 körülbelül 15 watt energiáju gamma-sugárzást hoz létre.

4. Magreaktorok: A hasadás folyamán óriási mennyiségekben keletkezik rádioaktivitás és ugyanakkor nagyszámu neutron. Ennek az aktivitásnak jelentős része gyorsan eltünik s a továbbiakban már nem használható fel. De a máglya maga sugárforrásként használható s igy ez a rövid időtartamu aktivitás mégis hasznositható.

5. Egyéb források: A röntgenkészülékek már ismeretesek egy idő óta és jelenleg talán a legelterjedettebb sugárforrások. Azonban ha intenziv vagy nagy energiáju sugárzásra van szükség, a röntgenkészülékek nem bizonyulnak megfelelőnek, mert nem igen alkalmasak az elektromos energiának sugárzássá való átalakitására.

Atom- vagy magreakciók közbenjöttével egy-egy sugártipusból más sugárzástipust hozhatunk létre. Igy a rádium alfasugarainak a berilliumra gyakorolt hatásából neutronok keletkeznek. A béta-sugárzásnak egyes elemekkel létrejövő kölcsönhatása fékezési sugárzást, a röntgensugaraknak egy kisenergiáju alakját hozhatja létre.

Sugárforrások nyerése és azok használati ára

A sugárforrások létesitésének módjait és alkalmazásuk költségeit könnyebben vizsgálhatjuk, ha a következőképpen osztályozzuk őket:

1. Kevés rádioaktiv anyag, azaz a curie töredékei, millicuriek /0,001 curie/ és mikrocuriek /10^{-6} curie/.

2. A curietől a kilocurie-ig terjedő rádioaktiv anyagmennyiségek és kisteljesitményü készülékekből származó sugárforrások.

3. A kilocurietől a megacurie-ig /millió curie/ terjedő mennyiségü rádioaktiv anyag, a máglyák és sugárforrások nagyteljesitményü készülékek /gyorsitók/.

Az 1. és 2. kategóriába tartozó forrásokhoz általában, néhány megszoritással könnyen hozzájuthatunk. Rövid felezési idejü anyagokat például nem lehet a termelési központtól távol előállitani s ezen csak ugy lehet segiteni, ha a felhasználás helyén vagy annak szomszédságában állitunk fel máglyákat és gyorsitókat. A kutatási alkalmazásokat kivéve azonban az ipari

alkalmazás legtöbb területén nincs szükség igen rövid felezési idejü rádioaktiv elemekre. Másrészt rádioaktiv anyagot bőven tartalmazó /nagy specifikus aktivitásu/ anyagok, melyekre egyes ipari alkalmazásoknál van szükség, nem állnak korlátlanul rendelkezésre. Ilyenek előállitását nagyobb neutron-fluxussal rendelkező máglyák épitésével igyekeznek fokozni. Az itt emlitett korlátozó körülmények közül sem az egyik, sem a másik nem befolyásolja jelentősen az izotópok ipari célra történő elosztását.

A harmadik kategóriában emlitett sugárforrások ritkábban kerülnek alkalmazásra. Vannak gyorsitók, melyek kilowattonként kb. 100 000 dolláros költséggel müködnek, s korlátolt mennyiségben előállithatók kilocurie nagyságrendü források, ahol a már felállitott és használatra kész készülékhez alkalmazott rádioaktiv elemek ára kilowattonként több mint 500 000 dollár. A jövőben nagyobb források fognak rendelkezésre állni s számolhatunk azzal, hogy a nukleáris technika fejlődése mérvében az árak jelentősen mérséklődni fognak. Kiszámitották, hogy a gyorsitók tőkeberuházását sorozatgyártásnál kilowattonként 10 000 dollárra lehetne csökkenteni s több ország máris bővíti azon berendezéseit, melyek segitségével kilocurie és megacurie nagyságrendü, rádioaktiv izotópokat alkalmazó sugárforrásokat lehet előállitani.

Ipari célra szolgáló felszerelés és berendezések

Ahhoz, hogy a sugárzásokat hasznositsuk, detektáló és mérőkészülékekre, valamint olyan berendezésekre van szükség, melyek a müveletek teljes biztonságban történő elvégzését biztositják. A sugárzások az általuk kifejtett hatásokból mérhetők. A mérőfelszerelés tekintetében, nemcsak sokféle detektor között, hanem változó elrendezésü, a detektor által szolgáltatott adatok értelmezésére szolgáló áramkörök között válogathatunk. Az árak ugyancsak tág határok között változnak, néhány dollártól több tizezer dollárig. A költségek közül első helyen állnak és jelentős összeget tesznek ki az adatregisztráló és

feldolgozó rendszerek, melyek alapelve az emberi munka helyettesitése.

Sok változatban léteznek sugárvédelmi berendezések is, melyek a sugárzásokkal dolgozó személyek védettségét biztositják. A felszerelésbeli választék az egyszerü csipesztől és ólomkockáktól a távvezérelt manipulátorokkal ellátott nagy betonkazamatákig változhat. Különböző tényezőkkel kell számolni: a sugárzás rádioaktivitásának mennyiségével, tipusával és energiájával, az elvégzendő munka vagy átalakitás természetével és a karbantartási szükségletekkel.

B/ Az ipari alkalmazás példái

A sugárzások ipari alkalmazásairól néhány tanulmány már megjelent. /5/ Egyik sem mondható teljesnek, mert az ipari alkalmazás skálája széles; egy mostanában készült kimutatás több mint 2000 csoportról ad számot, /6/ melyek közül néhányat példaképpen megemlitünk. A könnyebb tárgyalás céljából az ipari alkalmazásokat az alapul szolgáló fizikai elv szerint három csoportba osztották: 1. a sugárzások vagy rádioaktiv anyagok detektálása és mérése, 2. az anyag hatása a sugárzásra, 3. a sugárzás hatása az anyagra.

Sugárzások detektálása és mérése

Ez az alkalmazási mód két jelenségen alapul: az atomsugárzások áthatolnak a látható fény számára átlátszatlan anyagokon, másrészt a sugárzásokat detektáló készülékek igen érzékenyek. Számlálási müveletek és megfelelő statisztika segitségével felfedhetjük egyetlen atom karakterisztikus sugárzásának hatását.

A rádioaktiv anyagokat nyomon tudjuk követni a fizikai, vegyi és biológiai folyamatok során. Az alkalmazásnak ez a módja, melynél a rádioaktiv anyagok "nyomjelzők" szerepét töltik be, igen elterjedt az iparban. Például az olajvezetékeket a petróleumiparban általában különböző minőségü petróleumtermé-

/5/ Lásd pl. "Az atomenergia békés felhaszn.nemzetk.konferenciája aktái"-nak /XIV.k./ az 1.-i ülésen bemutatott okmányait.

kek egymásutáni szakaszokban való szállitására használják, amely termékeket azután a vezetők kimeneténél külön kell választani a tárolóberendezésekhez való továbbitás céljából. Ha a különböző olajszállitmányokat elválasztó felületre rádioaktiv anyagot fecskendeznek be, sugárdetektor segitségével ugy lehet müködtetni a zsiliprendszert, hogy a különböző olajszállitmányokat elválassza. /7/

A földalatti olajvezetékekbeli szivárgások jelzésének klasszikus módszere a nyomáskülönbségen alapul. Ez azonban, különösen a kisebb szivárgásoknál, elégtelen. Ha az olajvezetékekbe rádioaktiv anyagot fecskendeznek be és azt továbbitják, meg lehet állapitani a szivárgás keletkezése helyén fennálló rádioaktivitást. Hasonló módszert alkalmaznak általában a telefonvezetékek szakadásainak kimutatására. /8/

A nagyolvasztók egy tüzálló téglájába beépitett rádioaktiv rud eltünésének kimutatásával meg lehet állapitani a burkolat használati idejének lejáratát. /9/

Igen hasznosak voltak a nyomjelzők a jármümotorok belső részeinek rozsdásodás miatti elkopása vizsgálatában. Ehhez a vizsgálathoz rendszerint ki kell szerelni egyes részeket és fel kell venni a jelzéseit. Jelzőanyagok segitségével ez üzemmegszakitás nélkül elvégezhető. Például egy vizsgálati laboratóriumban a dugattyugyürü kopásvizsgálata, mely négy évig tartott és 30 000 dollárba került nyomjelzők segitségével, egyes becslések szerint a klasszikus módszerekkel 1 millió dollárba került volna és 60 évet vett volna igénybe.

A kutatás területén a nyomjelzők rendkivüli érzékenysége azzal a lehetőséggel párosulva, hogy összetett molekulákban jelezni tudnak meghatározott atomokat, egyébként megvalósithatatlan kisérleteket tett lehetővé.

Ugyancsak rádioaktiv nyomjelzőkhöz folyamodnak az iparban a vegyi átalakulások nyomonkövetésére. Kémiai analiziseknél az aktiválással történő mérések egyes esetekben ponto-

---

/6/ "Industrial utilization of radioisotopes 1946-1956", Atomic Industrial Forum, New York, 1956 aug.
/7/ Egyesült Államok, P/308, vol.XIV.
/8/ Jan. 7-i ülés XIV. vol.
/9/ Szovjetunió, P/707, vol. XV.

sabbak. Az anyag neutronokkal történő besugárzás után rádioaktivvá válik; ha lemérjük a szerzett rádioaktivitás erősségét és energiáját, kimutathatunk egyes olyan izotópokat, melyek a milliomodrésznél kisebb arányban vannak jelen.

Ezek az alkalmazási módok főleg a kutatás és a gyakorlati vizsgálatok területére korlátozódnak, mert a jelenlegi biztonsági követelmények gyakorlatilag tiltják rádioaktiv anyagoknak fogyasztásra szánt termékekbe való bevitelét.

Az anyag hatása a sugárzásra

A sugárzások az anyagon áthaladva leadják energiájuk egy részét és igy elnyelődnek. Egy anyag elnyelőképessége specifikus tömegének és vastagságának függvényeként fejezhető ki. A sugárzások tehát felhasználhatók ezen két mennyiség mérésére. Továbbá módot adnak e mennyiségek átlátszatlan tárgy belsejében bekövetkező változásának kimutatására.

Ezeknek az elveknek ipari alkalmazásai közé tartozik fémöntvényekben és más tárgyakban az öntési hibáknak rádiográfiával való kimutatása, rádiográfiás eljárás vastagság és specifikus tömeg-mérésre, átlátszatlan tartályokban lévő folyadékok nivómeghatározására stb. A rádiográfiának vastagságmeghatározásoknál az a fő előnye, hogy nem kell, mint más módszereknél, fizikailag érintkezésbe kerülni a mérendő anyaggal. Ilyen módon nyujtható anyagok, mint a rézfóliák, valamint a papir vastagsága mérhető az anyag érintése nélkül s igy nem kockáztatjuk azt, hogy esetleg eladhatatlanná válik. A sugárdetektorok egyébként jól alkalmazhatók automatikus vizsgálatra, mert elektromos berendezéssel müködnek.

A vastagság sugárzásokkal történő mérésének még az az előnye, hogy meg lehet határozni belső burkolatok vastagságát.

Olajvezetékek rozsdásodását ilyen módon üzemmegszakitás nélkül, sőt szakaszkiiktatás nélkül is mérni lehetett. E módszer pontossága állitólag ± 4 %-os. /10/

/10/ Egyesült Királyság, P/395, vol. XIV.

Radiográfia alkalmazásánál a rádioaktiv sugárforrásoknak az az előnyük, hogy elég kicsinyek, s igy csövekhez vagy más szük terekhez alkalmasak. Ezáltal olyan rádiográfiákra van lehetőség, amelyeket eddig sugárzáskeltő készülékekkel nem lehetett megvalósitani.

A sugárzás hatása az anyagra

A sugárzás által átadott energia-okozta átalakulásokat az iparban két módon használják fel: meglévő ipari eljárások kiegészitéséül, és uj eljárásoknál és termékeknél, ahol lényeges szerepet töltenek be.

Az első csoportban megemlitjük: az erősen ionizáló alfa-sugarakat, melyeket egyes készülékek, mint a nyomdasajtók és más mozgó gépek müködését gátló statikus elektromosság kiküszöbölésére használnak. A polónium sugárzása ionizálja a levegőt annak a felületnek környezetében, melyen a statikus villamostöltés felhalmozódik; s igy a statikus elektromosság el tud oszlani. A gépek gyorsabb müködéséből adódó termelékenységnövekedést 20-50%-ra becsülték. /11/ Egy másik alkalmazási mód "hideg"-katódos elektroncsöveknek tritiummal való töltése. Az alfa-sugarak bizonyos mértékben ionizálják a töltőgázt, s igy gyorsitják a csövek begyulladását. A foszforeszkálást fényjelekre és jelzésekre alkalmazzák. Egyes esetekben a rádioaktiv izotópok helyettesitették a rádiumot, mert jóval olcsóbb áron megfelelőbb energiákat és sugárzástipusokat szolgáltatnak.

A második kategóriában emlitett ipari alkalmazások legtöbbje még kutatás és az első kisérletezés állapotában van. A kidolgozott alkalmazási módok főleg vegyi eljárásokra vonatkoznak. Például folyamatban vannak kutatások a gumi hideg-, vagy kénmentes hegesztése irányában /12/. De már megjelentek a piacon egyes uj termékek, melyeket sugárzások alkalmazásával nyertek. Például, ha politetilént besugározunk, olyan molekulaszerkezeti változásokon megy át, hogy magasabb hőmérsékleteken sem olvad, főleg a villamosiparban nyer alkalmazást. Számos laboratóriumban folytatnak kisérleteket más plasztikus anyagokkal.

/11/ Egyesült Királyság, P/395, vol. XIV.

Van egy másik uj ipari termék: a nukleáris akkumulátor, amelyben a sugárzások által keltett ionizáció hoz létre elektromos feszültséget. Az eddigi készülékek azonban csak kis áramerősséget szolgáltatnak és különleges célokra használják őket.

Az ipari alkalmazások jelentősége

Nem egy ország öt-hat év alatt 1:10, vagy még nagyobb arányu növekedést mutat ki a rádioaktiv anyagok ipari alkalmazása terén. /13/ A sugárzások legelterjedtebb alkalmazási módja, több ország közleményei szerint, a rádiográfia. /14/ Sürün alkalmazzák a sugárzásokat vastagság- és specifikus tömegmérésre is.

Az Egyesült Államok statisztikát készitett arról, hogy hány ipari szerv alkalmazott 1956. évben rádioizotópokat; az eredmény a következő /15/ :

Mérések: vastagság, 308, egyéb mérések: 112;
Rádiográfiai vizsgálat: 350;
Sugárhatások: 88;
Rádioaktiv izotópok kezelése és forgalombahozatala: 56;
Lumineszkáló anyagok és foszfor: 49;
Ionforrás: 44;
Kopásvizsgálat: 38;
Alapvető vizsgálatok /kutatás és első alkalmazás/: 27;
Aktiválással történő analizis: 25;

/13/ Egyesült Államok, P/308, vol.14; H.H.Seligman az "Atomic Energy" c. függelékben, The Financial Times /London/, 1956. ápr.9.; az USA AEC félévi jelentése, 1956 dec.; Egyesült Államok, P/330, vol. XIV.

/14/ Egyesült Államok, P/330, vol.XIV; P/801, vol.XIV; P/914; vol. XIV; P/1039, vol.XIV.

/15/ "Industrial utilization of radioisotopes 1946-1956", Atomic Industrial Forum, New York, 1956 aug.

Szivárgáskimutatás: 24;
Katalizátorvizsgálat és katalitikus folyamatok: 16;
Az AEC részére végzett kutatások: 15;
Tisztitóanyagok vizsgálata: 13;
Rádioaktiv akkumulátorok: 13.

Egy további adatkutatás során, melyet az Egyesült Államokban végeztek, a következő felvilágositásokat nyerték a mesterséges rádioizotópok alkalmazásáról: /16/

A különböző területeken, különböző készülékeknél alkalmazásra került rádioaktiv izotópoknak tulajdonitható évi /1956/ megtakaritások összegszerü becslése /17/

	Évi megtakaritás millió dollárban	
	Becsült minimum	Becsült maximum
Cigaretták tömöttségmérése Engedélyezve kb. 2235 készülék	35,1	58,6
Fémek vastagságmérése Engedélyezve kb. 185 készülék	18,5	27,8
Gumi és pneumatikbélés vastagságmérése. Engedélyezve kb.120 készülék	7,9	20,0
Müanyagok és tapadóanyagok vastagságmérése. Engedélyezve kb. 108 készülék	1,6	4,9
Papir- és rokon anyagok vastagságmérése. Engedélyezve kb.299 készülék	18,6	20,-
Egyéb cikkek vastagságmérése Engedélyezve kb. 130 készülék	2,0	5,9
Folyadékállás, nedvesség, hó stb. szintmérése. Engedélyezve kb. 300 készülék	1,8	5,4
Anyagok rádiográfiás vizsgálata Engedélyezve kb. 500 készülék	26,0	58,5

/16/ Egyesült Államok Atomenergiabizottsága: a 202-es szakoszt.-nak a Joint Congressional Committee on Atomic Energy, 1957 februári üléseire készitett dokumentációja.

./.

	Évi megtakarítás millió dollárban	
	Becsült minimum	Becsült maximum
Petróleumkutatásoknál furólyuk rádioaktiv vizsgálata	16,0	24,0
Petróleumkutak müködésének élénkitése	120,0	180,0
Olajvezetékek terhelése	0,5	0,7
Petróleumfinomitás	5,3	10,1
Egyéb, az iparban alkalmazott bemérések /jelzések/	12,5	25,0
Felszerelések kopásvizsgálata	0,8	1,2
Dugattyugyürük és hasonló cikkek kopásvizsgálata	12,0	18,0
Rozsdásodásvizsgálat	3,0	4,6
Egyéb ipari kutatás	12,0	18,0
Lumineszkáló források	1,7	2,7
Különböző ipari alkalmazások	0,5	0,8
Összesen:	295,8	486,2
Átlag:	391,0	

C/ Rádioaktiv anyagok szállitása

A rádioaktiv anyagok előállitási és felhasználási helye közötti távolságot teljesen biztonságos szállitási eszközökkel kell áthidalni. A szállitási költségek lényeges szerepet tölthetnek be főleg akkor, amidőn a fogyasztó az elosztóhelytől távol van, s a rövid felezési idejü anyagok használhatósága a szállitás időtartamától is függ. Végül pedig nagy szerepe van a biztonságnak olyankor, amidőn a szállitáshoz egyidejüleg más árukat vagy utasokat is szállitó járművet vesznek igénybe.

/Lábj.folyt. a tuloldalról/: /17/ Nincsenek beleértve a becslésbe egyéb sugárforrások; figyelmen kivül hagytuk például a röntgenkészülékek rádiográfiás ipari alkalmazásait.

Szállitási módszerek, szállitási költség

A rádioaktiv anyagok szállitási önköltségének lényeges része abból a szükségességből folyik, hogy gondoskodni kell a sugárzást olyan mértékben gyengitő védőberendezésről, amely mellett a szállitószemélyzet, az utasok, avagy baleset esetén a lakosság általában veszélyeztetve nincsenek. Az ezzel kapcsolatos költségeket különböző módon igyekeztek csökkenteni.

Az Egyesült Államokban 1948-tól 1954-ig az 1 curie-re eső rádioaktiv szállitmány átlagos sulyát 1400-ról 12 fontra csökkentették. A védőberendezésnek ezen sulycsökkentésén felül rátértek a vissza nem térő csomagolás alkalmazására, amely miután nem kell visszaszállitani, csökkenti minden szállitmány összköltségét. Ezek a csomagolások főleg kis aktivitásegységeknél használatosak, de még igy is jelentősen csökkentik a szállitási költségeket. A vissza nem térő csomagolások ezenfelül csökkentették a beruházandó tőkeösszegeket is. Ahol a korábban visszaszállitásra szánt csomagolás darabonként több mint 60 $-ba került, a most alkalmazott, vissza nem térő csomagolás nem egészen 1 $-ba kerül.

Egy másfajta költségcsökkentő intézkedés történt az Angliából a Dél-afrikai Unióba irányitott szállitmányoknál. 1946-tól 1948-ig a Dél-Afrikába küldött rádioaktiv izotópokat ólomburkolatba helyezve a repülőgép törzsében szállitották. 1948-tól kezdve az ólomburkolat jó részét kiküszöbölték, ezt aluminiumtokokkal pótolták, ami jelentékenyen csökkentette a szállitmány sulyát. Az ólom sugárelnyelő hatása helyett a távolság befolyását használják fel védelemként olymódon, hogy az aluminiumtokokat a repülőgépek szárnyai végén helyezik el. Hosszunyelü csipeszekkel ellátott készülékekkel végzik a szállitmányok be- és kirakását és ólomkamrákba való helyezését, melyeket aztán, viszonylag rövid távolságra, teherautókon szállitanak. Ilyen módon egyes esetekben a szállitási költség 100 font sterlingről 27 shillingre mérséklődött.

Szállitási időtartam

Rövid felezési izotópoknál döntő jelentőségü a szállitás időtartama. Itt főleg két tényező játszik közre: átrakás és vámolás. Utóbbit a felhatalmazott szervek és a vámhatóságok között kialakult együttmüködés alapján rendszerint meg lehet kerülni, miután a radioaktiv anyagok szállitására és átvételére szóló engedély előzetes kompenzációs megegyezéseket tételez fel. Az átrakás, ha több szállitási eszközzel történik a szállitás és menetrendszerü várakozási időkkel jár, hosszu időt vehet igénybe.

x x x

A radioaktiv anyagok és a sugárzások alkalmazásának kiterjedését nemzetközi vonalon történő intézkedések segitik elő.

Figyelemmel kell kisérnünk és fejlesztenünk kell a folyamatban lévő munkát az ismeretek terjesztése és szakemberek képzése érdekében.

Az egészségvédelem és a biztonság szintén igen fontos követelmény a sugárzások alkalmazásánál, s ha az atomenergia ipari alkalmazásának biztonságosságát fenn akarjuk tartani, nem téveszthetjük szem elől a kormány ellenőrzési rendszabályait, s a biztonsági intézkedéseket. Az együttmüködés szellemében már több ország alkalmaz hasonló biztonsági normákat. A bonyodalmak fő okai a szállitások rendszabályaiban és a sugárforrásokon elhelyezendő jelzésekre vonatkozó javaslatokban találhatók.

Az ipari besugárzó készülékek biztonsági problémája nem annyira sulyos, mint az atommáglyával összekapcsolt berendezéseké. A harmadik személyekkel szembeni felelősség a technika mai állásánál korlátozott; biztonsági rendszabályok tiltják radioaktiv anyagoknak fogyasztásra szánt termékekhez történő keverését és a létező besugárzó berendezések nem rejtenek magukban olyan óriási mennyiségü radioaktivitást, mint amennyi egy reaktorban szabadulhat fel. Magánbiztositó-társaságok megvizsgálták a fennálló lehetőségeket a biztositók európai bizott-

sága által kidolgozott kockázatfedezet tekintetében,s megállapitották, hogy a javak és termékekkel kapcsolatos felelősség, valamint a harmadik személyekkel szembeni felelősség tekintetében kielégitők az intézkedések, de megjegyzik, hogy helyes lenne arra törekedni, hogy bővebb időszerü tájékoztató adatot szerezzenek be,s azok alapján állapitsák meg a dijtételeket.

III. fejezet

MENNYIBEN JÁRULHAT HOZZÁ AZ ATOMENERGIA A MEZŐGAZDASÁG ÉS A VELE KAPCSOLATOS IPAROK FEJLŐDÉSÉHEZ

Jelen fejezetünk nem csupán a szorosan vett földmüvelésre, hanem egyuttal a halászat, erdőgazdaság és az emberi táplálkozásra is kiterjed. A "mezőgazdaság" szót általában legtágabb értelemben kell felfognunk. Miután jelen közlemény nem kimondottan technikai ismertetés, következésképpen nem sorolja fel kimeritően az egyes speciális alkalmazási lehetőségeket. Számos ilyen alkalmazás technikáját az atomenergia békés felhasználásával kapcsolatos konferencián, 1955 augusztusában, Genfben megfelelően ismertették a résztvevő országok képviselői és ezeket az Egyesült Nemzetek által kiadott jelentésben publikálták.

A különböző módozatokat, melyek szerint az atomenergia hozzájárulhat a Földön gyorsan szaporodó népesség táplálkozásának, öltözködésének és lakásviszonyainak javitásához, három paramétertől függően vizsgálhatjuk. Ez nem más, mint a három legfőbb módszer, melyeket az emberi élet elsődleges szükségletei termelésének növelésére használnak. 1. A termelésnél, tárolásnál és elosztásnál mutatkozó veszteségek csökkentése, 2. a földmüvelésben és egyéb ma használt táplálkozási forrásokban fejlettebb technika alkalmazásával a terméshozam növelése és 3. ujabb területek és ujabb erőforrások kihasználása. Ebben a háromirányu tevékenységben az atomenergia számos alkalmazási lehetőségével óriási segitséget tudna nyujtani min-

den országnak az általa termelt élelmiszermennyiség és átlagos életszinvonala növelésében. Jelen fejezetünkben megkíséreljük azt, hogy megvizsgáljuk,miként és milyen feltételek mellett lehetne ez a remény mielőbb valósággá.

Röviden, az alkalmazási terület három főkategóriáját fogjuk vizsgálni: sugárzás alkalmazása élelmiszerek tartósitására, fajták javitása sugárzás alkalmazásával, valamint radioaktiv elemek felhasználása az agronómiai kutatásban; ez a három alkalmazási terület hathatósan szemlélteti, hogy milyen fontos szerep vár az atomenergiára a mezőgazdaság fejlesztésében. Az atomenergia melléktermékei - sugárzás és radioaktiv elemek - olyan lehetőségeket tárnak elénk, melyek közvetlen fontosságuak a mezőgazdaság és az élelmiszer-termelés terén. Következésképpen erről elég bőven beszélünk, hogy irányt mutassunk a kormányok által ez irányban történő azonnali, vagy a legközelebbi jövőben lehetséges megfelelő intézkedéseknek.

A sugárzás alkalmazását az élelmiszerek tartósitása és a fajtajavitás céljára elég részletesen fogjuk tárgyalni, mivel az ilyen tipusu alkalmazás gyökeresen uj módszert jelent a problémák megoldására,és miután sokat irtak erről, kivánatos, hogy lehetőleg teljességében ismertessük mindazt, amit ez idő szerint lehetőségeiről és korlátozottságáról tudunk. Az a sokkal felületesebb mód, mellyel a radioelemeknek az agronómiai kutatásban játszott szerepéről beszélünk, semmiképpen sem jelenti a három fő alkalmazási kategória relativ fontosságát, gazdasági szempontból.

A FAO által a Genfi Konferencián benyujtott emlékiratban emlitett több alkalmazási módot kihagytunk, jóllehet ezek közül egynéhány ugyancsak igen érdekes lehet.

B/ Sugárzások alkalmazása élelmiszerek tartósitására és előkészitésére

Az utóbbi években fordultak nagy figyelemmel a felé a lehetőség felé, hogy az ionizáló sugárzásokat az élelmiszerek tartósitására felhasználják, és egyidejüleg komoly kutatási munka kezdődött ezen a vonalon. Ez a tény óriási érdeklődést

keltett mind a közönség, mind az élelmiszeripar vezetőinek körében. Ha végeredményben csak egy bizonyos számu elgondolás valósul is meg a lehetőségek közül, az élelmiszerek tartósitása terén, az mindenesetre nagy fejlődést fog jelenteni.

A módszer természete

Az ionizáló sugárzások alkalmazása az élelmiszerek tartósitása terén, a romlást előidéző mikroorganizmusokat és férgeket elpusztitó hatásukon alapszik. A besugárzási eljárást különösen az teszi vonzóvá, hogy nem növeli észlelhetően a tápanyagok hőmérsékletét az eljárás során. A besugárzás alkalmazása tehát lehetővé teszi, hogy a romlandó élelmiszerek frissen való forgalombahozatalának területét növeljük.

Bizonyos, megfelelő csomagolás után besugárzott élelmiszerek, ahol a csomagolás megakadályozza az ujabb szennyeződést, sokkal tovább lesznek tárolhatók üzletekben, akár normális hőmérsékleten, akár hütőházban. A csomagolás besugárzás előtt történhetik és hőérzékeny csomagolóanyag, mint a különböző plasztikanyagok, vagy a szokásos merev anyagok alkalmazhatók erre a célra. Következésképpen ez az eljárás nagyon megfelel az élelmiszeripar mai mechanizálási irányzatának és a csomagolt áruelosztásnak, és nem szabad megfeledkeznünk a mind népszerübbé váló félig kész áruk kiskereskedelmi forgalombahozataláról, melyek a háziasszony munkáját nagymértékben megkönnyitik.

Az élelmiszerek romlása azonban nemcsak mikro-organizmusoknak tulajdonitható, ugyanilyen hatást fejtenek ki a benne természetesen előforduló enzimek, vagy a tisztán kémiai elváltozások, mint pl. az oxidáció, ami avasodásra vezethet. Ha az enzimek a viszonylag könnyü, hő által történő sterilizáció utján ártalmatlanná tehetők is, sugárzással megengedhetetlenül nagyintenzitásu dózisokra lenne ehhez szükség, az ártalmas kémiai elváltozásokat a besugárzás pedig semmiképpen sem tudná megakadályozni. Igy tehát a besugárzás önmagában nem teljesiti mindazt a feltételt, melyet az élelmiszerek tartós friss

állapotban való megőrzésének módszere megkövetel, mindenesetre azonban olyan vonzó lehetőségeket tár elénk, melyek megérdemlik a részletes kutatómunkát.

Máris kiterjedt irodalom foglalkozik ezzel a kérdéssel, de még mindig sok munkára van szükség mielőtt az élelmiszerek tartósitása besugárzási módszerrel elterjedt ipari eljárássá válnék.

Sugárforrások

Az élelmiszerek tartósitásának ez a módszere nagyrészt azért érdekes, mert fontos felhasználási teret nyujt az atommáglyák müködésével járó radioaktiv melléktermékeknek. A reaktorok kimerült tápelem-tokjaiban található hasadási termékek felhasználási lehetőségén kivül megvizsgálták kémiai elválasztással kapott egyes radioaktiv izotópok, továbbá reaktorokban speciálisan előállitott izotópok, valamint a reaktortömbben való bizonyos elhelyezés, sőt egy különlegesen erre a célra felépitett reaktor alkalmazásának lehetőségét is. Fejlődésükkel párhuzamosan tanulmányozták az eléggé nagy intenzitásu elektromos gépek által létrehozott sugárzás felhasználásának lehetőségét. Mindezen sugárzási források technikai, anyagfelhasználási, vagy gazdasági szempontból előnyökkel és hátrányokkal rendelkeznek és sok kutatás folyik az irányban, hogy meghatározzák,melyik módszer felel meg a legjobban az élelmiszerek besugárzására.

A problémák természete

Az élelmiszertartósitásban a besugárzás alkalmazásával kapcsolatban felmerülő problémák között szerepelnek azok a finom biokémiai módosulások, melyeket a sugárzás előidéz, és melyek szinben, konzisztenciában, átlátszóságban, szagukban vagy izükben zavaró változásokat okozhatnak. Ezek a zavaró behatások az élelmiszer természetétől, a besugárzás körülményeitől és a felhasznált sugárzás intenzitásától függnek. Legerősebb olyan nagyintenzitásu sugárdózisoknál, melyek ipari jellegü

sterilizáció elérésére szolgálnak. Ezek közül a hatások közül legalább egynéhányat csökkenteni lehet vagy különleges kezeléssel, mint amilyen pl. az alacsony hőmérsékleteken történő besugárzás /azonban az alacsony hőmérséklet bizonyos mértékben védi a microorganizmusokat/ vagy bizonyos védelmi anyagok alkalmazásával.

Addig, amig a besugárzott termékek nem válnak teljesen elfogadhatóvá, a tartósitás eme módszerének összes előnyeit nem tudjuk élvezni. Éppen ezért a kutatás nagyrésze most arra irányul, hogy megtalálják azt az eszközt, mellyel urrá lehetnek ezeken az ugynevezett "másodlagos" hatásokon.

Ezen a vonalon felmerülő problémák igen nehezek, mivel az élelmiszerek kémiai összetétele igen bonyolult és mivel ezek a káros elváltozásokat előidéző anyagok egészen parányi mennyiségekben vannak jelen. Hus, szárnyas, hal és zöldség-minták semmiféle külső vagy izbeli elváltozást sem mutattak nagy intenzitásu dózisokkal történt kezelés után és teljesen elfogadhatónak bizonyultak több hónapos szobahőmérsékleten való tárolás után is. Más, ugyanebbe a csoportba tartozó élelmiszerek viszont sokkal hajlamosabbak arra, hogy kellemetlen változáson menjenek át. Különösen a tej és tejtermékek azok, melyek mindmáig nem alkalmasak ilyen módon való tartósitásra.

Ezek a fogyasztó igényei által támasztott kifogások sokkal kevésbé lépnek fel olyankor, ha jóval kisebb sugárintenzitást használunk, mint amekkora a sterilizációhoz szükséges. Igy kapjuk az un. "radiopasztőrözés"-t, mely tapasztalat szerint lényegesen meghosszabbitotta a friss hus, zöldségek és igen hamar romlandó gyümölcsök boltban való tárolásának idejét. Megfigyelték, hogy még a pasztőrözéshez szükséges besugárzásnál is kisebb dózisokkal meg lehet szüntetni a kicsirázást vagy csökkenteni a tárolásnál beálló sulyveszteséget az olyan növényeknél, mint a burgonya, hagyma és ehető gyökerek, továbbá el lehet pusztitani olyan az élelmiszerekben található organizmusokat, melyek parazitáknak tulajdonitható megbetegedéseket okoznak, mint a trichina a sertéshusban, vagy ki lehet irtani azokat a rovarokat, melyek a hüvelyesekben, gabonanemükben,

száritott főzelékben, gyümölcsökben és hasonló termékekben kárt okoznak.

A besugárzás alkalmazásával kapcsolatban egy másik fontos probléma merül fel éspedig az, hogy lehetséges, hogy a sugárzás által az élelmiszerekben előidézett bizonyos kémiai változások esetleg mérges anyagok képződésével járnak, melyek az emberre nézve ártalmasak. Számos kisérlet, melyek kapcsán állatokat és kisebb mértékben embereket etettek besugárzott tápanyagokkal eddig még egyetlenegy esetben sem bizonyitotta be az ilyen élelmiszerek ártalmas voltát, sőt azt sem lehetett kimutatni, hogy az élelmiszerek tápértéke némiképpen csökkent volna. A sugárzás tehát nem változtatja meg tápértéket. Ha valami hatást tapasztaltak, akkor az bizonyos, de nem minden vitaminra vonatkozott és az ezeknél észlelt elváltozás sem nagyobb, mint amilyent hőkezelés következtében tapasztalhatunk. Ismételt mérési kisérletek azt bizonyitják, hogy a besugárzásnál alkalmazott energianivók esetében semmiféle maradék-radioaktivitás nem tapasztalható az élelmiszerekben, ezt a tényt elméleti számitások is alátámasztják.

Mindamellett, tekintve, hogy ezek a kérdések, melyek kapcsolatosak a közönség részéről a besugárzással szemben támasztott bizalommal, rendkivül fontosak, feltétlenül ki kell mutatni, hogy teljesen biztonságosak és semmiképpen sem veszélyeztetik az egészséget akkor sem, ha hosszu időn át, nagymennyiségben fogyasztunk ilyen élelmiszereket. Az Egyesült Államokban tehát kisérleti vizsgálatokat inditottak, hogy programszerüen kitapasztalják állatok és önkéntesen jelentkező emberek ilymódon történő táplálkozását. Valószinüleg 5 évig fognak tartani és a besugárzott élelmiszerek szabad forgalombahozatalát csak az ilyenirányu kisérletek kielégitő eredményei birtokában engedélyezik. Kevés valószinüség van arra, hogy ez a törvényes engedélyezés az Egyesült Államokban 1959 vagy 1960 előtt bekövetkezzék. Előreláthatólag erre az időre laboratóriumi szinten és ellenőrzés melletti alkalmazás terén elég tapasztalat áll majd rendelkezésre, hogy bizonyos élelmiszerek sugárzás utján való tartósitását gyakorlatilag bevezessék, de az általános ipari alkalmazás elterje-

dése előtt még egyéb fontos müszaki kérdéseket is meg kell oldani.

Ami a besugárzással járó költségeket illeti, még nem rendelkezünk megfelelő számszerü adatokkal, hogy ipari vonalon költségszámitásokat eszközölhetnénk, de a jelenlegi becslések alapján ugy látszik, hogy olyan határok között mozog, melyek versenyképessé teszik majd a klasszikus tartósitási módszerekkel.

A besugárzás mint kiegészitő eljárás az élelmiszertartósitásnál

Általános vélemény szerint, nem valószinü, hogy a besugárzás belátható időn belül helyettesiteni fogja a többi tartósitási eljárást, hanem inkább kiegészitő folyamatként fogják alkalmazni megfelelő körülmények között bizonyos meghatározott célokra. Tudjuk, hogy az élelmiszertartósitási módszerek közül, mint a fagyasztás, hő általi sterilizálás, vegyszerek alkalmazása, valamint a száritás, mindegyiknek megvannak a maga előnyei, a különböző élelmiszerfajták szempontjából és attól függően, hogy milyen fejlődést értek el gazdaságossági és müszaki vonalon.

A besugárzás egyelőre költséges eljárás, mivel a sugárforrások és a szükséges védelmi berendezések sokba kerülnek és nagy a fenntartási és üzemeltetési költség is. A kiadások mértéke a dózis intenzitásától is függ. Éppen ezért különös figyelemmel foglalkoznak kisintenzitásu dózisok alkalmazásának kérdésével; a dózisintenzitás csökkentésével ugyanis csökken a sugárveszély, tehát a védelmi berendezések költsége és a besugárzott élelmiszereknél tapasztalható esetleges kellemetlen elváltozás is kisebb mértékü lesz. Minél kisebb azonban a dózis intenzitása, annál kisebb a hatása és a tartósitás annyival rövidebb időre szól. Éppen ezért sokan érdeklődnek olyan módszer kifejlesztése iránt, melynél a szokványos tartósitási eljárásokat, mint a fagyasztást, részbeni hőkezelést, némi besózást, vagy antibiotikumok használatát összekapcsolnák su-

gárkezeléssel. A jelenleg folyamatban lévő vizsgálatok deritenek majd fényt a probléma ilyen megoldásara vonatkozolag es megmutatják, mit lehet ezen a téren megvalósitani és hol kell megállni a módszerek összekapcsolása tekintetében.

Alkalmazási területek

Különösen sokatigérőnek látszik magtárakban tárolt elelmiszerekben, mint szára: főzelékekben, gabonanemüekben, szárított gyümölcsökben kárttevő rovarok kipusztitása besugárzas segitségével. Ugyanakkor azonban a tárolóhelyet is meg kell szabaditani a parazitáktól, hogy ujabb elszaporodást elkerüljünk, ez azonban nehézkes kikötői tárhazakban; melyeknél más eljárásokat alkalmaznak, közülük egynéhany igen egyszerü és hatásos. Hasonló termékeknél csomagolt állapotban a besugárzás igen előnyös lehetőségeket nyujt. Burgonya csirázásának megakadályozása és ehető gyökerek raktáron való tárolasának meghosszabbitása szintén sok lehetőséget igér, de ezen a területen is vannak olyan egyszerü és hatásos eljárások, melyek versenyképesek lehetnek a besugárzással.

A dolgok jelenlegi állása szerint a legnagyobb lehetőséget a husáru és egyéb viszonylag nagyértékü élelmiszerek tartósitása terén látjuk, melyek könnyebben birják el az önköltségi ár növelését, mint az olcsóbb élelmezési cikkek. Egyes szakemberek véleménye szerint besugárzás utján esetleg olyan ujabb konzervált élelmiszerekhez juthatunk, melyek más módon nem állithatók elő.

A besugárzás mint tartósitási eljárás megfelelő technikai ellenőrzést, gépekkel történő folyamatos kezelést és csomagolást kiván meg és a friss állapotban tartositott élelmiszereknél gyors szállitást, elosztást és megfelelő hütést igényel a kezelés és a házi felhasználás közötti összes lépésnél. Éppen ezért ez az eljárás csak akkor lesz igazán érdekes, ha igen fejlett iparral és jól megszervezett élelmiszerkezeléssel és elosztással rendelkező országban kerül alkalmazásra.

A besugárzással történő élelmiszertartósitás, érdekes lesz továbbá olyan országok számára is, melyek nagymennyiségü romlandó árut exportálnak, valamint azok számára, akik ilyen árut nagymennyiségben importálnak, akiknek ezt a kérdést ugyancsak figyelemmel kell kisérniök, legalábbis ami a közegészségügyi vonatkozásokat illeti.

Ezek szerint nyilvánvaló, hogy a legközelebbi jövőben az élelmiszerek besugárzásának kérdése, főleg a következő háromfajta országot fogja érdekelni: olyan országot, melynek belső gazdasági berendezése és iparosodási foka kedvez az eljárás kifejlesztésének, másodsor olyanokat, melyek nagy élelmiszerkivitelt bonyolitanak le, és harmadszor azokat akik ilyen élelmiszereket importálnak. Ezekben az országokban legalább egy-egy kis kutatócsoportot kell fenntartani, hogy a világban bekövetkező fejlődést figyelemmel kisérjék, hogy abban az időpontban, amikor az élelmiszerek besugárzása kereskedelmi gyakorlattá válik, azonnal bekapcsolódhassanak a tényleges megvalósitás munkájába.

Az ilyen természetü kutatómunka azonban nehéz és költséges. A kutató-csoportnak költséges berendezésre van szüksége és jól képzett, specializált tudományos kutatókból kell állnia. Számitásba kell venni ezenkivül a sugárforrások árát és a használatukkal járó veszélyt is. Ilyen kutatási programhoz nincs szükség nagymennyiségü élelmiszerre és nem kell nagy sugárforrással rendelkezni. A táplálkozási kisérletekhez azonban nagymennyiségü élelmiszerre és nagyobb teljesitményü forrásokra van szükség, márcsak azért is, mert ezeknek hosszabb időre kell kiterjedniök. Egy nagyszabásu kutatási program beinditásához nagy beruházásokra van szükség és kevés olyan ország van, mely megfelelő számu, kellően képzett kutatót tudna erre a programra beállitani. Ilyen kutatásokba megfelelő anyagi bázis és megfelelő létszámu kutatógárda nélkül belefogni, nem látszik ésszerünek. Ez tehát olyan terület, ahol a nemzetek közötti együttmüködés rendkivül indokoltnak és kivánatosnak látszik.

C/ Sugárzás alkalmazása növénynemesités céljából

Ismét egészen más területe a sugárzás alkalmazásának a növény és állatfajták nemesitésére való felhasználása. A sugárzás ilyen célra való alkalmazása attól a képességétől függ, hogy milyen mértékü átörökölhető változásokat, vagy mutációkat tud előidézni a főgenetikai elemek - gének vagy kromozómák - terén, melyek megszabják az élő szervezetek jellegzetességeit, tehát a zootechnikusok és agronómusok munkájának fő alapanyagát alkotják.

Kb. 30 éve bebizonyitották már, hogy a sugárzások képesek növényeknél és állatoknál mutációkat létrehozni. Ezek a kisérletek az Egyesült Államokban folytak röntgensugarak segitségével. Az utána következő években több európai, amerikai és ázsiai országban folytak kutatások egyes mezőgazdasági növényfajtáknak röntgensugarak segitségével történő nemesitése érdekében,azonban csak Svédországban és kisebb mértékben Németországban folytattak tervszerü kutatásokat.

Az atomenergia kifejlődésével lehetségessé vált más tipusu sugárzások alkalmazása is és ujból felébredt az érdeklődés a nemesités kérdése iránt. Ez főleg annak a nagy energiának köszönhető, amellyel az Egyesült Államok az utóbbi években erre a problémára ráfeküdtek és annak a lelkesitő példának, melyet a svédek szolgáltattak első röntgensugaras kisérleteik által kapott eredményekkel.

A sugárzás mind a növényi, mind az állati szelekció terén alkalmazható és az Egyesült Államokban máris tanulmányozzák annak a lehetőségét, hogy ilymódon esetleg növeljék a baromfiak tojáshozamát. - Egyébként azonban az állattenyésztés terén kevés ilyenirányu kutatás van folyamatban, mivel itt még sok nehézség merül fel és amellett az állatokkal való kisérletezés igen költséges.

Ami a növényeket illeti, a munka régóta a gazdasági növényekre összpontosul. Nagy reményekre jogosit a sugárzás a fafajták nemesitése tekintetében is, de tekintve ezek hosszu élettartamát, egy uj technika kidolgozásának kezdetén a fák nem nagyon megfelelő kisérleti alanyok. Mindenesetre sok or-

ságban mind nagyobb gondot forditanak olyan fafajták kitenyésztésére, melyek gyorsabban fejlődnek és a helybeli betegségekkel és parazitákkal szemben nagyobb ellenállást tanusitanak; könnyen lehetséges, hogy a besugárzás nagy szerephez jut. Ez azonban még távoli feladat, egyelőre cikkünkben csak a mezőgazdasági és kerti növényfajták tökéletesitésére szolgáló sugárzás alkalmazásával foglalkozunk, magától értetődő azonban, hogy az elvek általános érvényüek, csak gyakorlatilag nehezebben alkalmazhatók olyan növényeknél, mint az erdei fák, vagy pedig állatoknál.

Alkalmazott sugárzástipusok

Valamennyi ionizáló sugárzás érdekes az agronómus számára,és az ujabb vizsgálatoknál valamennyit alkalmazták is. Igen kiterjedten használják még mindig a röntgensugarakat, ma azonban az érdeklődés az atomenergiaipar két melléktermékére: mármint a gamma-és a neutron sugarakra összpontosul. Gamma-sugarakat ez idő szerint főleg kobalt-60 forrásokból nyerünk. A megfelelő véőréteggel ellátott forrást körülzárt földterületre vagy melegágyba helyezik, ahol egész növények teljes növekedésük, vagy annak egyik szakaszában besugározhatók. Ezek a gammasugár-források viszonylag kényelmesen és kis költséggel szerelhetők fel és már használatban is vannak különböző országok kisérleti állomásain.

A neutronok alkalmazása a növényi kiválasztás céljából olyan országokra korlátozódik, melyek ciklotronokkal vagy atommáglyákkal rendelkeznek. A Brookhaveni Laboratórium berendezései az Egyesült Államokban, ahol magok vagy dugványok lassu - vagy gyors - neutron sugárzásnak tehetők ki, bizonyos ideig egy speciálisan biológiai kutatások céljára tervezett reaktorban, most már más országok kutatóinak is rendelkezésére állnak együttmüködés cimén és ezt mindtöbben igénybe is veszik.

Jóllehet a különböző sugárzások között hatásuk tekintetében vannak különbségek /pl. a neutronok a röntgensugarakkal vagy gamma-sugarakkal összehasonlitva nagyobb számban hoz-

nak létre mutációkat a kezelést túlélő növények számához viszonyitva/ még semmi bizonyiték sincsen arra vonatkozólag, hogy a sugárzások egyik fajtája több hasznos mutációt hozna létre, mint a másik.

Milyen természetü mutációkat hoz létre a besugárzás?

A sugárzások által előidézett mutációk, melyek mind génváltozást, mind kromozóma változást jelenthetnek, általában ugyanolyan természetüek, mint a természetes, ugynevezett spontán mutációk. Ezek nagyrészt ártalmasak és csak igen kis arányban, talán egy az ezer közül, használhatók fel. De ezeknek az előnyös és viszonylag ritka mutációknak köszönhető valamennyi növény és állatfaj kialakulása az idők folyamán, először a természetes kiválasztás alapján, és később, mint gazdasági növényeink és háziállataink esetében, az ember által történő kiválasztás következtében.

A mezőgazdaságban a sugárzás annyiban segiti elő a nemesitési munkát, hogy megsokszorozza a mutációk számát 50-100-szorosra vagy még többszörösre és igy viszonylag egyszerü eszközökkel növénynemesitéssel foglalkozó agronómusnak a változtatható paraméterek nagyobb bőségben állnak rendelkezésre. Ilymódon igen értékesen kiegészitik az általában használt módszereket egy változtatható jellegzetességekkel rendelkező növényminta gyüjtemény összeállitásában, melyet a növénynemesitési munkában használnak.

Mikor először vizsgálták annak lehetőségét, hogy felhasználják a sugárzás okozta mutációkat a növénynemesitési munkában, igen ellentétes vélemények hangzottak el ennek gyakorlati értékével kapcsolatban főleg amiatt, hogy a sugárzás által létrehozott módosulások lényegében rombolók voltak. Ma azonban már igen sok bizonyiték van arra vonatkozólag, hogy olyan mesterséges mutációk is elérhetők, melyeknek jó hatása van a fajta olyan tulajdonságaira, mint hozam, beérési idő, szárak erőssége, betegségekkel szembeni ellenállás és még számos más mezőgazdasági vagy kereskedelmi szempontból fontos tényező.

Elért eredmények

Ha arra gondolunk, hogy ennek a módszernek alkalmazása a növénynemesités terén még nem is harminc éve kezdődött el Európában, és csak néhány éve az Egyesült Államokban, az eddig elért gyakorlati eredmények igen biztatóak. Svédországban máris egy nagyobb hozamu és nagyobb olajtartalmu fehér mustárt és gyorsabban érő repcét termesztenek és 1957-ben a gazdáknak olyan fajta borsót adtak át, mely nagyobb hozamu és nem a szokott időben virágzik. Annak példázására, hogy egyetlenegy ilyen sikerült nemesitésből milyen hasznot lehet huzni, hadd emlitsük meg, hogy ez a fajta fehér mustár az egyetlen, mely Svédországban megterem és a termés értéke kb. 2 millió svéd korona, ugyanakkor a növénynemesitésre forditott kiadások ebben az országban nem tesznek ki többet, mint évente egy negyedmillió koronát.

Ugyanebben az országban kisérletezések folynak, melyek igen nagy reményekre jogositanak az árpa, buza, zab, szójabab, len besugárzással létrehozott uj változataival kapcsolatban. Ezeknek az uj fajtáknak jellegzetességei közül, emlitsük meg a rövidebb és keményebb szálu kalászosokat, melyek nem olyan könnyen hajolnak el, igy alkalmasabbak a géppel való aratásra, ezenkivül változó beérésü és az időjárásnak jobban ellenálló fajtákat hoztak ki. Azok közül az országok közül, melyek ugyancsak érdekes fajták létrehozását jelentik, idézzük különösen Németországot, Ausztriát, Belgiumot, Finnországot, Franciaországot, Indiát, Japánt, Norvégiát, Hollandiát és Angliát, melyeknek eddig nem volt nagyobb jelentőségü besugárzási kisérleti programjuk.

Ezeket a kedvező eredményeket, melyeket Európában és Ázsiában elertek, a röntgensugár alkalmazásának köszönhetik. Csak Amerikában jelentettek több eredményt az atomenergia-program folytan nyert sugárforrásokkal kapcsolatban, de azért a röntgensugarak itt is alkalmazásra kerülnek. Itt különösen bizonyos betegségeknek ellenálló fajták kitenyésztésével foglalkoznak, és máris sikerült ilyen tipusokat találni. Ennek

igen nagy jelentősége van, különösen olyan országokban, ahol nagy területeken termesztik ugyanazt a fajta növényt és igy egy-egy pusztitó növénybetegség óriási károkat okozhat, és a betegségnek ellenálló fajtákkal lehet ezt a csapást a legolcsóbban és leghatékonyabban leküzdeni. Az Egyesült Államokból rövid- és merevszáru árpa, buza és rizs nemesitését jelentik, valamint egyéb olyan mutációkat, melyek egyes zöldségféléknél és fafajtáknál igen előnyöseknek látszanak.

Az első uj fajta, melyet besugárzás utján kaptak az Amerikai Egyesült Államokban és melyet már nagyban termelnek, egy törpe zöldbab fajta, melyet kuszó fajtából kaptak. 1941-ben kapták röntgensugaras kezelés utján és az 1957-es gazdasági évben hozták forgalomba. Merevebb és pórusosabb szárai következtében jobban viseli el a nedves időjárást, mint az eredeti fajta és kevésbé hajlamos betegségekre és rothadásra, egyuttal alkalmasabb gépesitett szedésre is.

A legtöbb már emlitett jellegzetességet egyetlen, vagy egy kis csoport gén szabja meg, melyek befolyása viszonylag igen nagy. Az olyan tulajdonságokat, mint a hozamot és a minőséget, számos gén határozza meg, melyek közül mindegyiknek csak kicsi a befolyása. Az Egyesült Államokban különösen a földimogyorókkal kapcsolatos kisérletek bebizonyitották annak a lehetőségét, hogy sugárzás segitségével lehetséges a hozammal kapcsolatos génekben olyan változásokat előidézni, hogy további nemesitás utján egy nagyobb termésü fajtát kapjunk.

Ezek az eredmények azt bizonyitják, hogy igenis lehetséges sugárzással olyan érdekes mutációk létrehozása, melyek kihatnak a növények különböző fontos faji tulajdonságaira.

A besugárzás különleges eredményei a növénynemesités terén

Azonkivül, hogy a sugárzásnak egy általános jellegü tulajdonsága van, nevezetesen az, hogy könnyü módszert szolgáltat a nemesitésre szolgáló nyersanyag-választék növelésére, különlegesen ugy is hozzájárul a növénynemesitési munkához,

hogy elősegiti igen ritka, speciális természetü mutációk fellépésének gyakoriságát és olyan mennyiségben, hogy a nemesitő felhasználhatja ezeket olyan tipus kihozására, melyet egyébként csak nagyon nehezen vagy egyáltalán sohasem tudott volna létrehozni. Például lehetséges, hogy módot fog nyujtani arra, hogy elválasszuk az előnyös és hátrányos tulajdonságokat, melyek a genetika nyelvén szólva, annyira össze vannak keveredve, hogy minden gyakorlati alkalmazásnál általában elválaszthatatlannak tekintendők. Az ilyen természetü igen szoros kapcsolatot, mint amilyen az egyik betegséggel szemben való ellenállóképességgel együttjáró hajlam egy másik fajta megbetegedésre, a zabfajtáknál, máris sikerült megtörni besugárzási kisérletekkel, melyeket az Egyesült Államokban hajtottak végre.

Más vizsgálatoknál, melyek azt célozták, hogy hasznot huzzanak a sugárzásnak a kromozómákra gyakorolt káros hatásából, szintén sikereket értek el. A nemesitéssel foglalkozó agronómusok sokáig próbálkoztak azzal, hogy olyan kivánatos tulajdonságokat, mint bizonyos betegségekkel szemben való ellenállóképességet, melyeket a primitiv vad fajták tanusitanak, átvigyék a megfelelő nemesitett gazdasági növényre, erőkifejtésük azonban nem sikerült, mivel az első hibrid sterilitása - ami igen gyakori eset a vad és a nemesitett növény kromozómái számában mutatkozó különbség miatt - leküzdhetetlen nehézséget okozott, azonkivül igen körülményes a vad fajtáknál mutatkozó, megtartani kivánt és ezekhez kapcsolódó előnytelen tulajdonságok szétválasztása. Kihasználva egyrészt azt az tényt, hogy a sugárzások könnyen bontják fel a kromozómákat és másrészt azt, hogy ezek az elválasztott kromozómatöredékek más kombinációban ismét összehozhatók, sikerült egy gazdasági növényre egy rokon vadfajta értékes tulajdonságait átvinni olyan esetekben is, mikor a rokonság olyan távoli volt, hogy ezt más módszerrel nem lehetett volna megoldani. Ilyen eljárással sikerült az Egyesült Államokban egy 7 kromozómás vad kalászos növény erős rozsdával szembeni ellenállását átvinni egy 42 kromozómás, kenyérgabonát szolgáltató buzafajtára.

A besugárzás nem röviditi meg a nemesités idejét

Gyakran hangoztatják azt, hogy egy nemesitett fajta kitenyésztésének ideje a sugárzás használata következtében erősen csökkenni fog. Ez előfordulhat bizonyos körülmények között, de általános az a vélemény, hogy ezek csak igen kivételes esetek lehetnek és hogy a besugárzás igen ritkán hoz létre olyan tipust, melyet azonnal a termelők rendelkezésére lehet bocsátani. Általában csak nyersanyagot szolgáltat, egy uj tipust a nemesitő részére, melyet azután a szokot klasszikus nemesitési módszerekkel továbbfejleszthet. Ezek a módszerek a keresztezés, nemesités és végül kellő számu ellenőrző kisérlet az uj fajta előnyeinek bizonyitására, mielőtt a kiterjedtebb termelésbe belefoghatnánk. Ez azonban 5-10, sőt 15 évbe is beletelik.

Hogy mekkora munkát igényel egy ilyen besugárzási nemesitési program, azt jól illusztrálja a kanadai kisérletezés egy különleges fajta árpával kapcsolatban, ahol több mint 5000 besugárzott törzsből származó kb. egy millió növényt vizsgáltak mutációk szempontjából. A számos kapott mutáció közül huszat, hozam és minőség szempontjából ellenőrző kisérleteknek vetettek alá, de öt évi munka után bebizonyosodott, hogy az egyik igy kapott fajta sem jobb, mint az eddig használt változatok, vagy a klasszikus növénynemesités utján kapott tipusok.

Lehetséges, hogy más esetekben uj változatok nyerése és kiválasztása besugárzás segitségével nagyobb sikerrel jár, de az idézett példa azt bizonyitja, hogy amint a mutációk bizonyos sorozatát megkaptuk, a nemesitő igazi munkája tulajdonképpen csak akkor veszi kezdetét. Egy ilyen besugárzási kisérlet olyan anyagot eredményezhet, mely évekre való munkát ad az agronómusnak. A tapasztalat azt mutatja, hogy egy előnyös mutáció gyakran összekapcsolódik egyébirányu nemkivánatos mutációkkal, melyek közül lehetnek olyan kromozóma változások is, melyek részleges sterilitáshoz, vagy a fajta stabilizálódásában mutatkozó nehézségekhez vezetnek. Igen könnyen elő-

fordulhat, hogy bizonyos esetekben csak évek mulva jönnek rá, hogy a dolog gyakorlatilag kivihetetlen.

A besugárzás távlati jelentősége a mezőgazdasági növények javitása terén

A besugárzásról bebizonyosodott, hogy képes növelni a tipusvariánsok számát és kivételes esetekben uj fajta létrehozására is szolgál a fentismertetett modszerek segitségével. Ezenkivül azonban távolabbi kihatása abban a lehetőségben rejlik, hogy a nemesitőnek módjában lesz a sugárzás segitségével közvetlenebb befolyást gyakorolni a fejlődésre. A mutációk lefolyását eddig a véletlen munkajának tekintették, de mindinkább szaporodnak a bizonyitékok, melyek arra engednek következtetni, hogy a különböző tipusu ionizáló sugárzások a mutációk száma tekintetében különbözőképpen hatnak. Reményünk van arra, hogy végülis sikerül majd kivánt tipusu mutációk sokkal nagyobb mértékben való előidézését, mint amennyire az ma lehetséges. Ez megkönnyiti majd a növények szinte rendelésre való gyártását, melyek mindjobban megfelelnek majd a korszerü földmüvelés követelményeinek.

Ezzel kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy az ultraibolya sugárzás, valamint bizonyos vegyszerek ugyancsak képesek mutációk előidézésére. Ha a növénynemesitési programokban kerülnek felhasználásra, akkor az atomenergia felhasználásával kapcsolatos sugárforrásokat ezekre a szempontokra kiterjedően is meg kell vizsgálni.

Számos kutatómunka van folyamatban ez idő szerint különböző országokban, hogy meghatározzák azokat a tényezőket, melyeknél fogva ezek a különböző mutációt előidéző eszközök hatásukat kifejtik, mennyiben különbözik az általuk létrehozott mutációk természete, a relativ hatásfok, mellyel olyan mutációkat hoznak létre, melyekről feltételezhető,hogy gyakorlatilag érdekesek lehetnek és azt,hogy milyen módon befolyásolhatók bizonyos kisérleti alanyok,ha a kezelés előtt,ill. alatt és után a fizikai és kémiai feltételeket változtatjuk. Ezek a munkák nagy támogatást és bátoritast érdemelnek, mert a genetika elméleti tu-

dományát fejlesztik, ami lényeges alapját képezi a növény- és állatnemesités folyamatos fejlődésének.

D/ Mennyiben érdekesek a radioelemek a mezőgazdasági kutatómunkában és az ezzel kapcsolatos problémáknál

Az atomenergia közvetlen alkalmazásával - mint a villamosenergia-fejlesztés vagy a sugárzások alkalmazása olyan eljárásokban, ahol közvetlenül valamely termék előállitására, mint pl. tartósitásra szolgál - ellentétben, a radioelemek felhasználása a kutatómunkában tisztán közvetett. Itt nem egy speciális hatást kivánunk elérni, hanem ismereteink bővitését célozza a kémia, fizika és biológia bizonyos reakcióira vonatkozólag, melyek a mezőgazdasági termékek előállitásában vagy felhasználásában szerephez jutnak, abból a célból, hogy ezekre a reakciókra hatékonyabb és elősegitő hatást tudjunk kifejteni.

A radioelemek fontosságukat a kutatásban annak köszönhetik, hogy igen kis mennyiségekben az ujabban kifejlesztett technika segitségével rendkivül érzékenyen mérhetők. A radioaktiv izotóp a kémia nyelvén szólva ugyanugy viselkedik, mint az azonos elem nem-radioaktiv izotópja, bomlása közben azonban jellegzetes sugárzást bocsát ki, mely lehetővé teszi azonositását. Ilymódon, ha a vizsgálandó rendszerbe bevezetünk egy radioaktiv elemet, mozgását, viselkedését és sorsát a kiindulási ponttól egészen a rendeltetési helyig nyomon követhetjük és ezt számos esetben megtehetjük anélkül, hogy a fizikai vagy kémiai elemzésre szükség volna, melyek az élő szövetet elroncsolják és elpusztitják.

A radioelemeknek következésképpen felbecsülhetetlen értékük van az élő szervezetek és a dinamikus biológia azon bonyolult összefüggéseinek tanulmányozásánál, mint amilyen a talaj, a növények, állatok és emberek között fennáll. Az atomenergia elterjedésével könnyen hozzájuthatunk radioelemekhez, ami lehetővé tette, hogy mind elméleti vonalon, mind a gyakorlati alkalmazás terén olyan eredményeket érjünk el, melyeket különben nem sikerült volna megkapni, mint ahogyan az a biológiá-

ban és orvostudományban a mikroszkóp felfedezésével következett be. Igen érzékeny kutatási segédeszközt jelentenek, melynek alkalmazása olyan ismereteket szerzett számunkra, melyeket egyébként vagy semmi módon, vagy csak hosszas idő- és pénzbefektetés árán sikerült volna elérni.

Valójában azt mondhatjuk, hogy minél bonyolultabb és titokzatosabb egy vizsgálandó rendszer, annyival nagyobb a valószinüsége annak, hogy a radioaktiv elemek a kémiában és fizikában alkalmazott klasszikus kutatási módszerekhez viszonyitva értékesebbek lesznek. Példákat találunk erre abban a feltünő fejlődésben, amely azóta következett be, mióta a radioelemek szerephez jutottak a kutatásban, különösen az olyan bonyolult rendszerek megismerésénél, mint amilyen a klorofil által történő fotószintézis, vagy a tejképződés a teheneknél.

Rendkivül fontos eredmény a radioelemek alkalmazásával kapcsolatban az, hogy most először lehetséges egy anyagnak nyomonkövetése, valamely rendszeren belül vagy annak mentén, vagy pedig egy, az együttes látszólagos irányával ellentétben fellépő mozgás azonositása. Igen értékes adatokat szerezhetünk igy a növési módozatok dinamikájára, az anyagcsere reakcióinak lebonyolódására és a test különböző szöveteiben és szerveiben a vegyületek és elemek cseréjének sebességére és helyettesitésére vonatkozólag. Ilymódon a radioelemek azáltal, hogy gyarapitják ismereteinket azon biológiai alapvető elvek tekintetében, melyek közrejátszanak a növények és élőlények növekedésében, rávezetnek ujabb technikai eljárásokra, melyek elősegitik a különböző mezőgazdasági növényeknél nagyobb termés elérését.

Az agronómiai kutatások területe annyira kiterjedt és a rádióelemek annyi, a mezőgazdasági termelés különböző fázisaira, mind az állattenyésztés, mind a növénytermesztés különböző ágaira vonatkozó kutatásban nyertek alkalmazást, hogy lehetetlen itt erről teljes áttekintést nyujtani. Csak nagyjából ismertetjük a radioelemek felhasználásának általános természetét és a velük elért eredmények fontosságát a mezőgazdaságban és a vele kapcsolatos ipari ágakban.

Radioelemek alkalmazása a talaj termékenységének és a növények táplálkozási módjának tanulmányozására

A radioelemeket először a talaj termékenységének és növények táplálkozási módjának tanulmányozásánál alkalmazták. Igy sikerült uj utakat törni olyan felismerések felé, melyek számos alapvető elvvel és gyakorlati utmutatással kapcsolatosak. Ilymódon sikerült jobban megismerni, hogy miképpen kering a nedvesség és tápanyag a talajban, hogy a növényekig eljusson, ami a trágyázás hasznositásának uj módszereihez vezetett, amennyiben megállapitották a legelőnyösebb elhelyezést, valamint azt az időpontot, mikor a trágya alkalmazásával a legjobb hatásfok érhető el.

Mezőgazdasági növények termelésénél egyik fő problémát az okozza, hogy ezek a növények csak igen korlátozott mértékben képesek a bizonyos talajokban előforduló foszfátok adszorbeálására. Kémiai eljárások régóta nem bizonyulnak elégségesnek eme folyamat tanulmányozására, az izotópok azonban lehetővé teszik annak vizsgálatát, hogy miként kerül talajban lévő foszfát a növényekbe és miként rögzitődik meg a bekerülő foszfát. Az ilyen természetü elméleti ismeretek lényeges megtakaritáshoz vezetnek a foszfátos mütrágyák alkalmazása terén, melyek viszonylag drágák, de használatuk erősen elterjedt. Az Egyesült Államokban kiszámitották, hogy amennyiben Észak-Karolina dohányültetvényesei felhasználják a radioizotópok utján nyert ismereteket, évente több mint 45 tonna foszfátos mütrágyát lehetne megtakaritani. Jegyezzük meg, hogy ez a példa csak egyetlen növényre, egyetlen államra vonatkozik, hogy lássuk, milyen óriási gazdasági jelentőségük van ezeknek a kutatásoknak, ha a talajjavitás minden fajtájára kiterjesztjük.

A radioelemek segitségével végzett vizsgálatok a gyökérrendszer müködésének mechanizmusát is ismertté tették, rávezettek arra, hogy miként tolódik el az abszorpciós zóna a gyökéren a növény fejlődésével és lehetővé tették a különböző növényfajták által felhasznált földmennyiség megállapitását. A növények talajfeletti részének, nevezetesen a fatörzseknek, a lombozatnak és gyümölcsöknek jutó tápanyagok felhasználásának

és abszorpciójának módját ugyancsak behatóan tanulmányozták radioizotópok segitségével. A tápelemek felhasználási módjára vonatkozó ilyen vizsgálatok nagyon érdekesek, mivel bizonyos körülmények között a tápanyagok hatása csökken, ha a föld közvetitésével kerülnek a növényre. Azt tapasztalták, hogy bizonyos esetekben a tápanyagok akkor a leghatásosabbak, ha a lombozatra helyezzük és hogy bizonyos kritikus időszakokban, mint a virágzás vagy a gyümölcsérés idején,különösen fontos a táplálásnak ez a módja abban az esetben, ha ezek az időszakok egybeesnek azzal az idővel, mikor a talajban lévő tápanyagok minimális, vagy azok abszorpciója a földből erősen lecsökken az utóbbi alacsony hőmérséklete következtében.

A világ bizonyos tájain ez idő szerint a talajjavitással kizárólag anyagi okokból nemigen törődnek; ha már most fenti tanulmányok alapján a trágyázás leggazdaságosabb módjára rá lehet vezetni a földmüvelőket, akkor könnyebben elérhető annak szélesebbkörü elterjedése. Igen jó volna, ha bővebb ismeretekkel rendelkeznénk a zöld trágya viselkedésével kapcsolatban, valamint a szerves anyagoknak a földben történő szintézisére és eltünésére vonatkozólag, mivel ezek a tényezők rendkivül fontos szerepet játszanak a talaj termékenységében és a megfelelő fizikai feltételek fenntartásaban.

Mindezeket a tanulmányokat a megfelelő helyi klima és talajfeltételek mellett kell elvégezni, ott ahol a tapasztalatokat a gyakorlatban érvényesiteni kivánjuk. Az ilyen vizsgálatok legtöbbjénél a radioizotópok jelentik a legjobb, ha nem az egyetlen megfelelő kutatási eszközt.

Radioizotópok a növényfajták terméshozamával kapcsolatos kutatások szolgálatában

Kiszámitották, hogy amennyiben jobb rovarirtó, hatásosabb gombaölő és gazpusztitó szerekkel rendelkeznénk, akkor sok gazdasági növénynél a terméshozamot a világ különböző országaiban legalább 25-30 %-kal lehetne emelni, de a termést

gyakran meg is lehetne kétszerezni. A radioizotópok segitségével folytatott vizsgálatok révén, jobban megismerjük a fiatal növényeket és állatokat megtámadó parazitákat és betegségeket, ami lehetővé teszi, hogy hatékonyabb ellenszerekkel küzdhessünk ezek kiküszöböléséért.

A mézgaképződés mechanizmusát is tanulmányozták radioizotópok segitségével mind a fákon, mind laboratóriumban szöveteken való tenyészetek utján. A radioizotópos technikák különösen alkalmasnak bizonyultak efajta kutatásokhoz, melyek a mézga és gyanta kiválasztás mechanizmusának alapelveit igyekeztek felderiteni, ami lényegesen hozzájárul majd ahhoz, hogy ezeknek a gazdasági szempontból rendkivül fontos anyagoknak termelésénél nagyobb hozamot érhessünk el. A radioaktiv elemek segitették elő továbbá a gyökerek spontán oltásának és eme jelenség gyakoriságának tanulmányozását, ami azért vált szükségessé, mert ilymódon terjednek a betegségek fertőzött fákról az egészséges fákra és igy hathatósabb módszerekkel lehet majd küzdeni az ilyen betegségek terjedése ellen.

Jóllehet az erdőgazdaságban még távolról sem meritették ki a növénynemesités klasszikus módszereit, mégis azt mondhatjuk, hogy a sugárzások által létrehozott mutációk jelentős szerepet játszhatnak abban, hogy a betegségeknek jobban ellenálló fajtákat tenyésszenek ki. Nyilvánvaló, hogy a radioizotópok és a különböző sugárzások az erdőgazdaságban is éppen olyan jelentősen járulhatnak hozzá a fejlődéshez, mint a növények egyéb fajtáinál, bár ez a fejlődés mindenesetre lassabban következik be a faféleségek hosszu élettartama folytán.

Radioizotópok alkalmazása az állattenyésztés terén

A radioizotópokat alkalmazó eljárások igen nagy lendületet vittek az állattenyésztéssel kapcsolatos táplálkozási fiziol´giai és patológiai problémákra vonatkozó alapvető kutatásokba. Elősegitették pl. az állati testben a proteinek szintézisére vonatkozó elméleti kutatásokat, valamint a tejelés biokémiájára és fiziológiájára vonatkozó vizsgálatokat.

Igen nagy eredménnyel alkalmazták ezeket a takarmányhasznositási vizsgálatoknál, melyeket azzal a céllal folytattak, hogy a drága takarmányok egy részét nem lehetne-e olcsóbb, nem szerves alapanyagu, hanem a szervetlen kémia körébe tartozó anyagokkal pótolni. A radioelemek, különösen az ásványi sók, speciálisan a mikro-tápelemek anyagcseréjének felderitésénél érdekesek, melyek az állatok egészségéhez feltétlenül szükségesek még akkor is, ha csak egészen parányi mennyiségben is.

Radioizotópok olyan tanulmányokra is szolgálnak, melyek az állatoknak meleg és nedves klimákhoz való alkalmazkodását vizsgálják. Mielőtt a radioizotópok rendelkezésre álltak volna, rendkivül nehéz volt az állatok rossz körülményekhez való alkalmazkodási képességének kisérleti uton történő vizsgálata. Radioizotópok alkalmazása most lehetővé teszi, hogy a tenyésztő egy uj fajta kitenyésztéséhez legalkalmasabb alanyokat felismerhesse és ilymódon a hőséggel szemben ellenállóbb és egyuttal jóhozamu tipus jöhessen létre.

Az állattenyésztésben egy másik igen érdekes alkalmazás a sperma és a pete anyagcseréjének tanulmányozása, a sperma megőrzésére szolgáló módszerek vizsgálata és annak a mechanizmusnak nyomonkövetése,mellyel a tápanyagok és egyéb,az anyától származó anyagok a placentába kerülnek, majd az embrió által felhasználódnak.

Igen nagyszámu alkalmazásra találnak a radioizotópokkal dolgozó módszerek és a fentvázoltak csak egynéhányat soroltak fel azok közül, melyeket eredményesen használnak az állattenyésztésben. Többféle kutatást tettek lehetővé az állatok fiziológiája és táplálása területén, melyekre azelőtt nem volt mód,és mint kiegészitő segédeszköz a klasszikus eljárások mellett,olyan fontosak ezen a területen folyó kutatásoknál, hogy nemsokára minden állattenyésztési vonalon müködő kutatóintézet szükségét fogja érezni annak, hogy berendezkedjék izotópok alkalmazására.

Halászati kutatásoknál való alkalmazás

A radioelemek igen hatásosak lehetnek a halászattal kapcsolatos kutatások terén és hozzájárulhatnak a világ halászati területeinek gyorsabb és hatékonyabb fejlődéséhez. Jóllehet tengerek,folyamok és tavak a földteke felületének kb. háromnegyedét foglalják el,a világ táplálkozásának kevesebb mint 2 %-át szolgáltatják. Mindenesetre az állati eredetü proteintartalmu élelmiszerek 10 %-át képezik. Következésképpen erősen kell azon fáradoznunk, hogy a halászati termékek mennyiségét a világban növeljük. Ezt ugy érhetjük el, ha kiterjesztjük és fokozzuk a halászati területeket, ezeket jobban megszervezzük és a rendelkezésre álló halak mennyiségét növeljük, illetve a gazdaságos fajták számát szaporitjuk a megfelelő területen. Ez a program mindenekelőtt a halak behatóbb tanulmányozását kivánja meg. Ezekben a kutatásokban a radioizotópok ugy jutnak fontos szerephez, hogy lehetővé teszik a vidékek legelterjedtebb halfajtáinak megállapitását és nyomon követhetik a nyersanyagok utját az egymást követő láncszemeken keresztül, melyek a halban átformálódva az emberi táplálékhoz vezetnek. Ilyen kutatásokkal elért eredmények lehetővé teszik majd a halászati vidékek halfajtáinak jobb kihasználását. Természetesen mindez főleg az édesvizi halakra vonatkozik, de ez ujabb előnyt jelent, mert hiszen itt az embernek több alkalma van a beavatkozásra, mint a tengereken.

Kutatások az emberi táplálkozással kapcsolatban

Igen fontos szerephez jutnak a radioizotópok az emberi táplálkozással kapcsolatos kutatásokban is. Sok ismeret, melyekre az állatokkal kapcsolatban tettünk szert, természetesen az emberre is vonatkozik. Igy tehát az aminosavak és proteinek anyagcseréjének tanulmányozása,az állatoknál különösen fontos abból a szempontból, hogy bizonyos un. hiánybetegségek megállapitására vezet, mint amilyen például a proteinhiány következtében fellépő, Afrikában "kwashirkor"-nak, másutt egyéb neveken ismert betegség. Az emberekkel kapcsolatban a radio-

izotópos módszerek alkalmazása még ritka, de már folytak munkák a proteinek és ásványi sók asszimilációjával kapcsolatban. Ezek a vizsgálatok igen jó szolgálatot tesznek majd, ha általuk jobban megértjük az ember táplálkozásának fiziológiáját, ami viszont lehetővé teszi az élelmiszerkészletek gazdaságos felhasználásának meghatározását és jól kiegyensulyozott étrendek megállapitását, amelyek igen fontos szerepet játszanak abban, hogy a szervezetben semmiféle zavar ne lépjen fel.

E/ A kutatás fontossága a mezőgazdaság és vele kapcsolatos iparok fejlődésében

Az előző fejezetekből világosan kitünik, hogy a radioizotópok és a sugárzásnak kutatási segédeszközként való alkalmazásával az atomenergia mind fontosabb szerephez jut a világ olyan erőforrásainak fejlesztésében, melyek a mezőgazdaságból, erdőgazdaságból és halászatból erednek. Ezeken a területeken hozzájárulhat a jobb táplálkozás és magasabb életszinvonal eléréséhez olyannyira, hogy a kormányok minden tőlük telhetőt el fognak követni, hogy ezek a remények mielőbb megvalósuljanak és népeik javát szolgálják.

A radioizotópok és sugárzások ezen a téren azzal a különleges jellegzetességgel rendelkeznek, hogy éppolyan értékes szerepet játszanak az elméleti, mint a gyakorlati kutatásban. Szükséges, hogy a mezőgazdasági, erdőgazdasági és haltenyésztési kutatásokat a vonatkozó iparágak természetszerü szétszórtsága miatt a kormány felügyelete alá helyezzék és ezek az iparágak csak akkor veszik majd hasznát az atomenergiával járó jótéteményeknek, ha a kormányok vállalják ezeknek a kutatásoknak az irányitását és támogatását.

Gyakran halljuk azt a kitételt, hogy nemannyira a mechanikai vagy villamosenergia hiánya, hanem inkább az élelmiszer hiánya lesz az, mely nem is olyan távoli jövőben gátat vet majd az emberiség fejlődésének. Jelen tanulmányunk bebizonyitja, hogy nem elkerülhetetlenül szükséges, hogy ez bekövetkezzék. Őszintén szólva, azt hihetjük, hogy idővel a radio-

izotópok és sugárzások segitségével elért növekvő mezőgazdasági termelés és annak jobb hasznositása jólétünk emelésében éppolyan fontos szerepet fog játszani, mint amit az iparnak nyujtott atomenergia fejlesztette villamosáram jelent. - Hogy ez a reményünk mennyire valósul meg, az attól függ, hogy mekkora összeget tudunk erre a célra forditani és milyen eszközöket bocsátunk az ilyen kutatások összessége rendelkezésére, hogy erőforrásainkat a leggazdaságosabban használhassuk fel.

x x x

H I R E K

Nuclear Power, 1958. május

Uj reaktor Harwell-ben. - Uj homogén kisérleti reaktort helyeztek üzembe Harwellben a brit Atomenergiahatóság jelentése szerint. Elnevezése HAZEL /homogén rendszer zérus energiával/, üzemanyagként dusitott urániumot használ egy uránium-só - uranilfluorid - alakjában, amit a moderátorként alkalmazott nehézvizben oldottak fel. A mag rozsdamentes acélból készült 2,15 m magas és 61 cm-es átmérőjü henger, melyet grafit-reflektor vesz körül.

Az üzemanyagoldatot két tartályból szivattyuzzák a hengerbe. A vezérlés az oldat szintmagasságának a magban való beállitásával és egy függőleges neutronabszorbeáló kadmiumlemeznek a henger és a grafitreflektor közötti résbe való betolásával történik. A vezérlő kadmiumlemezhez hasonló két kadmiumlemezt alkalmaznak a reaktor leállitására és még két további ilyen lezárólemez függőlegesen a reaktortartály oldatába is leereszthető. A reaktort egy wattnál kisebb teljesitménnyel üzemeltetik és hütésre nincsen szükség.

HAZEL a második a Harwellben épülő homogén reaktorok közül és alapvető magfizikai kutatásokra szolgál. Az első ilyen reaktor-rendszer - ZETR /zérus energiáju termikus reaktor/ nukleáris üzemanyagok közönséges vizben való oldatának tanulmányozására készült.

Olaszország - Ősszel döntenek majd az ENSI /Délolaszországi Atomenergia/ reaktora felől. A 150 MW /elektromos/ teljesitményü Garigliano-ban tervezett atomerőmü szállitására vonatkozólag valószinüleg csak ősszel kerül döntésre a sor, jóllehet három angol, négy amerikai és egy-egy kanadai, illetve francia csoport ajánlatának már április 30-i kelettel be kellett futnia. A döntést részben a brit-olasz megállapodásnak az üzemanyagellátásra és annak ujra feldolgozására vonatkozólag, még nem történt parlamenti ratifikációja késlelteti, ez pedig a legközelebbi törvényhozó ülésszak előtt nem következhetik be. Az Olasz Atomenergia Bizottság főtitkára, Ippolito professzor kijelentette, hogy ratifikálás nélkül a brit ajánlattevő cégek részére a brit kormány nem garantálja az üzemanyag rendelkezésre bocsátását. A CNRN /Olasz Atomenergiabizottság/ a Világbankkal együttmüködve dönt majd arról, hogy melyik reaktortipus lesz a legmegfelelőbb. Az UKAEA /angol/ és az USAEC /amerikai/ atomenergia hatóságok nukleáris szakértőket bocsátanak rendelkezésre a természetes, illetve dusitott urániumot alkalmazó ajánlatok véleményezésére.

Egyesült Államok - Le kellett állitani egy reaktort Oak Ridgeben.
Miután sikerült a HRE 2 elnevezésü homogén,vizhütésü reaktort 5 termikus megawatt teljesitményszintre felfuttatni Oak Ridgeben, a reaktort április 16-án leállitották, mivel észrevették, hogy a reaktormagban levő oldat kezd kiszivárogni a nehézviz burokba, amint azt egy laboratóriumi jelentésből tudjuk.

Az üzemanyag U-235-ben erősen dusitott uranil-szulfát -nehézviz oldat. A reaktor két zónás cirkuláció-tipus, mely a tórium U-233 szaporitó körfolyamon müködik.A magot egy 32"-os belső átmérőjü 5/16"vastag cirkoniumötvözetgömb foglalja magában,mely egy 60"-os belső átmérőjü,4,4"vastag rozsdamentes nagynyomásu tartályban helyezkedik el.Ezt a reaktort homogén vizes reaktorok energiatermelésre való alkalmasságának tanulmányozására épitették és gyakorlatilag egy teljesitményreaktor prototipusát képezte. Januárban vált kritikussá és kis teljesitmény mellett müködtették három hónapon keresztül, mielőtt 5 tMW teljesitményszintre engedték volna felfutni. Az volt a terv, hogy 6 hónapon keresztül üzemeltetik ezen a teljesitményszinten, hogy az üzembiztonságot tanulmányozhassák, a következő lépésben pedig áttértek volna olyan burok alkalmazására, amely nehézvizben szuszpendált tóriumoxidot tartalmaz. Most vizsgálatok folynak annak felderitésére, hogy mi lehet az oka annak, hogy a reaktormagot körülzáró gömb felmondta a szolgálatot.

Legujabb részecske-energia-csucs. A High Voltage Engineering Corp.Fizikai osztályán 9 millió voltos proton-nyalábot mértek,melyet egy tandem Van de Graaff gyorsitóban sikerült előállitani.Ennek a prototipust jelentő készüléknek - mely töltéscsere módszert használ - sikeres müködtetésével sikerült az eddig legnagyobb részecskeenergiát elérni kötési energiavizsgálatokkal kapcsolatosan.Az átütés lehetővé teszi fizikusok részére a nehezebb elemek magjaiban atomi kötési-energiák tanulmányozását.A készüléket az Atomic Energy of Canada vállalatnak szállitják.

Anti-neutron annihiláció fényképezése.A Californiai Egyetem Sugárzási Laboratóriumában sikerült lefényképezni az anti-neutron annihilációját. Segré dr. egy New-Yorkban tartott előadásán,ahol californiai kutatásait ismertette,jelentette, hogy egy bevatronban proton-nyalábnak kitett emulziós lemezen felvételt készitettek egy anti-proton pályájáról.Ez ütközött egy protonnal,és egy neutront és anti-neutront hozott létre. Az anti-neutron továbbhaladt mig csak egy nukleonnal nem ütközött, mikoris mind a kettő megsemmisült és energiává vált. Még a hidrogénbomba robbantásával sem sikerült - Segré professzor szerint - ilyen tisztán és teljesen

a tömeget energiává változtatni át. Állitása szerint ez a kisérlet a legujabb bizonyitéka annak, hogy milyen tökéletesen semmisitik meg egymást az anyag és anti-anyag.

Atomics, 1958 május

Atomenergiával kapcsolatos tervek és fejlődés Japánban. A Japán Atomenergia-kutató Intézet /JAERI/ részére az AMF Atomics of USA amerikai vállalat által felépitett első nehézviz dusitott uránium kisérleti reaktorral Tokai Mura-ban, Japán megindult az atomenergia-kutatás és fejlesztés utján. A JAERI jól szervezett kutatóintézet. Korábbi igazgatóját Daigoro Yasukawe-t most nevezték ki az ujonnan létesitett Japán Atomenergia-fejlesztési Társaság /JAPGC/ vezetőjévé. Ez az utóbbi társaság 1957. október 14-én egy tudományos bizottság Angliába való küldését tárgyalta teljesitményreaktor vásárlása céljából. A küldöttségnek jogában áll a vételre vonatkozóan végleges döntést hoznia. A szóbanforgó erőmü 150 MW teljesitményü telep 20-30 millió font közötti áron. Egyik sürgős megoldandó probléma a Japánban gyakori földrengéseket figyelembevevő speciális müszaki tervezéssel jár.

A japán küldöttség tárgyalt mind a négy nagyobb brit atomenergia konzorciummal és jelentést tesz a később érkező nagyobb létszámu küldöttségnek. További tárgyalások alapján előreláthatólag sikerül szerződést kötni 1958 őszén egy atomerőmü épitésére. Számos szakbizottság foglalkozik ezzel a kérdéssel. Tanulmányozás és kisérleti vizsgálatok alapján a Calder Hall tipusu reaktor a földrengések miatt csak speciálisan módositott kivitelben lenne felépithető.

A JAPGC-n kivül magánvállalatok is foglalkoznak atomerőművek felállitásának tervével. A Kanzai Elektromossági Vállalat a Calder Hall és a PWR /nagynyomásu viz-reaktor/ reaktortipusok alapján tervezi egy reaktor felépitését, amely 530 termikus, illetve 150 MW elektromos teljesitményt szolgáltatna és a mü kb. 60 %-a belföldön készülhetne. A földrengéssel szembeni biztonsági óvintézkedések az épitkezés költségét kb. 68.2 millióra emelnék, ami a termelési költségekben 13.3 mill/kWórát eredményezne. PWR tipusu reaktor esetén a teljesitményt 482 termikus, illetve 134 MW elektromos energiáig emelkednék 2.6 %-ra dusitott üzemanyag alkalmazásával. Jóllehet tárgyalások folynak a Yankee Atomic Electric Co. U.S.A. vállalattal, igen valószinü, hogy a cél inkább belföldi épitkezés és a becsült költségek 58.4 milliót tesznek ki. 13.5 mill/kWó termelési költséget számitanak a becsült költségek alapján. Hasonló tervekkel foglalkoznak a Chuba Elektromos Váll. és a Kyushu Elektr. Társaság, de a tervek még nem konkrét programra vonatkoznak.

Kisérleti reaktorok. Az AMF 50 MW-os reaktor, mely 945 ezer dollárba került JRR-1 elnevezéssel ismeretes, mint az első japán kisérleti reaktor. A második ilyen kisérleti reaktor JRR-2 10 MW CP-5 tipusu, 378 ezer dollárba fog kerülni és valószinüleg 1958 végére készül el, mig a JRR-3 felépitését egy évvel későbbre tervezték. Ez a harmadik már japán eredetü lesz, azaz japán vállalatok tervezik és épitik fel. 10 MW természetes uránium-nehézviz reaktortipust terveznek kb. 625 ezer dollár költséggel.

Egy 10-15 MW elektromos teljesitményü kisérleti energiatermelő reaktor külföldi eredetü lesz. A dusitott uránium vizhütéses tipusu reaktor 11.1 millió dollárba kerül. Japán tervezésü, ezzel szemben az 5-10 MW termikus szaporitó reaktor, melynek felépülése 1963-ra várható, 11.1 millió dollárba fog kerülni, mig a hasonló teljesitményü gyors-szaporitó reaktor, melyet egy évvel később állitanak majd üzembe, 16.7 millió dollár költséggel épül.

Thermonukláris fuzió és atomenergiahajtásu hajók ugyancsak szerepelnek Japán kutatási terveiben. Magfuziós konferenciát rendeztek tavaly októberben, Dr. Hideki Yukawa elnöksége alatt. Atomhajtásu hajók tanulmányozására és fejlesztésére kutató-csoport alakult.

India. - Második ötéves terv. - Az atomenergia csupán békés célokat szolgál. Rajendra Brasad elnök Indiában a két képviselőház előtt New Delhiben hangsulyozta India érdekeltségét az atomenergia békés célokra történő fejlesztése terén.

India ismét felhivást intézett az érdekelt hatalmakhoz az atomfegyverekkel való kisérletezések beszüntetése iránt, és sajnálatát fejezte ki, hogy a Bagdadi Szerződés tagállamai atomfegyvereket igényeltek, és remél , hogy ennek a kivánságnak nem fognak helytadni. Jóllehet India az atomfegyverek gyártásához szükséges ismeretekkel és erőforrásokkal rendelkezik, nincs szándékában ilyeneket gyártani, vásárolni vagy használni. India az atomenergiát kizárólag békés célokra, az emberiség javára kivánja felhasználni.

Izotópok alkalmazása. Dr. Bhabha, az Indiai Atomenergia Bizottság elnöke a 12-ik Indiai Radiológiai Konferencián febr. 8-án jelentette, hogy a Trombayban dolgozó Biológiai Szakosztály izotópok alkalmazásával egy korai virágzásu rizsfajtát hozott létre. Alkalmazták az izotópokat gabonanemüekben mesterséges mutációk előidézésére ugyhogy most betegségekkel szemben ellenálló buzafajta és földi-mogyoró áll rendelkezésre. Rendkivül nagyhozamu árpafajtát is sikerült előállitani.

Foglalkoznak élelmiszerek besugarzással történő sterilizációjával, különösen kecsketejjel és gyümölcsökkel foglalkoztak. Sikerült különböző gyümölcsöknél a romlást és beérést gátolni, aminek óriási jelentősége van olyan országokban, mint India, ahol bizony nem ritka az élelmiszerinség. Remélhető, hogy e módszerek technikáját sikerül teljesen kidolgozni. A radioaktiv izotópokat az Apsara reaktorban állitják elő, termelésük jelentősen emelkedik majd, ha a kanadai-indiai reaktort is üzembehelyezik.

Reaktorprogram. Prasad elnök bejelentette, hogy a folyó ötéves tervben egy sor atomerőmü felépitését kezdik meg. Bhabha dr. véleménye szerint hamarosan vagy egy nagy erőtelep, vagy talán ipari célra inkább több kis erőmü épül. Hogy India mekkora figyelemmel fordul energiaforrásai felé, azt a gigászi N.N.W. duzzasztógát a Sutlej folyón, New Delhiben is bizonyitja. A máris 116 méter magasságu Bakhra gát a legnagyobb India gátjai közül, 1960 márciusában eléri a 225 métert, és ezzel a világ legmagasabb gátjává válik. Több mint 10 millió hold öntözésére szolgál, és 1000 MW villamosáramot fog termelni. Ezt az óriási épitkezést kizárólag indiai tervek alapján, indiai munkaerők végzik, és ezzel bizonyságot szolgáltatnak arra, hogy India milyen óriási méretü munkára képes.

Kb. 50 MW teljesitményu erőmüállomásokat szándékoznak épiteni az ország nyugati részében, mig a jobban iparositott keleti részen valószinüleg több 150-200 MW teljesitményü erőmüvet épitenek. Az erőmüvek elhelyezését a szénbányáktól való távolság mértéke szabja meg. Ebben a vonatkozásban érdekes India erősen fejlődő cementipara. Máris 26 cementgyár létesitését hagyták jóvá, mig a meglévő 29-et erősen továbbfejlesztik. Ez az évi kapacitást 1960-ra kb. 15.5 millió tonnára emeli, ami jól megközeliti a második ötéves tervre előirányzott 16 millió tonnát.

Az Apsara kisérleti reaktor Trombayban 1956-ban került üzembe, és máris értékes kiképzési és kutatási kisérletek alapjául szolgált. Jól felhasználható izotópmennyiséget termel, és hamarosan három müszakban üzemeltetik. Nemsokára ehhez járul meg a kanadai-indiai kisérleti reaktor, melyet kanadai müszaki előirások alapján indiaiak épitenek; ez az NRX kanadai reaktorhoz hasonló tipus. Ehhez tartozik majd egy raktártömb élelmiszer-tartósitási és sterilizációs kisérletek céljából, az izotóp előállitási részlegtől teljesen különállóan. Trombay körzetében Bombaytól északra helyezkedik majd el, természetes uránium üzemanyaggal rendelkezik és az Egyesült Államok által szállitandó nehézviz szolgáltatja a moderátort és hütést. Ez a 40 MW teljesitményü reaktor 1958 táján válik a tervek szerint kritikussá. Ugyancsak Trombayban épül egy harmadik reaktor is, mely rácselrendezési kisérleteket fog szolgálni. Ennek 1958 áprilisában kell elkészülnie.

Ércfeldolgozás. Az Indiai Atomenergia Bizottság munkája erősen növekedett a mult évben, a fentvázolt reaktor-programon kivül több uj kémiai feldolgozó üzem létesül. Értékes kémiai kutatási munka folyik a Tata Elméleti Kutatóintézetben, Colababan /ahol egy 1000 ke Cockcroft és Walton gyorsitó áll rendelkezésre/, a Nemzeti Vegyi Kutatólaboratóriumban Poonaban és a Nyersanyag Szakosztályon Bangalore, Bombay, Calcutta és Delhiben. Az Indiai Atomerő-bizottság rövidesen intézkedik nagyméretü urániumbányászat megindítása iránt Ranchi közelében, Bihar tartományban, ahol a folyóágyak monazitje több mint 10 % tóriumot tartalmaz. A Keralaban /Travancore tart./ található monazit tóriumtartalma átlagosan 7-8 %; ezt Alwaye-ben Cochin tartományban dolgozzák fel, a végső finomitás és uránium-kivonás azonban Trombay közelében történik. Az év vége előtt India képes lesz reaktorfinomságu uránium előállitására, valamint saját reaktorai részére tápelemek gyártására.

Egy másik nagyfontosságu, folyamatban levő épitkezés a Nagal Mütrágya és Nehézviz-telep, mely India reaktorai számára termeli majd a szükséges moderátoranyagot. A Nagal-gyár kb. 200 mérföldre Delhitől északra fekszik.

Atompraxis, 1958 április

Kiizzitották a BEPO-t. - A harwell-i Atomkutató Intézet tudósai az egyik harwelli kisérleti reaktornál, a vizzel hütött és grafittal moderált BEPO-mál sikeresen alkalmazták a Wigner-hatás kiküszöbölésére szolgáló "kiizzitó eljárás" egy uj, módositott alakját. A Wigner-energia "kiizzitásá"-nak célja kiküszöbölni a reaktor használata folyamán a grafitban felhalmozódó feszültségeket. Ezeket a grafit felhevitésével kell megszüntetni, ami veszélyes, mert hő alakjában igen nagy mennyiségü energia szabadul fel, s mult év októberében ez idézte elő a windscale-i balesetet. A grafit hőmérsékletét forró levegő átáramoltatásával emelték. A reaktor az egész müvelet tartama alatt éppen csak annyi energiát termelt, amennyi biztositotta az elrepedt tápelemek megfigyelésére és megállapitására szolgáló készülékek müködését.

Padlómáz radioaktiv por behatolása ellen. - A harwell-i angol Atomkutató Intézet munkatársaival együttmüködve kidolgozták egy ujfajta padlómáz készitési eljárását, amelynek alkalmazását most más területekre is kiterjesztették. Ez a politurmáz állitólag a minimumra csökkenti radioaktiv anyagoknak iróasztalfelületre és a padlózatba való behatolását. A máz anyaga müviasz, mely egyesiti magában a mügyanta ellenálló-

képességét és a természetes viasz "fényesithetőségét". A máz nem csuszós, ezt a tulajdonságát két-három hónapon át, mig csak a hártya el nem kopik, megtartja.

Calder-Hallban a harmadik reaktor 1958 márciusában került kritikus állapotba.

Hinkley Point-ban /Anglia/ gyors tempóban folynak a világ legnagyobb atomerőművének-épitési munkálatai. Az első reaktor betonalapjait már elhelyezték, s megkezdték a 27.4 m magas, és 22,8 m átmérőjü sugárvédőburkolat épitését, valamint a gőzfejlesztő-berendezések alapozási munkálatait. Terv szerint 1962-ben fogják az erőművet üzembehelyezni.

A Saclay-i Magkutató Központban felállitott EL 3 nehézviz-reaktor, mely 1957. julius 4-én indult meg, 1958. március 8-án hőenergiateljesitményben elérte a 10 ezer kW-ot. Ez a reaktor 8.10^{13}/cm2. sec neutronfluxusával, az amerikai M.T.R. 5.10^{14}/cm2. sec-neutronfluxusa és az angol DIDO mellett, jelenleg a világ legjobb készülékei közé tartozik. Üzemanyaga dusitott uránium. A reaktor konstrukciója sokoldalu kisérletekre nyujt lehetőséget; elsősorban orvosi célokra nehezebben előállitható izotópokat állit elő.

Uj amerikai tenyészreaktor. - A chicagoi Argonne National Laboratory engedélyt kapott az Amerikai Atomenergia Bizottságtól egy uj kisérleti reaktor épitésére; ez fog technikai és üzemtechnikai tapasztalati alapot szolgáltatni nagyteljesitményü atomerőművek épitéséhez. A berendezést szerződéses alapon, a chicagoi egyetem fogja üzemeltetni az Argonne Laboratóriumban, s ugyanott fog müködni egy üzemanyagtechnológiai központ is, mely főleg a plutóniumnak üzemanyagként való alkalmazására nézve végez majd kutatásokat. A plutoniumtermelés egyre növekszik, ugyhogy nagy jelentősége volna annak, ha békés célokra is alkalmazható lenne. Ennek az uj központnak tehát az lesz a feladata, hogy kikisérletezze a plutoniumnak a mai reaktortipusokban üzemanyagként való alkalmazási lehetőségét.

Chalk River. - A Kanadai Atomenergia Társulat által Chalk Riverben 1957. december 3-án üzembehelyezett kisérleti reaktornál sikerült - a nyugati országok közül először - a reaktort minden üzemmegszakitás nélkül uj üzemanyaggal feltölteni.

Japán első atomerőművét Angliától szándékszik vásárolni. Az erőmü technikai előirásait már hivatalosan közölték, elektromos kapacitása ezek szerint 150 megawatt lesz. Három angol vállalat kapott felhivást ajánlattételre. A reaktor épitését

valószinüleg még ebben az évben megkezdik és 1963 elejére kell elkészülnie. A reaktornak mindenekelőtt földrengésállónak kell lennie. Végül is egy Calder Hall tipusu grafitreaktor mellett döntöttek, melyet a földrengések ellen támasztóoszlopok vesznek körül; a reaktor gazdaságosságát ez nem csökkenti.

Kina első atomreaktora, melyet a Szovjetunió szállitott, s moderátora nehézviz, nemsokára elkészül. Ezenkivül épül Kinában egy - ugyancsak a Szovjetunió által szállitott - 25 MeV-es ciklotron is.

Atomkernenergie, 1958 május

Franciaországi reaktorok. - Franciaországban ezidőszerint tizenegy reaktor müködik, illetve áll épités alatt. - 1. El-1, Fort de Châtillon-ban; rendeltetése: kisérleti reaktor, radioizotópokat állit elő; üzemben van 1951 vége óta. - 2. El-2 /P/, Saclayban; kisérleti reaktor, izotópelőállitás; üzemben 1952 óta. - 3. G-1, Marcouleban; plutóniumot termel, kisérleti erőmü, üzemben 1956 eleje óta. - 4. Aquilon, Saclayban, 1956 augusztus. - 5. El-3, Saclayban; kisérleti reaktor erős neutronfluxussal, 1957. - 6. G-2, Marcouleban; plutóniumot termel, kisérleti erőmü, 1958. - 7. G-3, Marcouleban; plutoniumtermelés, kisérleti erőmü, 1958. - 8. Proserpine, Saclayban; kisérleti reaktor, 1958. 9. Uszómedencés reaktor Fort de Châtillonban; kisérleti reaktor, 1958. - 10. Uszómedencés reaktor Grenobleban, kisérleti reaktor, 1958. - 11. EDF-1, Avoineban /Chinon mellett/; atomerőmü, üzembehelyezés 1959 végén.

Harwellben sikeres kisérleteket folytattak egy olyan lámpa előállitására, mely a müanyagburkolaton belül foszforréteggel van bevonva. A lámpát krypton-85-tel töltik, mely 9,4 éves felezési idővel béta-sugarakat bocsát ki s a foszfort világitó sugárzásra gerjeszti. A fényerősség egyelőre még kivánni-valót hagy hátra. A Kr-85 az urániumhasadásnál bőven keletkező melléktermék.

Rövidfilmet készitett a Marcoule-i atomközpontról a francia Atomenergiaügyi Kormánybiztosság. A film célja az atomtelep fontos berendezéseinek bemutatása, mivel Marcoule - Saclay-val ellentétben - nem hozzáférhető a nyilvánosság részére. A filmen látható többek között a G-1 reaktor, mely kisérleti fokon elektromos áramot termel, a grafitmü, a még épités alatt álló két nagy reaktor, a G-2 és G-3, valamint belső felvételek a plutóniumüzemről. Ezek az utolsó felvételek, melyeket a plutóniumüzemben készithettek; az itt folyó kémiai eljárások nagy radioaktivitása miatt az üzemben való bejárást rövidesen leállitják és távvezérléssel fogják a müveleteket irányitani.

Az amerikai plutóniumtermelő vállalatok között nagy elégedetlenséget váltott ki az amerikai Atomenergia Bizottságnak az az intézkedése, hogy amerikai termelésből történő urániumoxid-vásárlásait évi 17 500 tonnára korlátozta, holott nemrég az AEC ösztönzésére az urániumtermelők üzemeiket nagy beruházásokkal bővitették, most pedig a többtermelés elhelyezése miatti nehézségeikben az AEC nem támogatja őket, sőt - régi szerződések alapján - az AEC urániumszükségletének jó részét drágább áron Délafrikában és Kanadában szerzi be. -Jelenleg az USA-ban évente 10 000 tonna a termelés, 1959-ben már eléri a megszabott maximumot, sőt tul is haladja esetleg. Az urániumtermelők szerint vállalni kell az átmeneti tultermelés kockázatát, melyet a katonai szükséglet csökkentése okoz, nehogy a hatvanas években hiány lépjen fel és kockáztassák a keleti urániumpiacok elvesztését. Ezért átmeneti készletgazdálkodási programot követelnek a kormánytól, amely a továbbtermelést lehetővé teszi. Az AEC jelenleg azzal a gondolattal foglalkozik, hogy engedélyezi az amerikai urániumtermelőknek külföldi piacokon való müködését.

Az ANL /Illinois/ teljesitményreaktora, az egy év óta üzemben lévő EBWR vizforraló reaktor, két és félszer akkora hőteljesitményt ért el, mint eredetileg várták: 20 000 kW /termikus/ helyett, anélkül, hogy a tápelemek számát vagy elrendezését megváltoztatták volna, 50 000 kW termikus teljesitményt adott. Az EBWR üzemeltetése az AEC erőmüfejlesztési programjához tartozik s az elért teljesitmény tizhónapi kisérleti üzem eredménye. Ennek folytán a jelenlegi 6250 kW elektromos teljesitmény változatlan feltételek mellett jelentősen emelkedni fog, s az ANL ellátására termelt áram termelési költsége csökken.

Az EBWR az amerikai Atomenergiabizottság első üzembehelyezett atomerőmüve; az 1956 decemberben végzett első kritikus kisérletek alapján a hütőviz normális keringése mellett 20 000 kW hő- és 5000 kW elektromos teljesitmény volt várható. A mult év folyamán ugy sikerült a hőteljesitményt 50 000 kW-ra emelni, hogy a normálisan keringő hütőviznek egy jelentős részét forrásba hozták, ami által a keringés a hasadási zónában meggyorsult és gyorsabb lett a hőelvezetés.

A berendezés a felemelt teljesitményszinten is teljesen egyenletesen müködött. A kisérlet alapján végzett számitások arra mutatnak, hogy bizonyos módositásokkal - tápelemek számának növelése, valamint a berendezésnek egy turbogenerátorral és egy nagyobb kondenzátortartállyal való bővitése - az EBWR reaktor hőteljesitménye 10 000 kW-ra, elektromos teljesitménye pedig 25 000 kW-ra növelhető. Ezzel az áram előállitási ára 52-ről 32 tizedcentre, vagyis 40 %-kal csökkenne kWóránként.

A kanadai Westinghouse 300 MW elektromos teljesitményü természetes uránium - nehézvizreaktort tervezett eladásra; a megadott kalkuláció szerint áramtermelési költsége kanadai viszonylatban kilowattóránként 6,5 tizedcent, az Egyesült Államokban 10 tizedcent.

Az Egyesült Államok második atomtengeralattjáróján, a "Seawolf"-on a nátriumhütésü reaktort egy éven belül kicserélik viznyomás alatti reaktorra, mert üzembehelyezése óta nehézségeket okozott a nátriumhütésü reaktor hőkicserélőjében a nátrium korroziv hatása. Az uj reaktort 20 millió dollárért a Westinghouse épiti. Ugy látszik, a nátriumhütésü reaktor, - minthogy magasabb hőmérsékletü a gőz, s ugyanakkor a hütőanyagban jóval kisebb a nyomás - jobban beválik stacionér berendezéseknél, mint hajókba való beépités céljára.

Az amerikai AEC további támogatást igényelt egy "Stellarotor" felépitésére. Ez az USA-ban épités alatt álló legnagyobb készülék szabályozott termonukleáris fuzióval kapcsolatos kutatások céljára. Ha a pótlólag kért anyagi eszközöket megkapják, a készülék talán 1959. nyarán elkészül.

Magfuziós kisérletek Japánban. - Osakában, a japán Institut Gotenyamaban sikerült február 8-án, 1-2 milliomod másodpercre 1 millió Celsius fok hőmérsékletet előállitani s közben neutronokat észleltek. Japán tudományos-müszaki albizottságának közlése szerint megvan a lehetőség náluk magfuziós kisérletek végrehajtására, de még nem jött el az ideje annak, hogy fuziós laboratóriumot állitsanak fel.

A legujabb amerikai atomtengeralattjáró, a "Skate", csucsteljesitményt ért el: lemerült állapotban átszelte az Atlanti Oceánt s nyolc nap és tizenegy óra alatt jutott el az angliai Portland kikötőbe.

A nyugatnémet Farbwerke Hoechst, elnökségének tagja, Dr. Menne birálta azt a "földöntuli nyugalmat", mely szerinte a Szövetségi Köztársaságban az atomenergia békés felhasználása terén uralkodik. Sürgette az atomtörvény megalkotását s a tervezett öt atomerőmü felépitését, éspedig nemcsak másolás, hanem saját studiumaik alapján. A Szövetségi Köztársaság is állitson elő urániumot, grafitot, nehézvizet, tápelemeket és reaktorokat, hogy tapasztalatokat szerezzen. Kifogásolta, hogy Nyugatnémetország csak politikusokat delegált az Európai Gazdasági Együttmüködés hatóságaiba. Az Euratom-ban a németek máris háttérbe szorultak, véleménye szerint azért, mert szakembereik nem megfelelő szakosztályokba kerültek, hanem csupán külügyi posztokra.

x x x

Felelős szerkesztő:

Dolinszky Tamás

A kiadvány száma: J-VI/45
Alak: A/4 Ivszám: 17.25
Megjelenés ideje: 1958. VI.hó
Megjelent példány: 150
Felelős kiadó az É.M.DOKUMENTÁCIÓS ÉS NYOMTATVÁNY-ELLÁTÓ VÁLLALAT igazgatója
Készült:
az É.M.Dokumentációs és Nyomtatványellátó Vállalat sokszorosító üzemében
T.sz: 70

MA...
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

309.024

ATOMTECHNIKAI TÁJÉKOZTATÓ

1. ÉVF. 3. SZÁM

1958. SZEPTEMBER

AZ ORSZÁGOS ATOMENERGIA BIZOTTSÁG

MEGBIZÁSÁBÓL KIADJA A

M. T. A. KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZETE

DOKUMENTÁCIÓS CSOPORTJA

2

ATOMTECHNIKAI TÁJÉKOZTATÓ

1. ÉVF. 3. SZÁM

1958. SZEPTEMBER

AZ ORSZÁGOS ATOMENERGIA BIZOTTSÁG

MEGBIZÁSÁBÓL KIADJA A

M. T. A. KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZETE

DOKUMENTÁCIÓS CSOPORTJA

TARTALOMJEGYZÉK

Oldal:

Frederic Joliot-Curie beszéde a párizsi Nemzetközi Magfizikai konferencián 5

A második genfi konferencia
Dr.S.Eklund 7

A teljesitményreaktorokról
Dr.S.Eklund 9

A magfuzió az ipari alkalmazás utján
P.Treille 31

A Wigner-effektusról
P.J.Grant 44

A Wigner-energia felszabaditása Harwellben 52

Az atommagkutató központokról
Dr.L.Kowarski 54

A sugárzás hatásai és a háttér radioaktivitása
Dr.H.Muth 63

A hidrosztatikus energiatárolás és az atomenergia
Sir Donald Perrott 78

Reaktorkutatás és fejlesztés
C.A.Rennie 80

Mikor lesznek gazdaságosak az atomerőművek?
Dr.W.Junkermann 93

Távfütés atomenergiával
John Grindrod 102

A filmdozimetria lehetőségei és alapelvei
K.Becker 107

A rádioaktiv izotópos terápia alapelvei
M.Brucer 128

Olajvezetékek rádiometrikus ellenőrzése
B.Z.Votlochin,A.Z.Dorogozsinszkij,
N.P.Melnyikova 139

A nehézbeton gazdaságossága a sugárvédelemben
A.N.Komarovszkij 143

Franciaországi izotópszétválasztó berendezések . . 155

Atomerőmü épitkezések 161

Hirek 171

"A tudomány eredményeinek kizárólag a békét és az emberi haladást kell szolgálniok."

F.Joliot-Curie

Fréderic Joliot-Curie

Augusztus 15-én közölték a lapok és a rádió a szomoru hirt, hogy Joliot-Curie professzor, a nagy atomtudós és békeharcos meghalt. Napok óta aggodalommal figyeltük a sajtójelentéseket sulyos egészségi állapotáról, mégis megdöbbentett a halálhir, hisz nem tudtunk hinni abban, hogy elveszithetjük őt, épp akkor, amikor legnagyobb szüksége lenne reá nemcsak az atomtudománynak és az emberiség békemozgalmának, hanem mindannyiunknak személy szerint is, hogy példájából erőt és lelkesedést merithessünk a békéért, az atomenergia békés felhasználásáért folytatott munkánkhoz.

Nemrég még előttünk állt és hallottuk mélységesen emberi, igaz szavait. Utolsó beszédének nagy részét, amelyet a juniusi párizsi Nemzetközi Magfizikai Konferencián mondott, a következő néhány lapon közöljük.

Emlékét kegyelettel őrizzük és példáját hiven követjük!

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

FREDERIC JOLIOT-CURIE BESZÉDE

a párizsi 1958. julius 7 - 12. között megtartott
Nemzetközi Magfizikai Konferencián

Az ilyen jellegü konferenciákon a különböző országok tudósai jobban meg tudják érteni és becsülni egymást s igy a tudósok előtt fokozatosabban tudatossá válik a tudomány nemzetközi jellege, az a hivatás, hogy felfedezzék az Igazságot és az egész emberiséget szolgálják. Félretéve a bénitólag ható nemzeti büszkeséget és elszigetelődést, a tudósok között nemzetközi szinten baráti kapcsolatok jönnek létre. A tudomány gyors haladása minden bizonnyal valamennyi ország kooperációjától függ, gondolok itt sajátos jellegü és tradicióju kis országokra egyaránt.

Megragadom az alkalmat most, amikor Önökhöz szólok, és elmondom a nukleáris fizikával és a nukleáris kutatással kapcsolatban támadt gondolataimat.

Csaknem 30 éve dolgozom már leboratóriumomban és láttam és tapasztaltam azokat az átalakulásokat, melyek legelőször fokozatosak voltak, de ma már robbanóerejüek, azoknak a munkája eredményeképpen, akik minden energiájukat és idejüket az alapvető nukleáris fizika területén való kutatásnak szentelték. Még csak 25 éve, hogy az atommagkutatáshoz olyan eszközöket használtak, melyek egy néhány cm^3-nyi csőben elfértek és ilyen és ehhez hasonló kisérletekből születő nagyjelentőségü eredményekhez nagyon kis területre, néhány négyzetméterre és nagyon kevés felszerelésre volt szükség. A tudós mentalitásának a müvészekéhez kell hasonlitania; nagyon közel kell állniok a vizsgált jelenséghez és ez a közös vonás a valóságnak többé-kevésbé közvetlen megfigyelése. A tudósnak teljesen szabadjára kell engednie alkotó fantáziáját. Nagyobb költség nélkül, laboratóriumában dolgozó munkatársai egészségének kockáztatása nélkül, a tudós próbálgatási módszerrel haladhat előre és érheti el célját; igy néha a költőhöz hasonlóan, intuiciószerüen juthat felfedezésekre.

Az alapvető kutatói munka bizonyos mértékig hasonló volt a kézmüvességhez, ami pedig olyan nagyon alkalmas az egyéniség ki-

fejlesztéséhez. Az anyag egyre alaposabb és mélyenjáró vizsgálatának szükségessége elkerülhetetlenné tette mind több és több hathatós müszaki módszer kifejlesztését és néhány technikai felszerelés nagyon komplikálttá és terjedelmessé vált; az alkalmazott atomromboló készülékek, nevezetesen a magasfeszültségü generátorok, ciklotron, betatron, szinkrotron, szinkrociklotron és más bonyolult müszerek kerültek a laboratóriumokba és ezek kezelésére technikai személyzetet kell kioktatni. Ez a technikai személyzet teljesen nélkülözhetetlen az egész kutatás menetének biztositására.

Egy modern atommagkutató intézet a gyanutlan látogatónak első pillanatra olybá tünik, mint egy ipari telep. Nem rejlik-e veszély abban, hogy a tudósok minderről megfeledkezve, elmerülnek hatalmas és költséges készülékeik üzembehelyezésében, hogy csak müködése óránként többszázezer, sőt többmillió frankba kerül?

A tudós ma már nem teheti meg, hogy a próbálgatás módszerével dolgozzék, ugy mint eddig, mivel rádöbbent arra, hogy felelőssége már jóval azelőtt kezdődik, mielőtt kisérletét megkezdené. Olyan kisérleteket elvégezni, mely nem sok eredménynyel kecsegtet, egyszerüen csak azért, hogy lássák, mi történik, ma már nem lehet. És mégis, sok felfedezés mulik véletlen körülményeken.

Az átmenet a kézmüipari szintről a nagyiparira, nekem ugy tünik, hogy tudatában kell lennünk az ebben rejlő veszélynek és meg kell találnunk a kutatási felszerelés használatának olyan módját, hogy elkerüljük a tudós egyéniségének elnyomását. A tudós nem tudhat eredeti munkát végezni ipari szinten.

Nem gondolják-e, hogy nagyon hasznos lenne a konferencián és a konferencián kivüli tudományos problémákat tárgyaló megbeszéléseken a fenti kérdéseket is megvitatni? Ugy gondolom, jó lenne, ugy gondolom, ilyen témákról ki kellene cserélnünk tapasztalatainkat és elgondolásainkat. Tökéletesen meg vagyok győződve arról, hogy valóban a nukleáris tudomány ügyét szolgálnánk, ha ezeknek a problémáknak a megoldását igazán megkisérelnénk.

x x x

Ford.: Koczogh Ákosné

A MÁSODIK GENFI KONFERENCIA

Atom Industry, Vol.7.No.1.1958.VII.2-3.p.

dr.Sigvard Eklund, az atomenergia békés célokra való felhasználásával foglalkozó genfi második nemzetközi konferencia főtitkárának beszámolója az Amerikai Atomenergia Társaság Los Angelesben 1958. junius 3-án tartott ülésén.

Kivonat.

A második genfi konferencia előkészitése során 1958. március, április és május folyamán 2409 tanulmány kivonatát küldték be, szemben az 1955. évi 1070 kivonattal. Témájuk számos kérdést ölel fel. 45 különböző országból és 4 nemzetközi ügynökségtől származnak. Számuk világosan tükrözi, hogy a legtöbb országban az atomenergia területén milyen nagy mértékben fokozódtak a kutatások, A benyujtott tanulmányok száma az 1955. évihez képest kétszeresére emelkedett, s különösen figyelemre méltó, hogy olyan országok, mint Mexico és Magyarország, melyek 1955-ben tanulmányokkal nem szerepeltek, most 5, illetve 28 kivonatot küldtek be. A másik meglepő példa Jugoszlávia, ahonnan 1955-ben csupán 7, jelenleg pedig 56 kivonat érkezett. Nyugat-Németország 1955-ben 2 tanulmánnyal, most pedig 65-tel szerepel.

A tanulmányok terjedelme az 1955. évihez képest kb. 40 %-kal emelkedett. A tudományos cikkeket 21 tagból álló nemzetközi szakértőbizottság birálja felül, amely a konferencia tudományos titkárságát alkotja, élén dr.Sigvard Eklund-dal és Homi Sethna-val (India). A tudományos titkárság tagjai 15 országból kerültek ki. A különböző munkaterületeket - fizika, reaktorok, kémia, biológia - 5-5 szakértő, a geológiát pedig 1 szakértő képviseli.

Az ülésszak a következő témákkal fog foglalkozni: az atomenergia jövője, az atomerőművekben szerzett tapasztalatok, a vezérelt fuzió jelentősége, az izotópok felhasználásának fejlődése, a fizika legujabb eredményei és nemzetközi együttmüködés az atomenergia területén. Az öt müszaki ülés fizikával, reaktorokkal, kémiával, izotópokkal, sugárvédelemmel,

nyersanyagokkal és kohászattal fog foglalkozni. A program szerint az ülések száma 77 lesz, szemben az 1955. évi 55-tel.

A tudományos titkárság jelenleg az előadásra kerülő tanulmányok kiválasztásával foglalkozik. Egy-egy előadásra 20 percet szántak, a három órás ülés alatt tehát 8 előadást lehet tartani, beleértve a vitára engedélyezett időt és igy az ülésszak folyamán összesen 600 előadás tartható.

Az Egyesült Nemzetek minden eszközzel elősegiti a nagyközönség tájékoztatását a sajtó, a rádió, a televizió és filmelőadások utján. Genfben három estén keresztül előadásokat tartanak a konferencia résztvevői és a nagyközönség számára, ahol általános érdekü kérdéseket vitatnak meg kimagasló szakértők bevonásával.

A benyujtott témák között igen népszerü a magfuzió problémája, amellyel csaknem 100 tanulmány foglalkozik. Általános kérdésekkel és kisérletek részletes leirásával foglalkozik az Egyesült Államokból, Nagybritanniából, a Szovjetunióból és Franciaországból beérkezett tanulmányok egész sora.

A nem energiatermelő reaktorokat ismertetik az orosz jégtörő hajóra, az amerikai "Savannah" nevezetü hajóra és a japán tengeralattjáró tervére vonatkozó tanulmányok. Más tanulmányok a reaktor tápelemeinek előállitásával, vagy a besugárzott tápelemek kémiai uton való reprocesszálásának módszereivel, pirometallurgiai módszerekkel, az uránium-izotópok szétválasztása gázdiffuziós módszerével foglalkoznak. Az egyik tanulmány ismerteti a Nyugat-Németországban alkalmazott szeparáló sugárcsövet, egy japán tanulmány pedig az izotópok alkalmazását ujjlenyomatok felvételénél. Az Egyesült Államokból beérkezett tanulmányok közül egyik a békés célokat szolgáló nukleáris és termonukleáris robbanásokat irja le.

Az 1955. évihez hasonlóan most is rendeznek kiállitást. De mig alapterülete 1955-ben csupán 1600 m^2 volt, jelenleg kb. 7000 m^2 lesz. A.H.Vergint (Nagybritannia) nevezték ki a kiállitás igazgatójának. A kiállitás augusztus 31-én nyilik és szeptember 15-ig tart.

A svájci hatóságok ugyanakkor kereskedelmi jellegü kiállitást rendeznek Genfben. E kiállitás alapterülete 11000 m^2. A kiállitás 14 résztvevője közül Nagybritannia 3600 m^2, az Egyesült Államok és Franciaország 3000 m^2, a Szovjetunió pedig 1000 m^2 területet igényelt. Itt az Egyesült Államok pl. több müködő reaktort és egy van de Graaff gépet mutat be.

A konferenciáról készülő anyagot 33 kötetre becsülik. Az anyag kiadásával John Martens-t, az Argonne National Laboratory munkatársát bizták meg. A tanácsadó bizottság májusi ülésén fontos határozatot fogadtak el a konferencia anyagának francia, orosz és spanyol nyelvre való forditásával kapcsolatban. Ennek értelmében e három nyelven készült rövid kivonatokat is ki fogják nyomtatni. A kiadás munkáját 1959. februárban kezdik meg Európában és a 33 kötetből 16-ot itt is fognak nyomtatni.

A konferencia titkársága julius közepén New-Yorkból Genfbe költözik. A konferencia elnökéül a francia atomenergiabizottság főbiztosát választották meg.

(Ford.: Rostás Lászlóné)

x x x

A TELJESITMÉNYREAKTOROKRÓL

Sigvard Eklund

Acta Physica Austriaca Bd 11, No 4, S.434. (März 1958)

(Az Osztrák Fizikai Társaság 1957 márc.20-21-én tartott "Reaktorfizika" vitaülésén elhangzott előadás.)

Ismeretes, hogy az első reaktorokat plutoniumtermelésre épitették s azt a tényt, hogy napi egy gramm plutonium termelése közben a reaktorok kb. 1,25 MW hőt adnak le, nem kivánatos kisérő jelenségnek tekintették, mely hütőközeg alkalmazását teszi szükségessé. Mivel a reaktor fő célja plutonium előállitása volt, e technikai nehézségeket egészen egyszerü hütőanyagok felhasználásával igyekeztek kikerülni. A hanfordi reaktoroknál viz,

a windscalei reaktoroknál levegő volt a hütőanyag, s hőmérsékletük - miközben átvezették őket a reaktoron - mindkét esetben mérsékelten növekedett.

A hasadási folyamattal felszabaduló energia praktikus célokra való forditására nem ismerünk más eljárást, mint a közönséges termodinamikai körfolyamatot. Nagy hatásfok elérése érdekében arra törekszünk, hogy a hütőanyag minél nagyobb hőmérsékleten lépjen ki a reaktorból. Ez a követelmény azonban számos problémát rejt magában, melyek

1. a reaktorfizikával,
2. a reaktoranyagokkal,
3. a sugárvédelemmel,
4. a reaktorszerkesztéssel kapcsolatosak.

Tul messze vezetne, ha itt akárcsak röviden is át akarnám tekinteni a fentiekkel kapcsolatos problémákat, igy csak azt emelem ki, hogy a reaktornak természetesen kritikus állapotba kell tudni jutnia, a reaktorhoz tartozó anyagoknak ki kell elégiteniök bizonyos neutronelnyelési követelményeket és ellenállóknak kell lenniök a sugárzásokkal szemben. Az angol Goodlet ezt ugy fogalmazta meg, hogy egy reaktorkonstruktőrnek a reaktorfizikus és az anyagszakértő által megvont határokon belül kell mozognia.

A sugárvédelem kétirányu kérdéseket vet fel : részben a reaktormagban keletkező sugárzás árnyékolásáról, részben a radioaktivitás szétterjedésének kockázatáról van szó, főleg reaktorszerencsétlenség esetében.

A szerkesztési problémák abban a célkitüzésben foglalhatók össze, hogy a tápelemek adott maximális hőmérsékletértékeihez olyan hütőrendszert kell megteremteni, mely az üzemanyag sulyegységére esően a lehető legnagyobb hatásfokot biztositja a hütőanyag lehető legmagasabb hőfoka mellett.

A reaktorok osztályozhatók az alkalmazott üzemanyag, kiindulási anyag, neutronenergia, hütőanyag, tápanyag-geometria, moderátoranyag, stb. szerint ugy, hogy az a tuloldali táblázatban látható. Bár a táblázat távolról sem teljes, már ezen

I. táblázat

Néhány kombinációs lehetőség a reaktortipusok megválasztására

Üzemanyag	Kiindulási anyag	Neutronenergia	Hütőanyag	Geometria	Moderátor
U- 233	Th	gyors	gáz	heterogen	H_2O
U- 235	U	rezonancia	folyékony fém	homogen	D_2O
Pu-239	U	lassu	H_2O		Be
			D_2O		BeO
			szénhidrogén,stb		C stb.

belül is százszámra adódnak lehetőségek a kombinációra. Megjegyzendő, hogy nem mindegyik kombináció keresztülvihető: például a gyorsreaktor nem hüthető vizzel. De legalábbis elméletben vagy száz tipusra, illetve variánsra nyilik lehetőség. A reaktorfejlesztési programban a központi kérdés az, melyik tipust érdemes fejleszteni. E tekintetben, amint Wigner profeszszortól is hallottuk, a magfizikai kritériumok is hasznos irányitást adnak.

Minden reaktorépitéssel megbizott konstruktőr igyekszik a reaktort valamilyen szempontból különösen előnyösre konstruálni. Emellett természetesen döntő szempont az is, hogy a reaktor kilowattonként a lehető legolcsóbb áron termeljen áramot, a szükséges biztonsági és megbizhatósági követelmények betartásával. Egy másik tényező a jelen körülmények között az, hogy a rendelkezésre álló, avagy az épités tartama alatt várható információk alapján mekkora élettartamra lehet egy bizonyos reaktortipusnál számitani.

A reaktortipus megválasztásában minden ország számára döntő jelentőségü a szükséges kiindulási anyag, nevezetesen a táp-

anyag, moderátor és szerkezeti anyagok hozzáférhetősége. E tekintetben szerepet játszhatnak tisztán technikai szempontok, mint például egy bizonyos célra szánt reaktor esetében a beállitás gyorsasága a teljesitményszabályozásnál, vagy pedig általános biztonsági tényezők akkor, ha a reaktort meghatározott helyre tervezik, ahol adott biztonsági követelményekkel kell számolni.

A különböző reaktortipusok kivitelezhetősége és kifizetődő volta terén hiányosak voltak a közvetlen tapasztalatok, ezért a nagyhatalmak - elsősorban az USA, Anglia és a Szovjetunió - kénytelenek voltak a legbiztatóbb tipusok alapján kisebb méretü kisérleti reaktorokat épiteni, hogy majd ezek szolgáltassanak kiértékelhető tapasztalatokat a megfelelő ipari reaktorokhoz. A következő lépés prototipusok épitése; ezek már energiatermelésre szolgáló, teljes méretü reaktorok.

Az alábbiakban ebből a szempontból vizsgáljuk meg a különböző országokban folyó reaktorokkal kapcsolatos munkákat.

Az Egyesült Államokban, gondosan áttanulmányozva a jövő számára érdekes tipusokat, már 1954-ben kidolgoztak egy programot, mely négy kisérleti reaktort és egy prototipus épitését foglalja magában, éspedig: egy vizforraló reaktort, egy nátriumhütésü és grafittal moderált, egy homogén vizoldatos és egy gyors tenyésztő reaktort; a prototipus viznyomásos PWR (pressurized water reactor) reaktor lesz. Később kibővitették a kisérleti reaktorokat egy szerves anyaggal moderált és egy folyékony fém-üzemanyagos reaktorral. Ezenkivül szerződéseik vannak egy zártkörös gázturbinás és egy nátriumhütésü, nehézvizzel moderált reaktor megtervezésére.

A kanadai program, ugy látszik, következetesen nehézvizzel moderált reaktorok fejlesztését irányozza elő. 1960-ban kezdi meg majd müködését egy 20 MW elektromos teljesitményre tervezett nehézvizes NPD reaktor (nuclear power demonstration).

Angliában a gázhütésü, grafittal moderált tipust dolgozták ki, mely - amint bebizonyosodott - technikailag messzeme-

nően továbbfejleszthető. Ez az angol program első fejlesztési szakaszának alaptipusa. De dolgoznak nátriumhütésü és grafit moderátoru, valamint nagynyomásu vizzel hütött reaktorokkal is. Ujabban helyeztek üzembe Harwellben egy zérus-teljesitményü grafitreaktort, a "NERO"-t, mellyel mind nátrium-, mind gázhütés mellett végezhetők kisérletek.

Franciaországban is főleg egy reaktortipusra, nevezetesen gázhütésü, grafittal moderált tipus kiakakitására törekszenek. Homogén reaktorok fejlesztése terén is folynak munkák.

A szovjet program adatai azt mutatják, hogy több fajta reaktortipussal foglalkoznak: grafitmoderátoros és viz- vagy nátriumhütésü reaktorokkal, közönséges vizmoderátoru vizforraló reaktorokkal, vagy közönséges viz-hütésü reaktorokkal, valamint nehézviz moderátoru, gázhütött reaktorokkal. Ezekhez járul még egy U-233 - Th homogén, szaporitó reaktor, továbbá egy nátriumhütésü gyorsreaktor. Ami a különböző tipusu reaktorok számát illeti, a szovjet program az amerikai után a legnagyobb szabásu.

Ha a fentiek kapcsán a svéd programról is szólok néhány szót, ezt nem azért teszem, mintha az előbb emlitett, jóval előrehaladottabb országokéval akarnám összehasonlitani, hanem csupán, mert jól ismerem.

Svédország fütésre szolgáló hőszükséglete összes energiafogyasztásának kb. 30 %-át teszi ki, s igy érthető, hogy az atomenergiát az egyébként elkerülhetetlen fütőanyagbehozatal pótlásának tekinti. Ez idő szerint központi lakásfütésre két reaktort terveznek: az R3 és az ADAM elnevezésü reaktorokat. Minthogy a fogyasztás nem nagy, fütőcentrálénként kb. 75 MW-os grafitmoderátoros reaktorok a nagy beruházási költség miatt és mert minimális méretük igen nagy, nem jöhetnek szóba. Ezért nehézvizzel moderált természetes uránreaktorokra esett a választás. A R3 reaktor (nyomócsöve és nyomástartálya még egyaránt vitás) egy ellennyomásu berendezés segitségével 70 MW hőn kivül kb. 15 MW elektromos energiát is fog termelni, az ADAM (nyomástartályos szerkezetü)

azonban csak hőt fog szolgáltatni. Mindkét reaktor körülbelül 1960-ra készül el.

Annak oka, hogy Európában általában nem követik az amerikai munkamódszert és ugyszólván egyidejüleg egész sor kisérleti reaktort dolgoznak ki, abban keresendő, hogy az ilyen reaktortervek igen költségesek. Például az Oak Ridgeben most készülő homogén HRT terv költségeit 40 millió dollárra becsülik.

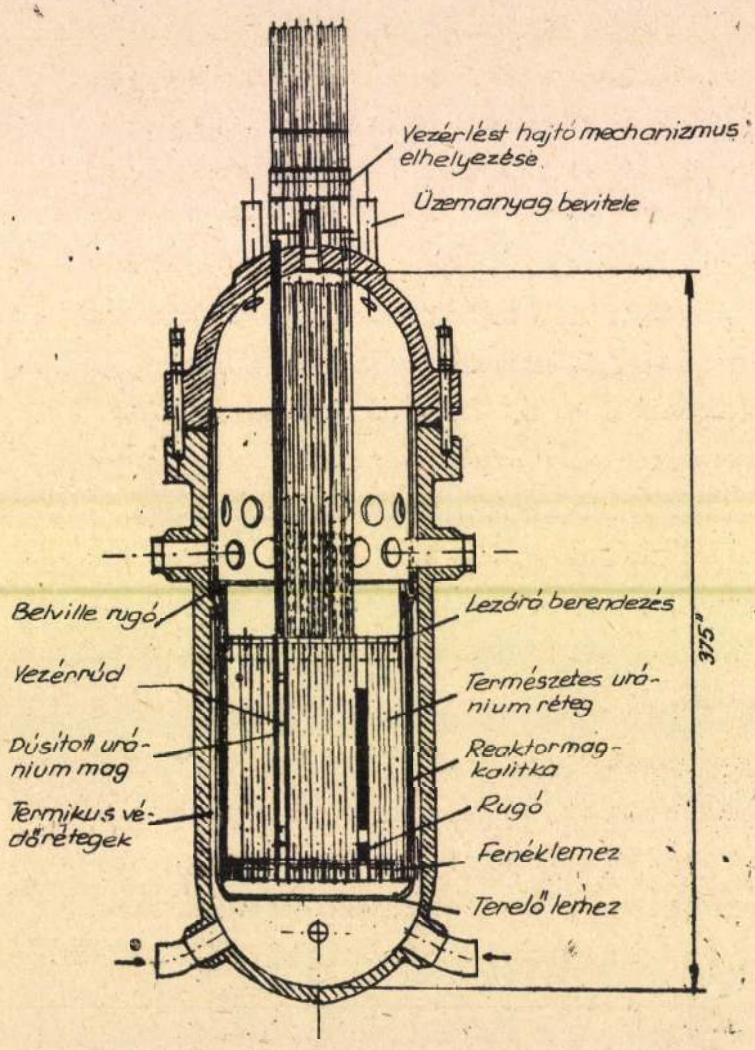
Ezért nagy megelégedéssel fogadhatjuk az OEEC és az EURATOM utóbbi időben megnyilvánuló ama törekvését, hogy európai együttmüködést hozzon létre. Az OEEC egyik csoportja, amint ismeretes, javaslatot dolgozott ki többek között egy vizforraló reaktorra, egy homogén reaktorra, egy folyékonyfémüzemanyagos s végül egy gyors szaporitó reaktorra, melyeket mind egy közös vállalkozás épitené, ... vagy egy uj nemzetközi atomközpontban, vagy valamely tagállam már müködő központjában. Az OEEC keretében elhatározták, hogy Angliában elkezdik egy homogén reaktor előtanulmányait és résztvesznek a svéd vizforraló reaktor tervezésében is. Az OEC-tervben az EURATOM is érdekelt. Remélik, hogy az európai országokban jelenleg elég elszigetelten folyó munkák az együttmüködés keretében kiszélesedhetnek és elmélyithetők lesznek. Ezáltal az egyes országok intézményeiben párhuzamosan folyó munkákra lekötött szellemi munkaerők felszabadulnának nagyobb jelentőségü feladatok számára. Ez a kérdés a közeljövőben valószinüleg tisztázódni fog.

A közös tervek is igen költségesek. A közös ötéves program a már emlitett reaktorokon kivül előirányoz még egy anyagvizsgáló reaktort és javasolja egy általános kisérleti laboratórium felállitását; ez az ötéves program összesen 150 millió dollárba kerül.

Minthogy az összes reaktorkisérleti berendezésekről, ill. tervezett tipusokról müszaki ismertetést adni tul hosszu lenne, szerző ugy véli, hogy a jelenlévők szempontjából legérdekesebb az USA-ban müködő PWR és az angliai Calder Hall

reaktort vázolni. Megjegyzi, hogy jelenleg még csak két valódi teljesitmény-reaktor müködik: a Calder Hall és a Nautilus; (utóbbiról keveset tudunk, titkos terv).

Érdekes, hogy a PWR és a Calder Hall reaktort főleg a plutoniumtermelő reaktorokkal korábban szerzett tapasztalatok alapján konstruálták. Az USA-ban a Hanford reaktorokat - mint már emlitettük - vizzel hütötték, mig angliai ellenpéldányát, a windscalei reaktort - többek között biztonsági okokból - gázhütéssel látták el. Az USA-ban a reaktorok vizhütésére nézve további tapasztalatokat nyujtott a MTR anyagvizsgáló reaktor és a Nautilus. Kétségkivül számottevő technológiai ismerettel rendelkeznek már erre a reaktortipusra vonatkozóan, ennek ellenére amerikai körök hangsulyozzák, hogy a PWR-t nem azzal a végcéllal épitették, hogy versenyképes áron tudjon elektromos áramot termelni, hanem kizárólag olyan tapasztalatok gyüjtése céljából, amelyeket csak egy prototipus megtervezése, felépitése és müködése során lehet nyerni.



1. ábra

A PWR Pittsburghtól kb. 40 km-nyire északra épül; Üzemanyaga természetesen és erősen dusitott uránium. A moderátor és hütő nagygyomásu viz. A teljesitmény, hő formájában 231 MW, a számitott elektromos teljesitmény 60 MW. A nyomástartály

szénacélból készült, 9,9 méter magas, belső átmérője 2,7 méter (1.ábra). Falvastagsága kb. 20 cm, sulya 250 tonna. A tartály belső felülete rozsdamentes acéllal van bevonva. A reaktormag egy 1,8 m magas és 2,0 m átmérőjü egyenes henger. Üzemanyaga 75 kg nagy dusitásu uránium, uránium-cirkóniumötvözet alakjában és 14 tonna természetes uránium, urániumdioxid alakjában. Mindkét fajta üzemanyag cirkaloy II tokokba van zárva. Az erősen dusitott anyag 15 cm vastag négyzet alaku keretben van. A kereten belüli és kivüli szabad helyet az oxid-tápelem tölti ki. Még nem használt üzemanyag esetében az összes teljesitménynek mintegy 45 %-a a dusitott tápelemben, kb. 55 %-a az oxid-elemben jön létre. Induláskor az átalakulási arányt 0,8-ra becsülik. Egy oxid-tápelem középpontjában maximálisan 1200 C^{o} hőmérséklet várható. A hütőközeg bemeneti hőmérséklete 265 C^{o}, kimeneti hőfoka 283 C^{o}, nyomása 140 at. (A reaktort 1957 december 2-án helyezték üzembe, éppen 15 évvel az első, Fermi-reaktor megindulása után. Üzembehelyezéskor a hőteljesitmény 25 KW volt.) Az összköltségek 37,5 millióról 72,5 millió dollárra emelkedtek. A reaktort az AEC részére a Westinghouse Electric Corporation épitette s azonos kivitelü, de 134 MW elektromos teljesitményü reaktor épitésére kötött szerződést a Yankee Atomic El.Co. is. Ennél a reaktornál a tápelemek rozsdamentes acéltokokban vannak. A költségek 34,5 millió dollárt tesznek ki, terv szerint az erőmü 1962-re készül el. Ugyanilyen reaktor épitésére kapott megbizást a Westinghouse Milanoból, az Edison Volta-tól.

A két Calder Hall A tipusu reaktor közül az első 1956 májusában került kritikus állapotba, a második 1956 decemberében. A berendezés ma már annyira ismert, hogy csak a legfontosabb adatait kell ismertetnem. A reaktorok moderátora grafit, üzemanyaga természetes uránium, magnéziumötvözet-tokokban. A hütő 7 at. nyomás alatt álló CO_2, ezért a reaktor nyomástartályba van bezárva, melynek átmérője 11 méter, magassága 21 méter, falvastagsága kb. 5 cm. A berendezés összes kapacitása 2 x 40 el.MW. A Calder Hall reaktorok kettős müködésü reaktorok: energiát és plutoniumot állitanak elő.

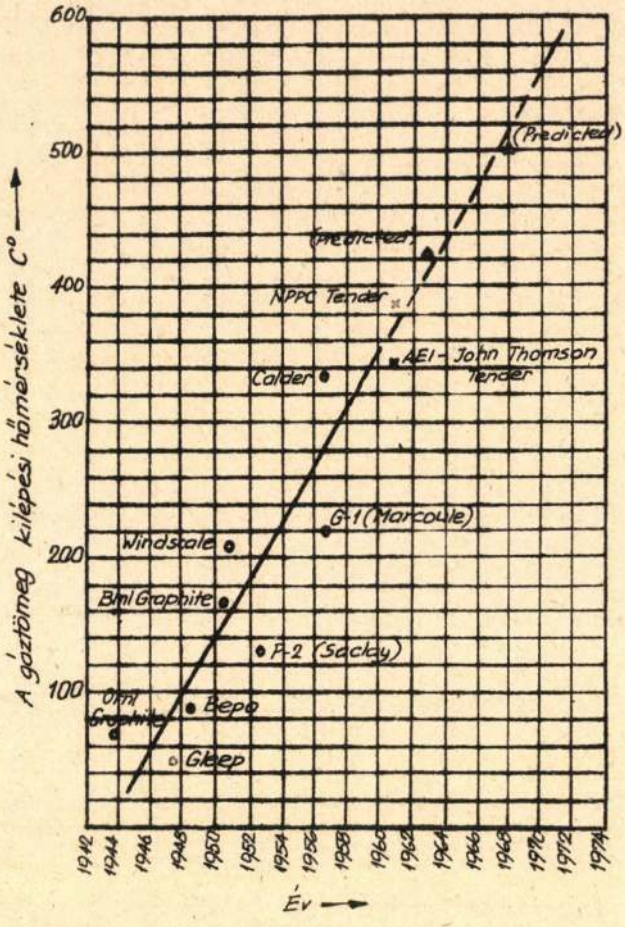
A berendezés 1956 október 17-én történt üzembehelyezése óta termel energiát és az azóta eltelt idő 90 %-a alatt, tehát

5 %-kal hosszabb időn keresztül, mint ahogy az előzetes számitás mutatta, üzemben volt. Sikerült például a maximális terhelést 5-10 %-osra lecsökkenteni s utána félórán belül ujra a maximális értékre emelni. Ez a szénfütésü erőmüveknél - Sir Christopher Hinton kijelentése szerint - nem lehetséges. Célszerünek látszik azonban, hogy az ilyen erőmüvet a vele kapcsolatos nagy kiadások miatt, elsősorban alapterhelésre használják. Előfordult és jelenleg is előfordul széndioxid-elillanás, de nem tekintik komoly problémának, annak ellenére, hogy a széndioxidot igen nagy mértékben mentesiteni kell az argontól (egy résznél kevesebb juthat 10^6-ra,) azért, hogy a hütőgáz aktivitása minimális legyen.

Nyolc hónap alatt csak két esetben észleltek megrongálódást a tokokon. Itt utalok arra, hogy egy ujabban kiadott statisztika szerint a windscalei reaktoroknál 200 000 tápelem besugárzásában csak 26 hiba fordult elő. Nem sokkal az első Calder Hall reaktor meginditása előtt Harwellben Cottrell rámutatott arra, hogy a hasadási folyamat következtében az urániumban nagyfeszültségü zónák keletkezhetnek és az uránium ugy viselkedhet, mintha a tervezettnél nagyobb terhelésnek lenne kitéve. Cottrell elgondolását későbbi vizsgálatok elvileg igazolták és a második Calder Hall reaktor tápelemeit már tartókkal látták el.

A South of Scotland Electricity Board számára a G.E.C.-Simon Carves két reaktorból álló erőmüvet épit, egy-egy reaktor hőteljesitménye 530 MW, azaz egyenként kb. 150 elektromos MW. Egy-egy reaktorban 3300 csatornára elosztva 250 tonna természetes urániumot, továbbá 2100 tonna grafitot helyeznek el. A nyomástartály gömb alaku (kb.10 at), átmérője kb. 21 méter, falvastagsága 3 inch (kb. 7,5 cm). A hütő (széndioxid) hőmérséklete bemenetkor 204 C^o, kimeneti hőmérséklete 396 C^o. A nyomástartály belsejét acélburok vonja be, hogy a külső acélgömböt védje a tul nagy hőmérséklettől.

A gázhütésü reaktoroknál Angliában nyert, és az ilyen tipusu jövőbeli reaktoroknál felhasználható tapasztalati adatokat szemlélteti (Sir Christopher Hinton alapján) a 4.sz. ábra.



4. ábra

A reaktorhütő gázok kimeneti hőmérsékletének emelkedése

Feltehető a kérdés, valóban szükség van-e ekkora elővigyázatosságra, hiszen abban mindenki egyetért, hogy a technika fejlődését elő kell segiteni és éppen ez teszi lehetővé - mint mindenütt - hogy az előforduló hibákból tanuljunk. Nem szabad azonban elfelejteni azt, hogy egy reaktorszerencsétlenség sulyos károkkal járhat, melyek kivülállókat is érintenek és ez erősen megingatná az uj energiaforrás iránti bizalmat. Egyelőre tehát az atomenergia terén el kell tekinteni attól a klasszikus módszertől, hogy saját hibáinkból okuljunk.

Sir Christopher Hinton egy stockholmi előadásában ("The Future for Nuclear Power", 1957 Axel Ax:son Johnson a Mérnök-

tudományok Akadémiáján tartott előadás) közölt néhány adatot arra nézve, mit tart megvalósithatónak a jövőben épülő reaktoroknál.

A gazdaságosság terén kétféle módon lehet jelentékeny javulást elérni:

1.) a fajlagos teljesitmény, azaz az egységnyi sulyu üzemanyagból időegységként fejleszthető hőmennyiség növelésével,

2.) A berendezés hőmérsékletének emelésével.

E két lehetőség közül Hinton szerint legfontosabb a hőmérséklet emelése. Az egész berendezésből ez idő szerint a reaktorra az összköltségeknek körülbelül csak a fele esik és ez a hányad csökken, ha a reaktorban nő a hőmérséklet. Mig a specifikus teljesitmény fokozása csupán a reaktorköltségekre hat ki, a reaktorhőmérséklet emelése az egész berendezést gazdaságosabbá teszi.

Ebben a vonatkozásban fontosabb a hütőanyag helyes megválasztása, mint a moderátoré; utóbbinál Hinton szerint tulajdonképpen csak azon fordul meg a dolog, hogy eldöntsük, nehézvizre forditsuk-e a pénzt, vagy használjunk dusitott urániumot. Ami a hütőanyagot illeti, a folyékony hütőanyagok azért előnyösebbek, mert igy érhető el a legkisebb hőmérsékletkülönbség a reaktor és a termikus kör között. Viszont magasabb hőmérsékleten jóval sulyosabb korróziós problémák merülnek fel; ebből a szempontból a gáz sokkal jobb hütőanyag.

Ezzel kapcsolatban rá kell mutatni arra, mekkora jelentősége van reaktoroknál - még sokkal inkább, mint más mechanikai szerkesztésekben - a konstrukció messzemenő egyszerüsitésének.

Minthogy a Calder Hall-tipusu gázhütésü reaktoroknál a specifikus teljesitmény alacsony s épp ezért az ilyen reaktorokat igen nagy egységek alakjában kell felépiteni, felmerül más lehetőségek, például gázhütésü és nehézvizzel moderált reaktorok mérlegelésének gondolata.

Gázhütésü reaktoroknál 1965-re valószinüleg elérhető lesz az 5 MW/tonna fajlagos hőteljesitmény, ami - egyébként változatlan feltételek mellett - az uránium-tápelemek középpontjában kb. 800 C° hőmérsékletnek felel meg. A 660° és 770 C° hőmérsékleteknél fellépő allotrop átalakulások azonban szükségessé teszik az áttérést más, a hőátviteli viszonyok szempontjából előnyösebb megoldásokra, mint például csövekre, lemezekre, stb.-re. Az üzemanyag egységnyi sulyára eső tokanyag nagyobb mennyisége miatt már enyhén dusitott üzemanyagot kell majd alkalmazni, amely azonban jóval drágább és olyan tok-anyagra van szükség, amely hőmérsékletállóbb, mint a magnézium, például berilliumra. Minthogy olvadáspontja 1280 C°, ez maga is bizonyos követelményeket támaszt a tokba kerülő urániummal szemben. Előreláthatóan lesz egy első szakasz, amikor még fémet alkalmaznak s később majd kerámikus anyagot (urániumoxid) fognak berilliumtokba helyezni.

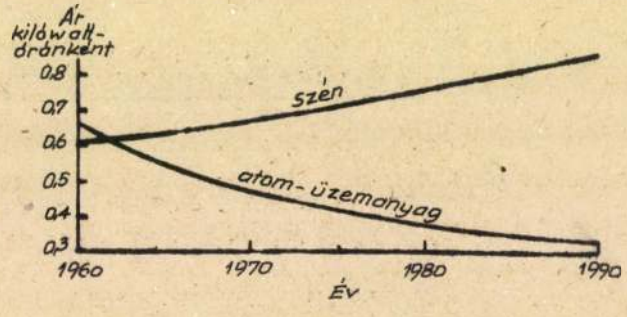
Már mondottuk, hogy a Calder Hall reaktorok és utódaik kettős müködésü reaktorok: energiát és plutoniumot termelnek. A 2. táblázatbeli költség-kimutatásban a besugárzott üzemanyagból nyert plutonium cimén jóváirást találunk: ez a szóban levő időszakasz elején a kilowattóránkénti ár 10 %-át teszi ki, s később 3 %-ára csökken. Ennek magyarázata az, hogy az ilyen módon előállitott plutonium katonai célokon kivül reaktorokban, például gyors szaporitóreaktorokban is felhasználható. Amilyen ütemben csökken az atomreaktoroknál a kilowattóránkénti ár, olyan ütemben csökken a plutonium ára is, mert természetszerüleg plutoniumért nem lehet többet fizetni, mint amennyit a kilowattóra eladási ára elbir.

2. táblázat

Atomerőművek energiaszolgáltatási költségei
(pence/kilowattóra)

Üzembehelyezés	1960	1970	1980	1990	
Értékcsökkenés	0,37	0,30	0,26	0,22	d/U.S.O.
az üzemanyag kamatai	0,06	0,04	0,03	0,02	d/U.S.O.
az évenkénti kicserélés költségei	0,24	0,13	0,08	0,06	d/U.S.O.
az üzemeltetés költségei	0,06	0,05	0,04	0,03	d/U.S.O.
összesen:	0,73	0,52	0,41	0,33	d/U.S.O.
Jóváírás a besugárzott üzemanyagért	0,07	0,05	0,03	0,01	d/U.S.O.
tisztán:	0,66	0,47	0,38	0,32	

Az 5. ábra grafikonja szembeállitja egy konvencionális és egy atomerőművel termelt kilowattóra-árának alakulását a következő évtizedek folyamán.



5. ábra
Egy-egy szénnel és atomtápanyaggal müködtetett erőmü kilowattóra-árának összehasonlitása

1962-1963 év táján a két ár körülbelül kiegyenlitődik, a hetvenes évek körül azonban a reaktorok villanyárama tagadhatatlanul olcsóbb, mint a gőzerőmüveké.

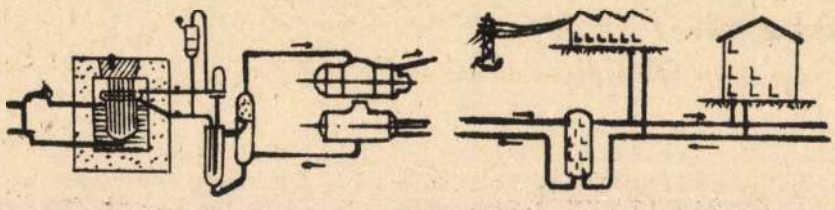
Már jeleztük, hogy a PWR reaktornál olyan technikai fejlődés várható, amely költségcsökkenéssel járhat; mindenekelőtt a cirkóniumnál remélhető ármérséklődés. Esetleg alkalmazható cirkónium helyett rozsdamentes acél, amint a Yankee-reaktornál tervezik.

Az Egyesült Államokban az AEC megbizásából összehasonlitó vizsgálatokat végeztek a Calder Hall-tipusu reaktor és a PWR üzemköltségére nézve, éspedig a "második generáció" reaktoraiból kiindulva, mivel igy az üzemi tapasztalatokat már figyelembe lehetett venni. A 60-as évek elején már müködni fognak ilyen reaktorok. A tanulmány eredményeként az adódott, hogy - ha egy 90 MW teljesitményü Calder Hall és egy ugyanilyen teljesitményü PWR reaktor létesülne Angliában - a költségek, kilowattóránként tizedcentekben kifejezve, a Calder Hall tipusu reaktor esetében 7,7-et, a PWR reaktornál 12,9-et teremnek ki. Ha a reaktorok az Egyesült Államokban müködnének, akkor is a Calder Hall-tipus bizonyul előnyösebbnek 17,9 tizedcentes kilowattóránkénti költséggel, a PWR 19,6 tizedcentjével szemben. A kivont hőt a Calder Hall-tipusnál tonnánként 3000 megawattnapnak, a PWR oxid-tápelemeinél tonnánként 6000 megawattnapnak vették.

3. táblázat

Az R3-terv adatai

a termelt hő	95	MW
elektromos energia	15	MW
a fütésre forditott hő	70	MW
a nehézviz (hütőanyag) nyomása	60	at
gőznyomás	23	at
moderátor és hütőanyag	kb. 40	tonna nehézviz
üzemanyag	kb. 11	tonna urániumoxid (természetes uránium).



6. ábra
A tervezett R3 reaktorberendezés elve

Svédországban, mint emlitettük, kidolgozták egy lakások központi fütésére szolgáló reaktor költségvetését és elvi felépitését. Az országgyülésnek javaslatot tettek egy olyan reaktor (R3) épitésére, mely hőn kivül bizonyos mértékben elektromos áramot is termel, valamint egy második, kizárólag hőt termelő reaktorra (ADAM).

Az R3 berendezés egyes adatai a 3. táblázatban, a kihasználás elve a 6. ábrán láthatók. A berendezés reaktorrészét Stockholm határán belül egy sziklaüregben fogják elhelyezni, körülbelül 2 km-re a város jelenleg beépitett részétől. A költségek részletezését a 4. táblázat tünteti fel. Üzemanyagként kb. 12 mm $\varnothing$ átmérőjü és 18 mm hosszu hengerekben elhelyezett, szinterezett (tömöritett) UO_2-t fognak alkalmazni.

A robbantási munkálatokat 1957 novemberében megkezdték és 1960-ra remélik a reaktor meginditását.

Elsőrendü fontosságu dolog, melyet a reaktorok helymegválasztásánál szem előtt kell tartani, a biztonsági követelmények kérdése. Reaktorszerencsétlenség esetén a környéken szétterjedhet a radioaktivitás, ezért a reaktor környéke nem lehet sürün beépitve. Elektromosságot termelő reaktorberendezés körül a biztonsági terület nagyságának kisebb a jelentősége, mint központi fütést szolgáltató reaktor környezetében. Bár a reaktorerőmüveknél az üzemanyag és salak szállitására szolgáló utak épitésére nincs szükség, mint a hagyományos erőmü esetében, a központi fütésre szolgáló reaktornál az előbb emlitett bizton-

sági terület okoz igen nagy nehézséget és tetemes költségeket, hiszen a reaktornak gazdasági okokból minél közelebb kell lennie a fogyasztóhoz.

4. táblázat

Egyszerüsitett üzem esetén becsült költségek

Az egész berendezéshez (beleértve a tápelemeket, a 15 MW-os turbinaberendezést és 3,5 km hosszuságu melegviz-csővezetéket) szükséges tőke kb.	47	millió svéd korona	
évi tőkekamat, értékcsökkenés, üzemeltetés és javitások, évi 10 %-ot számitva	4,7	"	"/év
üzemanyagfogyasztási költség, 50 %-os kihasználási tényező mellett	0,9 -1,3	"	"/év
évi összes költség:	5,6 -6,0	millió svéd korona	
a fütési hő értéke: 1,37 öre/kilowattóra (= a megtakaritott olaj értéke á 120 sv.Kr/m3)	4,2	"	"
a termelt villamos-energia:	1,4 -1,8	millió sv.Kr/év	
a villamosenergia-költség kilowattóránként:	2,3 -2,9	öre	

Külön biztonsági berendezések alkalmazásával azonban le lehet csökkenteni a biztonsági terület nagyságát. Például a reaktort olyan nyomásbiró tartályba teszik, amely esetleges reaktorszerencsétlenség esetén is állja a nyomást, vagy az egész reaktort a föld alatt helyezik el.

Legegyszerübben a földalatti elhelyezéssel érhetünk el jó tömitést, vagyis azt, hogy szerencsétlenség esetén a reaktorban levő radioaktiv anyagoknak csak egy töredéke kerüljön ki levegő utján a környezetbe. Ha a reaktort tömitett sziklaüregbe lehet helyezni, ez elősegiti a radioaktivvá vált levegő elzárását. A szikla egyidejüleg védene a hasadási termékek gamma-sugárzásá-

tól is, melyek reaktorszerencsétlenség esetén kiszöknének. A lakosság védelme szempontjából is igen ajánlatos a reaktorokat sziklaüregben elhelyezni.

Az atomenergiával kapcsolatos biztonsági rendelkezések lényegesen eltérnek az iparban tapasztalható gyakorlattól, ahol is szabályozó intézkedésekre gyakran csak akkor került sor, amikor a légkör és a folyóvizek szennyeződése már nyugtalanitóvá vált. Atomenergia terén kezdettől fogva rendkivül korlátozó rendelkezéseket adtak ki, azzal az elgondolással, hogy ezeket majd - a tapasztalatoktól függően - esetleg lazitani fogják. Amikor az ember szolgálatába állitotta a tüzet, megtanulta leküzdeni a tüzvészt. Bizonyára hasonló lesz a fejlődés az atomenergiával, illetve az atombalesetekkel kapcsolatban is.

A harmadik személyekkel szembeni kárbiztositás kérdését a mult évben alaposan megvitatták többek között az Egyesült Államokban. Magánbiztositó társaságok ott reaktoronként 65 millió dollárért voltak hajlandók vállalni a biztositást. Az ipar ezt az összeget kevésnek találta s a kongresszushoz benyujtott törvénytervezet ugy szól, hogy - amennyiben a netáni károk meghaladnák a biztositással fedezhető összeget, - az államnak 500 millió dollár erejéig kell a károkat viselnie.

Kétségtelen, hogy az atomerőmüveknek nagy jövőjük van, annak ellenére, hogy fejlődésük csak idővel fog eljutni odáig, hogy az atomerőmüből nyert kilowattóra ára egyenlő legyen a hagyományos erőmüvek kilowattóra-árával. Ezt a célt hamarabb elérhetjük, ha a nemzetek ahelyett, hogy eredményeiket aggódva titkolják, az együttmüködés utjára lépnek. A szerző ebben a reményben fejezi be előadását.

V i t a

K.H.Höcker, Stuttgart: Mekkora a neutronfluxus az R3 és az ADAM reaktorban? Mennyire becsüli a tápelemek élettartamát, milyen gyakran kell majd cserélni őket?

S.Eklund: A fluxus maximálisan 8 . 10^{13} n/cm^2 sec lesz. A tápelemek élettartama számitások szerint kb. 2500 megawattnap urán-tonnánként.

H.Thirring, Wien: Lehetséges volna-e gázhütésü teljesitményreaktornál, ha a hütőanyagot megfelelően választjuk meg, zárt körfolyamu Ackeret-Keller-turbinát alkalmazni? Ennek az lenne az előnye, hogy ki lehetne küszöbölni a hőkicserélőt, amely ugyis mindig veszteséget okoz.

S.Eklund: Még igen sok és érdekes fejlesztési munkára van szükség ahhoz, hogy ez megvalósitható legyen.

J.Mattauch, Mainz: Hogy vélekednek a lithium-7 izotopról, mint hütőanyagról a káliummal vagy nátriummal szemben?
Mainzban Klemm kidolgozott egy eljárást melynek során megolvasztott sók elektrolizisével nagy dusitást sikerült elérnie. A lithium-7-nek elenyészően kis neutronabszorpcióján és igy kisebb radioaktivitásán kivül mint hütőanyagnak egyébként is sok előnye van a nátriummal szemben termodinamikai tulajdonságainál fogva. Magasabb hőmérsékleteknél is alkalmazható volna.

S. Eklund: A lithium-7 alkalmazási lehetősége bizonyára nagymértékben függ attól, hogy mennyibe kerül az elválasztási művelet. (A Degussa képviselője, melynek az eljárást technikai ismertetésre átadták, az árra nézve nem tudott nyilatkozni.)

G.Wirths, Hanau: Milyennek képzeli el a hőmérséklet alakulását a hasadóanyag belsejében? Mekkora a hőmérsékletesés a középpont és a külső oldal között az Ön által emlitett 12 mm-es tápelem-átmérő és a tervezett normális teljesitmény mellett?

S.Eklund: Ennek tisztázására folynak kisérletek. A középpontban a hőmérsékletnek 1100 C^o körül kell lennie, miközben a külső hőmérséklet mintegy 200 C^o. A hőfeszültségek nagy problémát jelentenek. Mi tömöritett (szinterezett) urániumoxidot használunk. Még az sincs tisztázva, hogy lehet elkerülni, hogy kivül por képződjék, mert ez csökkenti a hőátvitelt. Talán héliumgázzal fogják hüteni a tápelemeket, hogy igy a hőátvitel megjavuljon.

N.N.: Az irodalomban találunk olyan munkát, mely szerint az

urániumdioxid kismérvü porózitása nagyon fokozza a hőmérséklet-változással szembeni ellenállást, mig másfelől a reaktorfizikusok fontosnak tartják a nagyfoku tömörséget, azaz csekély porózitást. Mi a véleménye, helytálló az, hogy a porózitás javit a helyzeten?

S.Eklund: Pontos értesüléseim nincsenek, biztosan közrejátszik itt a gáz alaku hasadási termékek abszorpciója is.

H.Kornbichler, Frankfurt/Main: Milyen meggondolással nem alkalmaznak Önök reaktoraikban fémurániumot?

S.Eklund: Még nem döntöttek, hogy az ADAM-ban fémet vagy oxidot fognak-e alkalmazni. Az ADAM-ban 130 C^{o} a maximális hőmérséklet, a kérdés tehát az, mennyire veszélyes 130 C^{o}-os vizhőmérsékleten fémmel dolgozni. Tapasztalataink szerint 100 C^{o}-os vizhőmérsékletnél még biztosan nem lép fel semmilyen reakció az uránium és viz között, ez áll valószinüleg 110 C^{o}-ra is, de egyelőre még nem tudjuk, hogy 130 C^{o}-nál mi lesz a helyzet. A hasadó elem középpontjában azonban még ennél is jóval magasabb a hőmérséklet és előfordulhat, hogy viz jut belsejébe és ott erős reakciót indit el. Tehát itt is óvatosságra van szükség.

H.Brüchner, Frankfurt/Main: Mi történik a reaktorokban keletkező plutoniummal?

S.Eklund: A költségektől függ, hogy Svédországban fel fogják-e használni a plutoniumot polgári célokra. Az elhasznált uránium-nak kémiai feldolgozása nagyon drága. Jelenlegi fogyasztásunk évi 5 tonna uránium, amely 10 tonnára fog emelkedni, de nem jutunk el odáig, hogy érdemes lenne vegyi berendezést felállitani, mert ez csak évi néhány száz tonnánál volna rentábilis. Kezdetképpen csak kis kisérleti berendezést fogunk épiteni, hogy a módszereket közvetlenül tanulmányozhassuk. Katonai programja Svédországnak nincs.

J.Mattauch, Mainz: Svájcban sem dolgozzák fel ujra az urániumot, hanem Angliába szállitják, ahol feldolgozó üzem van.

H.Thirring, Wien: Kis országokban, ahol a termelés csekély, nem kifizetődő a feldolgozóüzem. Egyébként az OEEC vagy az EURATOM foglalkozik uránszeparáló-berendezések gondolatával.

Ha majd több európai államban lesznek reaktorok, a plutonium olcsóbb lesz, mint az uránium-235. Észszerübb tehát plutonium-feldolgozóüzemet létesiteni, mint U-235 előállitására ujabb elválasztóberendezéseket.

R.Fleischmann, Erlangen: Mit tudunk a reaktorban keletkező plutonium felhasználási lehetőségéről? Használtak már plutoniumot kiégett tápelemek "felépitésére" ? Az uránium-238-ból nyert plutonium nyilván jóval olcsóbb, mint az uránium-235, melynek előállitására nagy energiát kell forditani.

E.P.Wigner, Princeton: A plutonium elégése bizonyos mértékig mindig automatikusan fog végbemenni. A tápelemben plutonium keletkezik és pótolja az uránium-235-öt, majd maga is kezd kiégni. Hogy ilyen módon meddig lehet menni, az igen sokféle tényezőtől függ, s ennek részletezése igen messze vezetne. Az, hogy a tápelem élettartama mennyivel hosszabbodik meg, a keletkezett plutonium mennyiségétől függ.

H.Kornbichler, Frankfurt/Main: Arra szeretnék rámutatni, hogy a plutoniumot csak részben lehet ujra elégetni. Erre nézve vizsgálatokat végeztünk és azt találtuk, hogy a tápelemben elégett plutonium százalékaránya igen csekély; a tápelemben egy reaktorperiódus után elégetlenül maradt hányadhoz viszonyitva kb. 10-20 %. Ez a százalék erősen függ az egy térfogategységre eső hasadások számától s az előbb emlitett érték kb. 4-5 . 10^{20} hasadás esetében (megfelel 10 megawattnapnak per tonna) áll fenn, s ez már közel van a határértékhez. Ha tehát nem dolgozunk plutoniumelválasztással, a plutoniumnak mintegy 80 %-át le kell számitanunk, ez nem ég el, elvész.

E.P.Wigner, Princeton: De az elégett kis mennyiség is, amelyet én nem tartok jelentéktelennek, növeli a reakcióképességet, azaz a tápelemek élettartamát.

N.N.: A plutonium telitettségi állapotba igyekszik és a reakciók folyamán elég. Hogy mennyi ég el, az nagy mértékben függ a reaktor üzemi hőmérsékletétől. Ki szokták számitani, hogy függ az

η f érték* az időtől. Azt találjuk, hogy nem dusitott uránium esetében a η f mennyiség kezdetben nő, mig dusitott urániumnál nem találkozunk ezzel a kezdeti növekedéssel. Egyre több plutonium termelődik s ez kevésbé jó hatásfoku tápanyag, mint az uránium-235. Ha uránium-235 esetében szobahőmérsékleten η értékét 2,09-nek vesszük, ugyanez az érték plutonium esetében 2,02. Magasabb hőmérsékleten azonban a plutonium η-ja erősen lecsökken, igy például 700 C°-nál 1,73-ra, ha figyelembe vesszük a neutronok Maxwell-féle eloszlását. Az összetett tápanyag tényleges η -ja tehát gyors ütemben csökken s igy a kiégési idő korlátozott.

N.Benzler, Oberhausen: Eklund professzor emlitette, hogy az angolok a hütőgáz hőmérsékletét 500 C°-ra szándékoznak felvinni. A széndioxid azonban már 400 C°-nál erős reakcióba lép a grafittal. Szó van arról, hogy más hütőgázt alkalmaznak?

S.Eklund: Igen, héliumra gondolnak, sőt hidrogénről is szó lehet.

H.Kornbichler, Frankfurt/M.: Wigner professzor emlitette η értékeit plutonium-239 esetében a termikus tartományban és különböző rezonanciahelyeken. Eszerint nincs kilátás arra, hogy szaporitóreaktorokat lehessen megvalósitani. Ha olyan rácselrendezést választunk, melyben η értéke nagy, - ezek igen sok moderátort és viszonylag vastag urániumrudakat tartalmazó rácsok - 1,15-től 1,2-ig terjedő η értékeket kaphatunk. Igy termikus neutronok esetén akkor $\eta\varepsilon$ értéke 2,3 lesz és ily módon tenyész-

---

A vitában szóbakerülő reaktorelméleti mennyiségek definiciója:

η : a termikus hasadásban keletkezett gyors neutronoknak az üzemanyagban abszorbeált egyetlen termikus neutronra eső száma.

ε : bármilyen tipusu hasadásban keltett gyors neutronok számának termikus hasadásban keltett neutronok számához való viszonya.

f : a termikus állapotban abszorbeált neutronok számának aránya a termikussá vált valamennyi gyors neutron számához.

tő reaktort meg lehetne valósitani, ha nem hatnának zavaróan az epitermikus neutronok. Már az első rezonanciahelyen ε 1,7-re esik vissza, $\eta\varepsilon$ tehát 1,95-re és ez már nem elegendő szaporitó-reaktorhoz. Tehát lényegében azon fordul meg a dolog, milyen arány áll fenn a termikus tartományban befogott és az epitermikusan befogott neutronok között. Tudomásom szerint erre az arányra nézve nem rendelkezünk mérési adatokkal. Mi megkiséreltük elméleti uton tisztázni, hogy milyennek kell lenniök a heterogén rácsoknak ahhoz, hogy csak a legalacsonyabb rezonancia jöjjön létre. Hogy viszonylik ez a legalacsonyabb rezonancia a tartomány többi részéhez uránium-235 esetében? Elegendő-e, ha csak az első rezonanciahely környékét vesszük figyelembe, vagy ezen tulmenően más rezonanciahelyeket is tekintetbe kell vennünk?

E.P. Wigner, Princeton: Az első kérdésre adott válasz elvileg helyes, csakhogy egy olyan reaktort, melyben a neutronok 20 %-a mint gyors neutron lép kölcsönhatásba, nehezen lehet termikus szaporitó reaktornak nevezni, ez átmenetet képez a szaporitó reaktorok amerikai tipusaihoz, melyekről tegnap beszéltem.
A második kérdésre bonyolultabb válaszolni. Ha a plutonium finoman oszlik el, a neutronok tulnyomó része elnyelődik a legalsó rezonanciahelyen. A 2,02 $\eta\varepsilon$ érték igen nagy moderátortömeg esetén elvben lehetséges, gyakorlatban azonban mégis kissé optimista a számitás. Ha a plutonium vastag, de legalábbis nem vékony rudak alakjában van elrendezve, ugy csökkenthető a legalacsonyabb rezonanciák hatása. Ezáltal jelentős nyereségre tenetünk szert.-

x x x

(Ford.: Polgár Terézia)

A MAGFUZIÓ AZ IPARI ALKALMAZÁS UTJÁN

Pierre Treille

L'Age Nucléaire, N° 9 p.65 (Mars, Avril 1958)

1. A magenergia kinyerésének elmélete

Az anyagot alkotó atommagok rendszeres vizsgálata és főleg tömegük pontos megmérése során már több mint husz évvel ezelőtt megállapitották: van lehetőség arra, hogy magreakcióból - azaz, ha egyes atommagok között kölcsönhatást idézünk elő s e reakcióból uj atommagok keletkeznek - energiát nyerjünk.

Tudjuk, hogy az atommagokat bizonyos számu nukleon: neutronok és protonok alkotják: az atommagban foglalt nukleonok száma adja meg a mag tömegszámát. a benne levő protonok száma pedig a mag rendszámát, amely a Mendelejev-féle periódusos rendszer alapja. Megállapitották, hogy az atommag tömege minden esetben kevesebb alkotórészeinek, a protonoknak és neutronoknak együttes tömegénél. Tehát,minthogy a tömeg ekvivalens az energiával (Einstein törvénye: $E=mc^2$), az atommagnak alkotórészeiből történt létrejöttét bizonyos mennyiségü energia felszabadulása kisérte; ez az energia a tömegben mutatkozó hiány (tömegdefektus) energetikai ekvivalense. Megforditva: ahhoz, hogy egy atommagot szét tudjunk rombolni, energiát kell vele közölnünk; ez azt jelenti, hogy az atommagok általában stabilok.

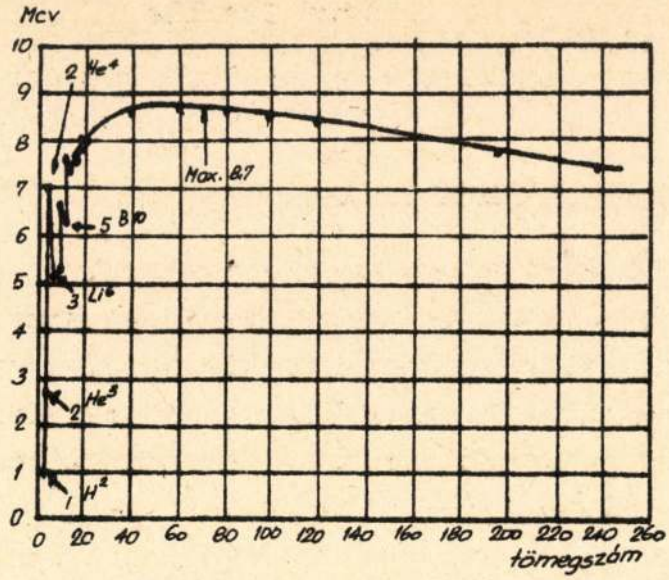
Különböző atommagok stabilitásának összehasonlitására érdekes megrajzolni az E-kötési energiának az A nukleon-szám szerinti változását.

1. ábráról leolvashatjuk, hogy a deutériumnál, tritiumnál, könnyü héliumnál és közönséges héliumnál a közepes kötési energia sorra 1,09 Mev, 2,8 Mev, 2,5 Mev és 7,0 Mev (1).

Ennek a függvénynek lényeges jellemzője - legalábbis a magenergia előállitása szempontjából - az, hogy van maximuma. Ez két lehetőséget jelent:

---

1 elektronvolt = $1{,}6 \cdot 10^{-12}$ erg.



1. ábra

Egy nukleonra eső kötési energia a tömegszám függvényeként

- nehéz atommagoknak két könnyebb atommaggá történő átalakulását, vagyis a már ipari méretekben is előállitott maghasadást;

- vagy két könnyü atommagnak egy magasabb rendszámu maggá történő átalakulását: ez az energiafelszabadulással járó magfuzió.

II. A magegyesülés rövid vizsgálata

1) Magfuziós reakciók.

A legfontosabb magfuziós reakciók deutériummal, tritiummal, lithiummal hozhatók létre.

$$^{2}H + {}^{2}H \longrightarrow {}^{3}He + n + 3{,}26 \text{ Mev}$$

$$^{2}H + {}^{2}H \longrightarrow {}^{3}He + {}^{1}H + 3{,}94 \text{ Mev}$$

$$^{2}H + {}^{3}H \longrightarrow {}^{4}He + n + 17{,}6 \text{ Mev}$$

$$^{2}H + {}^{3}He \longrightarrow {}^{4}He + {}^{1}H + 18{,}3 \text{ Mev}$$

$$^{6}Li + n \longrightarrow {}^{4}He + {}^{3}H + 4{,}78 \text{ Mev}$$

$$^{6}Li + {}^{1}H \longrightarrow {}^{4}He + {}^{3}He + 4{,}02 \text{ Mev}$$

$$^{6}Li + {}^{2}H \longrightarrow {}^{7}Li + {}^{1}H + 5{,}01 \text{ Mev}$$

$$^{6}Li + {}^{2}H \longrightarrow {}^{4}He + {}^{4}He + 22{,}3 \text{ Mev}$$

$$^{7}Li + {}^{1}H \longrightarrow {}^{4}He + {}^{4}He + 17{,}3 \text{ Mev}$$

Tudjuk, hogy egy uránium-mag hasadása körülbelül 200 Mev-ot szabadit fel. Ennek ellenére a hasadási reakció mégsem nagyobb jelentőségü ipari energiatermelés tekintetében, mint a fuzió. Összehasonlitásnál ugyanis helyesebb, ha a reakcióba lépő anyagok egyenlő tömegeit vesszük figyelembe. Márpedig egy gramm uránium-235 235/2-ször kevesebb atommagot tartalmaz, mint egy gramm deutérium, tehát 235/4-szer kevesebb hasadás keletkezhetik az uránban, mint amennyi fuzió a deutériumban (tekintve, hogy a fuzió két atommag kölcsönhatásából keletkezik). A hasadás utján keletkezett 200 Mev-et és a fuziónál átlagosan felszabaduló 3,60 Mev-et figyelembe véve, egy gramm deutérium vagy egy gramm uránium felhasználásával lényegében ugyanannyi energiát, körülbelül 23 000 kilowattórát szabaditunk fel.

Ma már az óriási mennyiségben rendelkezésre álló deutérium önköltségi ára csak a századrésze az uránium-235 árának. Egyébként deutériumkivonó-üzemek létesitése korlátolt ipari lehetőségekkel rendelkező országokban sem jelent nehézséget.

Igen csábitó tehát az a feladat, hogy a szabályozott fuzió nagy méretekben való megvalósitásának módját kutassuk.

2) Fuzió az asztrofizikában

A magfuzió a fizikusok számára nem ismeretlen jelenség, az asztrofizika magfuzióval magyarázza a csillagok energetikai egyensulyát.

Bethe-nek már 1938-ban sikerült kimutatnia, hogy két ciklus, nevezetesen a hidrogén- és a szénciklus egymagában képes annyi energiát felszabaditani, amely a csillagok köztudomásuan magas hőmérsékletét állandó szinten tartja. Ez a két ciklus a következő:

- a hidrogénciklus:

$$^{1}H + {}^{1}H \longrightarrow {}^{2}H + \beta^{+}$$

$$^{1}H + {}^{2}H \longrightarrow {}^{3}He$$

$$^{3}He + {}^{3}He \longrightarrow {}^{4}He + 2\,{}^{1}H$$

- a szénciklus:

$$^{1}H + {}^{12}C \longrightarrow {}^{13}N \longrightarrow {}^{13}C + \beta^{+}$$

$$^{1}H + {}^{13}C \longrightarrow {}^{14}N$$

$$^{1}H + {}^{14}N \longrightarrow {}^{15}O \longrightarrow {}^{15}N + \beta^{+}$$

$$^{1}H + {}^{15}N \longrightarrow {}^{12}C + {}^{4}He$$

A fenti két esetben négy hidrogén-atommag eltünik és egy hélium atommag keletkezik, miközben 30 millió elektronvolt szabadul fel.

A fuzió utján keletkezett energia pótolja a fénykisugárzással leadott energiát, gyakran valamivel több is az igy keletkezett energia (ez áll fenn a Napnál, mely jelenleg a lassu felhevülés állapotában van). A termelődött energia a csillag tömegével arányos, mig az energiaveszteség a felülettel áll arányban, a termelt energia és a veszteség hányadosa tehát a csillagok méretével együtt csökken.

Látjuk, hogy óriási, emberi méretekhez nem viszonyitható mennyiségekre volt szükség a termelődött energia és az energiaveszteség közötti egyensuly létrejöttéhez, bár a csillagok belsejének hőmérséklete több millió fok, tekintve, hogy az atommagok hőmozgásából származó kinetikus energiája néhány millió elektronvolt.

3) A magfuzió és a részecskegyorsitók

A neutrongyorsitókban alkalmaznak néhány fent emlitett reakciót, főleg a (D,D), (D, T) és (D, Li) reakciókat. Deuté-

rium-atommagokkal bombáznak deutériumot, tritiumot, vagy lithiumot tartalmazó céltárgyat, a deutérium magokat előzőleg elektromos uton néhány millió elektronvoltnyi kinetikus energiára gyorsitják fel; egyébként sok esetben 100 kiloelektronvolt is elegendő ahhoz, hogy a keletkezett neutronnyalábok energiája klasszikus kisérletekhez elegendő legyen. A kibocsátott neutronok száma egykönnyen eléri másodpercenként a 10^9-t, ugyanennyi a keletkezett fuzió is. Ezeknél a fuzióknál, például a gyakran alkalmazott (D, T) reakció esetében, a keletkezett energia

10^9 x 17,6 Mev, azaz 10^9 x 17,6 x 1,6 10^{-13} watt = 3.10^3 watt, mig a készülék müködtetéséhez néhány száz watt szükséges. Ezen az uton tehát, hacsak nem módositják alapvetően a jelenleg használt készülékeket, ipari méretekben nem lehet energiát előállitani.

III. Az uj technikai eljárás elve

1) Milyen feltételeket kell megvalósitani?

Ez idő szerint a magfuzióból történő szabályozott energiatermelésnek két módja ismeretes, az egyik nem földi méretekhez van szabva, a másik több energiát használ fel, mint amennyit termel.

E két eljárás részletes vizsgálata azt mutatja, hogy bizonyos kinetikus energiát kell átadnunk azoknak az atommagoknak, amelyek között fuziót kivánunk létrehozni. Ez az energia az első eljárás esetében hőenergia, a második esetében - amint láttuk - a millió elektronvoltot meghaladó elektromos energia.

Az a követelmény, hogy reakció létrehozása céljából az atommagokat fel kell gyorsitani, azon alapul, hogy a magok mindig pozitiv töltésüek, tehát amidőn két atommagot ütköztetünk, a Coulomb-taszitás igyekszik a magokat távoltartani egymástól jóval azelőtt, mielőtt az igen kis (kb. 10^{-12} cm) hatótávolságu magerők a fuziót létrehozhatnák. Közeledésük tehát csak akkor jön létre, ha a két mag relativ sebessége elég nagy ahhoz, hogy a sebességnek megfelelő kinetikus energia legyőzze az elektromos taszitást. Annál nagyobb sebességre lesz szükség, minél nagyobb a magok elektromos töltése.

Ez a feltétel azonban még nem elegendő, hiszen részecskegyorsitóban, ahol a magoknak jóval nagyobb sebességet adunk, mint a legkisebb megkivánt sebesség és ahol másodpercenként, minden nehézség nélkül, 10^{15} vagy 10^{16} atommagot ütköztetünk a céltárgyba, az energianyereség gyakorlatilag zérus, pedig 1 KW termeléséhez elegendő volna másodpercenként 4.10^{14} (T,D) fuzió.

Mindez azzal magyarázható, hogy két könnyü atommag ütközése, mint minden magkölcsönhatás, különbözőképpen játszódik le, például sokkal gyakrabban fordul elő az, - egyébként azonos körülmények között - hogy egy ilyen atommag egyszerüen visszapattan a másikról, átvéve a másik kinetikus energiáját, mint amilyen valószinüséggel fuzió keletkezik, azaz a valószinüség nyelvén: a fuzió hatáskeresztmetszete csak kis részét képezi a teljes ütközési hatáskeresztmetszetnek.

Továbbá sokkal gyakoribb az atommagokhoz tartozó elektronokra gyakorolt ionizációs hatás, mint magukra az atommagokra gyakorolt kölcsönhatás; ez az ionizáció gyors és jelentős energiaveszteségben jut kifejezésre, s ennek következtében a beeső mag képtelenné válik további kölcsönhatásra. Ez történik a gyorsitók targetjeiben, s ez az, ami itt a lehetőségeket korlátozza.

Tehát a következő konkluziókra jutunk:

Ipari fokon energiát felszabaditó magfuzióhoz egyidejüleg két dolog szükséges:

elegendő sebességet kell adnunk az atommagoknak;

olyan nagyszámu ütközést kell megvalósitani a magok között, amely lényegesen meghaladja a kivánt energia eléréséhez pontosan szükséges fuziók számát.

Csakis a rendkivül magas hőmérsékleten fennálló hőmozgás teszi lehetővé ennek a két feltételnek teljesülését, tehát meg kell kisérelni, hogy laboratóriumban állitsák elő a csillagokban uralkodó hőmérsékletet s ugyanakkor olyan segédberendezéseket kell konstruálni, melyek segitségével megvalósitható -a mi

viszonyaink között is -az elveszett és termelt energia közötti egyensuly.

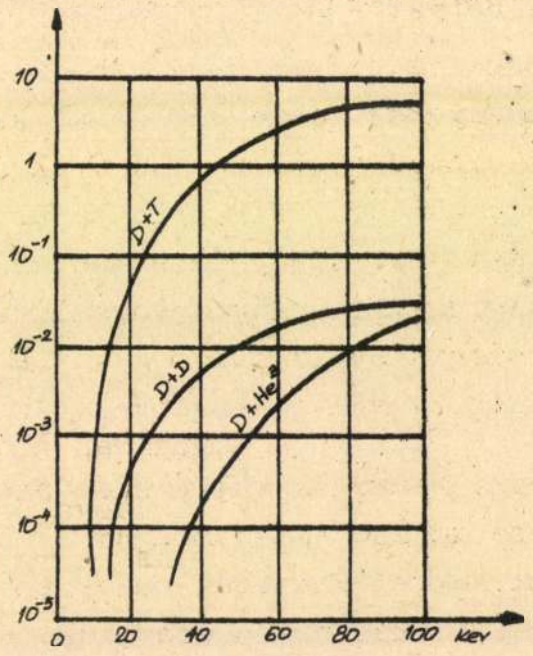
2) Energiamérleg

Nézzük először, milyen gázhőmérsékleten és gázsürüségek mellett lehetséges az egyensuly.

a) energiatermelés:

A kinetikus gázelmélet alapján megkapjuk a másodpercenkénti ütközések számát adott gáztérfogatban a benne levő részecskék abszolut hőmérsékletének és sürüségének függvényeként.

A (D,D), (D, T) és a (D, He^3) reakciók hatáskeresztmetszeteit kisérletileg is és elméleti uton is megállapitották. A hatáskeresztmetszetek változásait a deutérium.mag energiájának függvényeként a 2. ábrán láthatjuk.



2. ábra

σ változása a deutérium energiájának függvényében

Az időegységenként bekövetkező ütközések számából, a fuzió hatáskeresztmetszetéből és a szabaddá váló energiából levezethetjük a termonukleáris reakció során nyerhető energiát. Ki tudjuk

mutatni, hogy ez a P_f energia elég egyszerü függvénye az abszolut hőmérsékletnek; ez az összefüggés ilyen alaku: (2)

$$AT^{-2/3} \; e^{-BT^{-1/3}} \text{ kiloelektronvolt}$$

A kétféle (D, D) folyamatra vonatkozóan a fenti függvény értéke egyaránt

$$3.10^{-30} \; n_D^2 \text{ watt/cm}^3$$

lesz, ha a hőmérséklet 40 Kev, vagyis hozzávetőlegesen 450 millió fok; n_D-vel jelöljük az 1 cm^3-re eső deutérium magok számát.

A (T, D) folyamat azonos tritiumsürüség és az azonos atommagszám esetén mintegy 50-szer nagyobb energiát szabadit fel, mint a fenti reakció.

b) Energiaveszteség

Tegyük fel, hogy első közelitésben a hőveszteségek elhanyagolhatóan kicsik, ez azonban még bizonyitásra szorul.

Fennállnak azonban a szóban forgó jelenség természetéből adódó veszteségek, amelyeket tehát nem lehet kiküszöbölni: ezek a fékezési sugárzás okozta veszteségek. Ezek általában akkor állnak elő, amikor egy töltött részecske bejut egy másik részecske elektromos terébe; itt ez a részecske impulzust kap, mely kitériti és transzverzális irányu gyorsulást ad neki: ez elektromágneses sugárzásban nyilvánul meg; ha a beeső részecske elektron, ez a sugárzás röntgensugárzás.

A termonukleáris reakciók különleges esetében az anyag gáz alaku, hőmérséklete magas: az atommagok és elektronjaik közötti kötési energiák sokkal kisebbek, mint az egyes ütközések alkalmával kicserélődő kinetikus energiák; az atommagok és az elektronok viselkedése tehát egymástól független és valahányszor egy-egy részecske elhalad egy másik mellett, fékezési sugárzás keletkezik.

(2) Az a hőmérséklet, melynél meg lehet találni a legvalószinübb sebességet (tehát a hatáskeresztmetszetet), a kinetikus energiával a következőképpen függ össze: $E = 1/2 \; mv^2 = kt$ (ahol k a Boltzmann-féle állandó, tehát a tökéletes gázok állandója egy valóságos molekulára és nem gramm-molekulára vonatkoztatva). Ebből következik, hogy egy elektronvolt 11 600 K°-nak felel meg.

Ez játszódik le a csillagoknak legalábbis a központi részében; a sugárzás azonban nagytömegü anyaggal találkozik, mely elegendő ahhoz, hogy a sugárzást elnyelje. Minthogy ez az anyag maga is sugárzást bocsát ki, amelynek intenzitása a csillag középpontjától való távolsággal csökken, sugárzási egyensuly áll be és kiszámitották, hogy a csillag felszinéről kibocsájtódó sugárzás intenzitása arányos a csillag felületével és a csillag külső rétegei abszolut hőmérsékletének negyedik hatványával. Ez a Stefan-törvény, mely alkalmazható a fekete testre, azaz pontosan arra az esetre, amidőn beáll a sugárzási egyensuly.

c) Hőmérsékleti határ

A fuzió folyamán keletkezett energia a reakciótermékek kinetikus energiájaként jelentkezik, - igy a (D, T) esetében a hélium atommagok az összes energiának csak egy töredékét, annak körülbelül egy ötödét veszik át és azt egymást követő Coulomb-kölcsönhatások során leadják a gáznak; a neutronok azonban nem lépnek reakcióba és elillannak a tömegből. Ha a neutronok energiáját a fuziós kemencén kivül összegyüjtik és például a deutérium és tritium magas hőmérsékleten tartása céljából ezek hevitésére forditják, ennek a folyamatnak a hatásfoka csak kisebb lehet 1-nél, mondjuk 0,3.

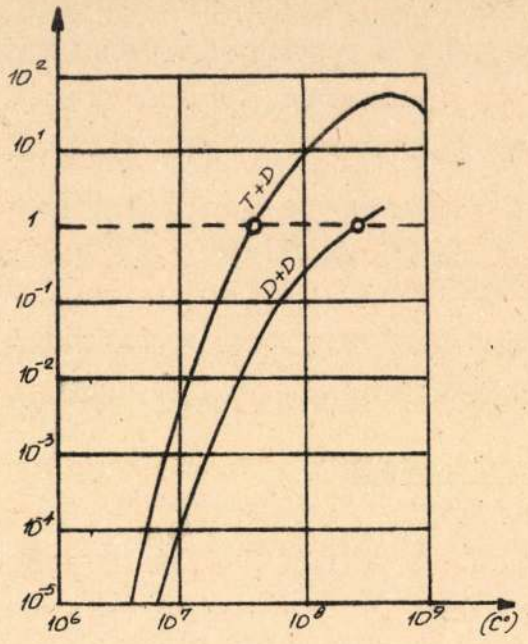
A veszteség és nyereség közötti egyensulyi egyenlet tehát igy alakul:

$$P_f \, (\, 0{,}2 + 0{,}8 \times 0{,}3) = P_R$$

Analóg egyenletet állithatunk fel (D,D) reakció esetében is.

Figyeljük meg, hogy a gázsürüségek az egyensulyegyenlet mindkét tagjában szerepelnek, igy tehát az elérendő hőmérséklet jól meghatározott; 45 millió fok a (T, D) reakció esetében és 400 millió fok (D, D) reakciónál, mivel ennek hatáskeresztmetszete és energiatermelése kisebb.

A 3. ábrán látható a P_f/P_R viszony változása a hőmérséklet függvényeként.



3. ábra

A termelt energia / elveszett energia viszony változása a hőmérséklet függvényeként

Természetesen a hőmérslkletnek magasabbnak kell lennie ennél a kritikus hőmérsékletnél, hogy tényleges energiatöbblet állhasson elő. Összhangba kell hozni a magsürüségeket és a hőmérsékletet. Például 10^8 fok hőmérséklet esetében a sürüségeknek el kell érniök a 10^{15} értéket ahhoz, hogy deutérium és tritium fuziójával 100 watt/cm^3 energiát állithassunk elő; ezt a specifikus teljesitményt ma hasadás utján reaktorokban könnyen elérjük.

Megjegyzendő, hogy 0 C^o-nál egy cm^3-re eső 10^{15}-ös részecskesürüség 3.10^{-5} atmoszférának felel meg: ez a nyomás igen csekély, mert a fékezési sugárzás-okozta veszteségek elkerülésére mindennemü szennyezést el kell távolitani.

3) Milyen nehézségeket kell leküzdeni?

Az elmélet igy határozza meg azokat az elvi nehézségeket, melyek a termonukleáris energia ipari szinten való előállitása

utjába állanak: az anyag sürüségének növelése, melyben fuziót szándékozunk létrehozni, lehetővé tenné a szennyezések relativ mennyiségének, vagyis a sugárzási veszteségeknek csökkentését, tehát azt, hogy az optimális hőmérséklet elég alacsony lehessen; viszont nagy energiasürüséget követelne meg és igen bonyolulttá tenné az energiakinyerést, ami a müvelet célja. Egyébként, mivel a nyomás ezzel a sürüséggel arányosan növekszik, a fuziós kemence mechanikai ellenállásának elég nagynak kell lennie ahhoz, hogy kibirja a fuziós hőmérsékletet, melyre a gázt felhevitik.

Ha a plazma sürüsége egy többé-kevésbé ritkitott gáz sürüségével egyenlő, és a fuziós hatáskeresztmetszet kicsi, a hőmozgásba kerülő atommagok közepes szabad uthossza mindenképpen nagy: (D,T) reakciónál 40 Kev mellett a hatáskeresztmetszet $\sigma = 10^{-24}$ cm^2, a cm^3-enkénti sürüség $n = 10^{15}$; a közepes szabad uthossz, az $n \cdot \sigma$ szorzat reciproka, tehát $= 10^6$ cm; ez semmiképpen sem emberi viszonyok közé illő tartálynagyság. Az előbbiekben felállitott hipotézis, mely szerint a hőveszteségek elhanyagolhatók, csak akkor helytálló, ha a részecskék e tekintélyes közepes szabad uthossz ellenére nem jutnak el a tartály faláig, különben az egyensuly nem valósitható meg.

Végeredményképpen, egy rendkivüli tisztaságu gáztömeget több tizmillió foknyi hőmérsékletre kell heviteni s megakadályozni azt, hogy a gáz a tartály falával érintkezhessék, ugy hogy köbcentiméterenként több wattnyi energiát nyerjünk.

IV. A járható ut

1) Magas hőmérséklet előállitása

A fizikusok kutatásaik során a megoldás lehetőségét abban az irányban keresték, hogy magas hőmérsékleten az anyagok gáz állapotban vannak és teljesen ionizálódnak.

Igy két gázzal van dolgunk, az egyiket elektronok alkotják, a másikat atommagok, a kettő együtt "plazmát" alkot.

A plazma sajátságai közül leglényegesebb mágneses térbeli viselkedése. Ezt két szempontból vizsgálhatjuk:

- Mindenekelőtt nyomás fejlődik ki, mely ellentétes a hevités folytán fellépő nyomással; például ha a fuziós kemence fala közelében van csak mágneses tér, a kemence belsejéből jövő részecskék (ezek töltöttek, mert teljes az ionizáció) eltéritődnek és eltávolodnak a kemence falától. Ezáltal csökkentjük a falhoz ütköző és ott kinetikus energiájukat elveszitő atommagok számát, más szóval, a mágneses tér kalorikusan elszigeteli a plazmát. Emlékezzünk arra, hogy az egyensulyegyenlet arra az esetre volt érvényes, amidőn a hőveszteségek elhanyagolhatóan kicsik.

A részecskepályák hirtelen eltéritése egyébként növeli minden egyes atommag uthosszát a fuziós kemencében, igy a mágneses tér hatása a magreaktorok reflektorának hatásával hasonlitható össze.

- Ha elég erős a mágneses tér, a keletkező nyomás nemcsak kiküszöböli a hőveszteséget, hanem hirtelen, többé-kevésbé adiabatikus összehuzódásra készteti a plazmát, tehát a plazma hőmérséklete emelkedik. Kapitza már több mint husz évvel ezelőtt rámutatott a mágneses terek jelentőségére magas hőmérsékletek megvalósitásában.

- Plazmát előállitani, melyre majd mágneses tér fog hatni, viszonylag egyszerünek látszik: például fuziós kemencébe bevitt, gázkeverékből álló semleges anyag nagyfrekvenciáju elektromos tér hatására ionizálódik, majd felmelegszik olyan hőfokra, amelyen az ionizáció fenn képes maradni, mig az előfütés elektromos tere átmegy egy olyan mágneses térbe, amelynek hatására a fuzióhoz szükséges hőmérséklet létrejön.

Mindent összevéve, a törekvések arra irányulnak, hogy impulzustechnikát lehessen alkalmazni, amely lehetővé teszi az ujabban konstruált, elektromágneses hullámokat előállitó hatalmas generátorok használatát az előfütési szakaszban, továbbá lehetővé teszi változó mágneses terek alkalmazását, amelyeket könnyebb előállitani, mint állandó tereket.

Egyébként ez a technika, amint láttuk, elősegiti azt, hogy viszonylag nagy gázsürüség keletkezzék, a termelődött energia

sürüségét pedig csökkenti, ami előnyös tényező.

A mágneses terek létrehozhatók magában a plazmában olymódon, hogy erős áramot vezetünk át rajta (pinch effektus); ez az adiabatikus összehuzódás elősegitése szempontjából előnyös, de megbonthatja a stabilitást. A mágneses teret előállithatjuk tekercsek segitségével is, mint a részecskegyorsitókban; ez az eljárás talán biztosabb is, mint az előző. Természetesen a mágneses térre forditott energia elég számottevő: ezt tekintetbe vettük az egyensulyegyenlet felállitásánál, oly módon, hogy bevezettük a hőenergia elektromos energiává történő átalakulásának energiahozamát.

2) Hőkivonás

A fuziós reakció keltését lehetségesnek feltételezve, még mindig fennáll egy probléma: a hő kivonása.

A fuziós termékek különbözők aszerint, hogy milyen reakciót alkalmazunk, az energia tehát nem azonos módon jelentkezik: a (T, D) reakció esetében láttuk, hogy az energiát a neutronok vitték el kinetikus energia alakjában; a neutronokat lelassithatjuk egy, a fuziós övezeten kivül elhelyezett moderátorral, a moderátor felmelegszik, hőjét kivonjuk és mechanikai vagy elektromos energiává alakitjuk át. Egyes szerzők moderátorként lithiumot javasolnak, különösképpen ^{6}Li-t, mely további reakcióra képes.

$$^{6}Li + n \longrightarrow T + {}^{4}He + 4{,}8 \text{ Mev},$$

tehát a fuzióhoz kiindulási anyagot és energiatöbbletet szolgáltat.

A hőkivonásnak ez a módja azzal a hátránnyal jár, hogy a neutronok radioaktivitást keltenek; ezzel a jelenséggel már találkoztunk a magreaktoroknál.

Amidőn a neutronok kevés energiát visznek magukkal s főként akkor, amidőn nem keletkeznek neutronok, hanem csak töltött részecskék, remélhető, hogy közvetlenül elektromos energiát fogunk kinyerni, mert a plazmában végbemenő nagymérvü hő-

mérsékletingadozások jelentős változásokat idéznek elő a közeg mágneses karakterisztikáiban s igy a fuziós kemencét körülvevő tekercsekben elektromos áram keletkezhet. Ilyen módon lenne elkerülhető a közbenső fázis, a hőenergiatermelés.

3) Kisérletek

A fuzió körül végzett kutatásokat titkosan kezelik, az egyes országok féltékenyen őrzik jelentős eredményeiket. Ennek ellenére a müszaki irodalomban megjelent néhány müszerleirás, vagy "előzetes" kisérletről szóló ismertetés. Például ujabban a "Nature" 1958. január 25-i számában közöltek különböző angol és amerikai készülékekkel (például az angliai ZETA-val) elért eredményeket,

x x x

(Ford.: Polgár Terézia)

A WIGNER-EFFEKTUSRÓL

P.J. Grant
Engineering Vol. 185 N° 4794 p. 120 (jan.1958)

Az a baleset, mely az ugynevezett Wigner-féle energia-szabályszerü levezetésénél Windscale-ben történt, drámai körülmények között hivta fel a nagyközönség figyelmét arra a jelenségre, melyet szakemberek Wigner-effektus néven ismernek. Mikor a Windscale-reaktorokat tervezték, még keveset tudtak arról, hogy milyen változások lépnek fel grafit-moderátorokban sugárzás hatására. A mostanában az angol Elektromos Főigazgatóság részére épitendő reaktorokban azonban már teljes mértékben számolnak ezekkel a változásokkal. Alábbi ismertetést a Skóciában, Hunterstonban épülő atomerőmü tervezésében és épitésében közremüködő dr. P.J. Grant irja.

Milyen tényezőket kell figyelembevenni atommagreaktorok grafitmoderátorainak tervezésénél

A maghasadásból eredő neutronok nagy energiájuak és ezért ezeket termikus magreaktorokban le kell lassitani, hogy további hasadásokat idézhessenek elő; ezt a célt szolgálja a moderátor. A moderátor kis atomsulyu atomokból álló anyag (lehetőleg kis neutronbefogási valószinüséggel rendelkezik), ugy hogy a neutronok rugalmas (billiárd golyó-szerü) ütközések folytán elvesztik energiájukat. Gyakorlatilag ilymódon az egész neutronenergia szétszóródik a reaktorban.

E.P. Wigner mutatott rá arra, hogy grafit-moderátor alkalmazása esetén lehetőség van arra, hogy a neutronok energiájának egy része, ahelyett, hogy hőenergia alakjában jelentkeznék, a grafit kristályszerkezetében halmozódhat fel és ha az egész energiának csak kis részét "tartja is vissza" ilymódon a grafit, ennek az energiának hirtelen felszabadulása komoly veszélyt rejthet magában. A Wigner effektus, ahogy általában nevezik, csak egyik ama változások közül, melyet anyagok sugárzás következtében elszenvednek, grafittal moderált reaktorok esetében azonban ezzel komolyan számolni kell, ha biztositani akarjuk azt, hogy a reaktor minden körülmények között veszélytelenül müködjék.

A grafit tulajdonságai

A grafitkristály tulnyomóan sikalakzatban elrendezett szénatomokból áll, ugy hogy a különböző sikokban lévő szénatomok hexagonális rácsszerkezetben kapcsolódnak egymáshoz. A grafitkristály fizikai tulajdonságai anizotrópikusak, mivel a kristály sikjára merőlegesen mért tulajdonságok különböznek a kristály sikjával párhuzamosan mért tulajdonságoktól.

Mesterségesen a grafitot ugy gyártják, hogy igen tiszta kokszot őrölnek, majd szurokkal keverik és kiégetik. Ez a kiégetés általában két fokozatban történik, először előhevitik kb. 1000 C^{o}-on, hogy az illanó anyagok eltávozzanak, majd 2500-3000 C^{o}-on speciális grafitizzitó kemencében végső kezelésnek vetik alá.

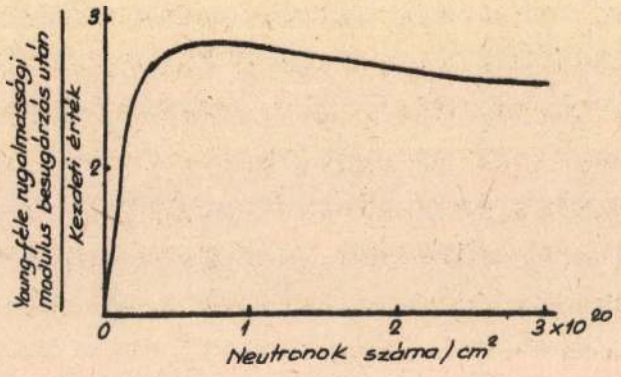
A kiizzitás előtt az alakitható keverékből sajtolással elkészitik a kivánt formát. A formázás alatt az atomok bizonyos rendbe kényszerülnek, ugy hogy a végtermékként kapott grafit (ami nem egykristály, hanem polikristályos tömeg) kristályainak sikja csősajtolás esetében, a sajtolási iránnyal párhuzamos, nyomásos sajtolás esetén pedig merőleges a nyomás irányára. A grafitkristályok orientáltságának foka az eredeti koksszészecskék természetétől, a formázás során alkalmazott nyomástól függ, ugy hogy az egyes grafitminták fizikai tulajdonságai a gyártási eljárás szerint különböznek. Ez a különbség kiterjed mind a fizikai tulajdonságok anizotrópiájára (ami a kristályok orientáltságán mulik) mind ezek mértékére.

A sugárzás behatása a fizikai tulajdonságokra

Besugárzás folytán a neutronok és szénatomok közötti ütközések a grafit kristályokban az utóbbiakat kimozditják a kristályrácsban elfoglalt helyükről. Maguk a kilökött szénatomok olyan gyorsan mozognak, hogy ujabb szénatomokat lökhetnek ki helyükből. Ennek eredményeként a rácsban hézagok keletkeznek és ugyanakkor egyes atomok, vagy atomcsoportok a rácssikok között helyezkednek el (rácsközötti atomok). Ezeknek a folyamatoknak tulajdonithatók a neutronbesugárzás makroszkópikus effektusai. Ha besugárzás után a grafit hőmérsékletét emeljük, akkor a sugárzás okozta sérülések nagyrészét sikerül helyrehozni; a rácssérülések mértéke erősen függ attól is, hogy mi a grafit hőmérséklete a besugárzás alkalmával, más szavakkal öntemperálás következik be. Mind a két hatás könnyen érthető, ha ugy fogjuk fel, hogy a rácsszerkezet nagyobb hőmérsékleteknél "fellazul", amikoris a szénatomok termikus energiájuknál fogva rezgésbe jönnek. Ez a "fellazulás" megkönnyiti azt, hogy ilyen rácsközti atomok elfoglalják az üres rácshelyeket és a rendezettség helyreálljon. Neutronbombázás következtében a következő változások lépnek fel:

1) Mechanikai tulajdonságok megváltozása. A besugárzás növeli a grafit keménységét és mechanikai szilárdságát, ugyanakkor azonban törékenyebbé válik. Ha a besugárzás kis hőmérsékleten (kb. szobahőmérséklet) történik, a Young-féle rugalmassági

modulusban kétszeres, sőt háromszoros növekedést is tapasztalunk. Ezt a változást az 1. ábrán szemléltetjük.



1. ábra

Változások a grafit Young-féle rugalmassági modulusában kis hőmérsékleten történő besugárzáskor. A besugárzás növeli a grafit keménységét és mechanikai szilárdságát, de törékenyebbé is teszi

2) Hővezetőképesség változása. - Besugárzás nagy változásokat hoz létre a hővezetőképességben, mely változások igen gyorsan következnek be a besugárzás elején, a besugárzás további folyamán a változás sebessége egyre kisebb lesz. A hővezetőképesség csökken, némiképp különbözőnek mutatkozik a sajtolás irányával párhuzamosan, vagy arra merőleges irányban, de kb. 50-szeres nagyságrendben mozog 10^{21} n/cm^2-es neutronnyalábbal szobahőmérsékleten történő besugárzás esetén. Ilyen sugárzásnak való kitétel megfelel a most épitendő atomerőművekben kb. két év alatt bekövetkező sugárhatásnak; ezekben a reaktorokban azonban igen magas a hőmérséklet (kb. 300 C°), ugy hogy a sugárzás hatása jóval kisebb lesz, mint fent közölt számadat.

3) Elektromos tulajdonságok változása. - Maguknak az elektromos tulajdonságoknak megváltozása nem játszik nagy szerepet a reaktor épitkezésben, mivel azonban elektromos mérések igen nagy pontossággal végezhetők, jó segédeszközül szolgálnak arra, hogy az egyes grafitgyártmányokban a sugárzás okozta károsodást megfigyelhessük. Az elektromos tulajdonságok változása jóval kisebb mértékü, mint a hővezetőképesség változása.

4) Méretváltozások. - A rácsközökben elhelyezkedő atomok és a kristályrácsban fellépő hézagok egyrészt a kristálysikok közötti távolságot növelik, másrészt a sikokkal párhuzamosan összehuzódást idéznek elő. Az egyes kristályokban ezek a változások elég jelentősek lehetnek, grafittömbben azonban, amely kristályok halmazából áll, a változás a kristálysikok részbeni orientálódása folytán minőségileg ugyan ugyanez, nagyságrendileg azonban sokkal kevésbé érezhető, mivel a kristályok elrendeződése nem teljes és magában az anyagban is vannak hézagok (a grafitkristályok sürüsége 2,25 g/cm^3, mig magának a makroszkópikus anyagnak sürüsége 1.6 - 1.8 g/cm^3 között mozog.) Az anyagtömb a kisajtolási irányra merőleges (vagy a sajtolásnál alkalmazott nyomás irányával párhuzamos) irányban növekszik, mig a másik irányban a hatás jelentéktelen összehuzódásban, vagy kiterjedésben nyilvánul meg.

Reaktor grafitmoderátormagja egymás fölé helyezett grafittéglákból áll, ugy hogy kisajtolásuk iránya függőleges irányba mutat és a grafitoszlopok között Wigner-hézagot hagynak, tekintettel a besugárzás során bekövetkező oldalirányu kiterjedésre.

5) Energiafelhalmozódás. - A kristályrácsot ért sérülést a grafitban energiafelhalmozódás kiséri. Ha ezután a grafit hőmérsékletét emeljük, a sérülés részben temperálódik és ugyanakkor a felhalmozódott energia felszabadul.

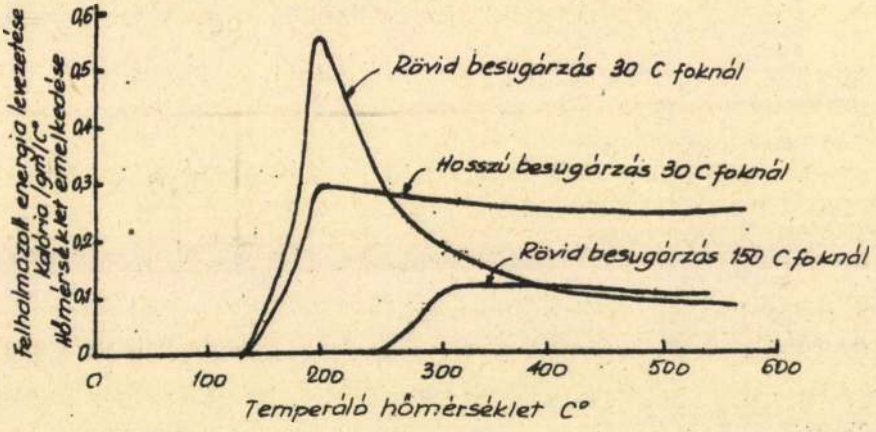
Jellegzetes számadatok az energiafelhalmozódással kapcsolatban, különböző sugárzások esetében (besugárzás 30 C$^\circ$ mellett) alanti táblázatban közlünk:

Besugárzás (neutronok száma négyzetcentiméterenként)	0,5 x 10^{21}	1,0 x 10^{21}	1,5 x 10^{21}
Energia grammkalóriában	250	400	500

Hasonlitsuk össze ezeket a számokat a grafit fajhőjével, amely grammonként és Celsius fokonként a hőmérséklettől függően 0,2-től 0,4 kal.-ig terjed. Igy például 10^{21} neutron per cm^2-es besugárzás után annyi potenciális energia halmozódik fel a gra-

fitban, hogy hőmérsékletét kb 1000 C°-kal emelné, ha hirtelen felszabaditanák. Következésképpen még a felhalmozódó energia mennyiségénél is érdekesebb számunkra az a mód, melyen ez az energia felszabadul.

Ha az energia T_0 hőmérsékleten halmozódott fel és a grafit hőmérsékletét állandóan és folyamatosan emeljük, akkor egy bizonyos $T_1 \sim T_0 + 100$ C° hőmérsékletig nem szabadul fel hő. Efölött a hőmérséklet fölött egészen 1.500 C° hőmérsékletig a hőenergia felszabadulási sebessége többé-kevésbé állandó. Ezt a viselkedést hosszabb időn át besugárzott példányoknál tapasztalták. Rövid ideig, kis hőmérséklet mellett történő besugárzás esetében (mint a fenti táblázatban közöltek) az energiafelszabadulás menete némikép eltérő: a kiindulási hőmérséklet T_1 ismét kb 100 C°-kal fekszik kezdeti hőmérséklet felett,, az energiafelszabadulás sebességében azonban maximum lép fel 200-300 C° körül. A második ábrán két karakterisztika látható az energiafelszabadulás hőmérsékletfüggésére vonatkozóan 30 C°-on történő besugárzás esetében, továbbá a 150 C°-on felhalmozódott energia felszabadulásának hőmérsékletkarakterisztikája. Ebben az utóbbi esetben a felhalmozódott energia mennyisége (és vele a fizikai tulajdonságokban beálló változás) adott besugárzás mellett 10-szer kevesebb, mint ugyanekkora besugárzásnál 30 C°-on. Magasabb besugárzási hőmérsékletek az energiafelhalmozódásban még nagyobb csökkenéshez vezetnek.



2. ábra

A besugárzás alatt a grafitban felhalmozódott energia felszabaditása. Az energiafelszabaditás mértéke az alkalmazott kiizzitási hőmérséklettől függ

6) Temperálás. - Már láttuk, hogy a felhalmozódott energia a besugárzott grafitból nagyobb hőmérsékleten történő termikus kiizzitás utján részben felszabaditható. Ugyanakkor egyéb fizikai változások is temperálhatók.

Gyakorlati szempontból nézve a sugárzás okozta behatások között a legfontosabb az energia felgyülemlése a reaktor grafitjában. Minden reaktor tervezésnél tehát a legfontosabb, hogy kiszámitsuk (1) az energia felhalmozódását a grafitban a reaktor minden pontjában az idő függvényeként. (2) a megfelelő energiafelszabadulási sebességet, ha a grafit hőmérséklete esetleg emelkednék.

A teljes energiafelhalmozódás kiszámitásához ismernünk kell a nautronfluxust a kérdéses pontban, ugyanitt a grafit hőmérsékletét, valamint azt, hogy milyen módon halmozódik fel az energia sugárzás következtében ezen a hőmérsékleten. Látjuk tehát, hogy sok tapasztalati adatra van szükség, ha pontos számitást kivánunk végezni.

Az energiafelszabadulási sebesség számitásához azzal az egyszerüsitő feltevéssel élhetünk, hogy a sebesség T_1-től 1.500 C^o-ig terjedő hőmérsékletig állandónak tekinthető; itt T_1 az a hőmérséklet, melyen a hőenergia kibocsátása kezdődik. Ha a T_o besugárzási hőmérséklet mellett az összes felhalmozódó energia mennyisége S, akkor az energiafelszabadulás a hőmérséklet egységnyi emelkedésére esően

$$\frac{dS}{dT} = \frac{S}{1500 - T_1} = \frac{S}{1500 - (T_o + 100)} = \frac{S}{1400 - T_o}$$

A felhalmozódott energia csak akkor jelent veszélyt, ha

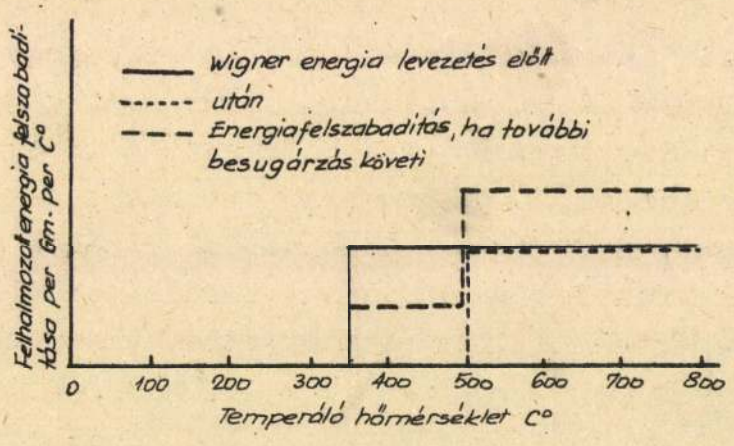
$$\frac{dS}{dT} > \text{a grafit fajhőjénél.}$$

Ilyenkor, ha nem volna hőveszteség és nem alkalmaznánk hütést, az egész felhalmozódott energia egyszerre felszabadulna, amint a grafit hőmérséklete bármely okból tullépné T_1-t. Éppen ezért ezt a pontot vesszük a felhalmozódott energia által jelentett veszély kritériumának, jóllehet gyakorlatban biztonsággal tul lehet menni ezen a ponton, mivel olyan körülmények között, mikor

egy spontán energiakitörés valószinü lehet, mindig van némi hütőgáz áramlás.

Az eljárás most az, hogy kiszámitjuk az energiafelhalmozódást a reaktor különböző részein és ennek alapján eldöntjük, hogy melyik a legkritikusabb hely. Grafitmintákat helyezünk el szerteszét a reaktorban, ugyhogy a legtöbbet ott helyezzük el, ahol elméletileg a legkényesebb körülmények várhatók. Időközönként ezeket a mintákat kivesszük a reaktorból és a felhalmozódott energiát megmérjük, hogy az elméletileg várható értékkel összehasonlitsuk. Ha a minták egyike megközeliti a megengedett határértéket (ami természetesen a veszélyes helyzeten innen van), megtörténik a kiizzitás.

A kiizzitó, vagy temperáló folyamat során a grafit hőmérsékletét külső hőforrás segitségével lassan emeljük és igy a felhalmozódott energia egy része eltávozik. A teljes energia nem szabaditható fel, mivel akkor a reaktormagban levő összes grafit hőmérsékletét kb 1.500 C°-ra kellene emelni; ha a temperáló hőmérséklet T_2, akkor az energia $\frac{T_2-T_1}{1500-T_1}$ törtrésze szabadul fel (3.ábra). Ez azt jelenti, hogy az energia felszabaditási küszöb a temperáló eljárás következtében T_1-ről T_2-re emelkedett. Ha tehát T_2-t elég nagynak veszszük, biztositathatjuk azt, hogy spontán energiakitörés nem következik be akkor sem, ha a reaktor müködése közben helyileg átmeneti hőmérsékletnövekedés következik be. A moderátor nagy termikus tehetetlensége következtében, nagy átmeneti hőmérsékletváltozások nem lépnek fel.



3. ábra
Wigner-féle energia felszabaditása. A teljes energia nem szabaditható fel, mivel ez megkivánná, hogy az összhőmérsékletet kb. 1.500 C°-ra emeljük

(Ford.:Kovács Jenőné)

WIGNER-ENERGIA FELSZABADITÁSA HARWELLBEN WINDSCALE ÓTA ELŐSZÖR

Nuclear Power Vol.3. N° 25, p.230 (May 1958)

A BEPO reaktorban felhalmozódott energia felszabaditását uj módszerrel végezték el Harwellben. Ahelyett, hogy a hütőközeg áramlásának leállitásával egyidejüleg tették volna kritikussá a reaktort, a levegőt előmelegitették és a reaktort olyan alacsony teljesitmény-szinten tartották üzemben, hogy a grafittömb-sérülést kimutató berendezés müködését még éppen ellenőrizni tudják. A kitüzött cél annak bizonyitása volt, hogy a Wigner energia levezetése teljes biztonsággal történhetik, ha a müszerezés teljes és kifogástalan. Nagyméretü kisérlet volt azzal az elgondolással, hogy a jövő reaktor-tervezőinek és üzemeltető személyzetének a lehető legjobb segitséget nyujtsa.

BEPO léghütésü, grafittal moderált, ugyanolyan tipusu reaktor, mint a windscalei, amelynél a fentihez hasonló müvelet közben az uránium hőmérséklete tul magasra szökött. BEPO, mely az első nagyméretü Európában épült reaktor, már majdnem tiz éve zavartalanul müködik és gyógyászati, valamint ipari alkalmazásra izotopokat állit elő. Decemberben időszaki karbantartás céljából leállitották és a windscalei balesetről jelentést tevő Fleck-féle bizottság tanácsa alapján további müszereket állitottak be, közöttük több szürőt, melyek megakadályozzák, hogy radioaktiv jód szökhessen ki a kéményen.

Az energia felszabaditását ugy kezdték, hogy a légcsatorna bemenetelénél 750 kW teljesitményü fütőrácsot kapcsoltak be és a légáram a rendes áram 5 %-ára csökkent. A levegő hőmérséklete 130 C°-ra emelkedett, és eközben 10 óra alatt a grafitszerkezetet fokozatosan 90 C°-ra melegitette fel. Ezen a ponton megkezdődött a felhalmozódott energia lassu felszabadulása és a szénatomok visszatértek az üres rácshelyekre, ahonnan a gyorsneut-

1. ábra

Egyes grafitblokkok hőmérséklete 5 percen belül 200 C°-ra emelkedett, amint az energia levezetése megkezdődött. Az időlépték a grafikonon jobbról balra olvasandó

ronok bombázása őket kimozditotta azalatt az öt év alatt, mely a BEPO utolsó Wigner energia levezetése óta eltelt. A grafit hőmérséklete 5 perc alatt helyenként 200 C°-kal emelkedett és a hőhullám a reaktor légcsatornájának bemeneti végétől lassan elterjedt a tápelemcsatornák mentén a csatorna kimenetéig és azoktól oldalirányban. A grafitban elért maximális hőmérséklet 330 C° volt. A müvelet meginditásától számitott 26 óra után, a hőmérséklet folytonosan csökkenni kezdett és az energiafelszabaditási müveletet befejezettnek tekintették.

Az egész müveletet 74 regisztráló készülékből álló telep vezérelte és összesen 411 vas-konstantán és króm-alumal hőelemet használtak, beleértve azt a 232 hőelemet, melyek a grafit különböző pontjain voltak elhelyezve, mig 65 az uránium tápelemek hőmérsékletét regisztrálta. A reaktort bármely pillanatban le lehetett volna hüteni a szellőző berendezés bekapcsolásával. A Brit Atomenergiahatóság szerint sikerült bebizonyitaniok, hogy a Wigner-energia felszabaditása minden veszély nélkül folyhat le, ha ezt a megfelelő müszerekre támaszkodva végezzük.

(Ford.: Kovács Jenőné)

AZ ATOMMAGKUTATÓ KÖZPONTOKRÓL

Dr. L. Kowarski

The Industrial Challenge of Nuclear Energy OEEC Paris, vol II. p. 77 (1958).

Az atommagkutatás ugy határozható meg, mint a magtudománynak az a sajátos ága, mely a magenergiatermeléshez megkövetelt alapvető ismereteket tárja fel. Az efajta kutatás általában központokban történik, ami bizonyosfoku ujitást jelent. Miért volt szükség, hogy ujtipusu szervezeti formákat vezessenek be ahhoz, hogy eleget tegyenek az uj tudományág által támasztott követelményeknek?

A választerre az a történelemben egyszeri, páratlan fejlődés adja meg, amelyet az atomtudomány pontosan 6 és fél év alatt (1939 januártól 1945 julius közepéig) ért el és amelynek során egy érdekes laboratóriumi jelenségből,(melyet az egész világon alig egy tucat ember érthetett volna meg) a világpolitika uralkodó tényezőjé vált. A világtörténelemben ilyen döntő változást más felfedezés még nem is vont maga után, kivéve talán Amerika felfedezésének közvetlen következményeit. 1945-től kezdődőleg az atomfizika olyan fontossá vált, hogy minden kormány lépést kiván tartani fejlődésével, igyekszik több atomtudóst munkába állitani és az atommagkutatást olyan ütemben kivánja fejleszteni, amire a tudományok gyakorlati alkalmazásában még nem volt példa. Egyetlen meglévő intézmény sem vállalkozhatott ilyen uj feladatra.

Ha egy ország, vagy országok csoportja saját erőforrásaira támaszkodva szeretne magkutatási vonalon valami ujat elérni, először is meg kell ismernie, miként kell bánni az uj fémekkel, vagy más, már ismert anyagokkal olyan hőmérsékleti tartományokban, amilyenekben ezeket az anyagokat még sohasem használták, vagy pedig olyan nagy nyomások mellett, amilyeneknek még nem voltak kitéve és azokkal a korróziós problémákkal, melyek fémek és folyadékok eddig ismeretlen kombinációja foly-

tán keletkeznek. Ezeket a problémákat még bonyolultabbá teszi a sokszor előre nem látott hatással rendelkező sugárzások jelenléte. Kutatók és tervező mérnökök gyakran tapasztalják, hogy a leglényegesebb dolgokról mit sem tudnak és a szakkönyvekben közölt adatok gyakran pontatlanok. Például emlékszem rá, hogy 1940-ben sok fizikai és kémiai állandót feltüntető táblázat részletes adatokat tartalmazott urániumra vonatkozólag, jóllehet, amint az később kitünt, még senki sem dolgozott tiszta uránium mal. Következésképpen a megadott sürüség, olvadáspont stb. nem volt pontos.

Mit tehetnek ebben a rendkivüli helyzetben kormányok, ipari, vagy akár katonai hatóságok is? Minden fejlettebb ország rendelkezik intézményekkel, ahol fizikusok, vegyészek, fémkohászok, elméleti kutatók, sőt olyan orvosok is dolgoznak, akik meg tudják értetni, hogy milyen biztonsági intézkedésekre van szükség, hogy a dolgozókat megvédjék a rádióaktivitással szemben. Egyetemekre gondolok. Hamarosan kitünt azonban, hogy az egyetemek nem biztositanak kielégitő érintkezést az ilyen különálló területek képviselői között. Az egyetemen dolgozó fizikus ugyan könnyen fordulhat egy ott dolgozó vegyész kollégájához tanácsért valami speciális kérdésben, de sürgősen megoldandó atomproblémáknál a fizikusnak és kémikusnak ténylegesen együtt kell dolgoznia ezen az egy problémán hónapokig, esetleg évekig. Ez semmiképpen sem fér össze a szokásos egyetemi szervezetekkel. Ezen tulmenően kutatóknak általában megvan a saját érdeklődési területük és témájuk, és némikép huzódoznak attól, hogy hacsak rövid időn át is olyan problémákkal foglalkozzanak, amelyek *inkább müszaki és gazdasági, mint tudományos szempontból* érdekesek. Szükségesnek látszott tehát ujfajta intézmények létesitése, ahol igen különböző területeken dolgozó szakemberek összehozhatók azért, hogy olyan problémákon dolgozzanak, melyet *nem maguk választottak*, hanem a kitüzött feladatból adódnak. Egyetemekhez nem tartozó kutatólaboratóriumok, néha alapvető kutatással is foglalkozó laboratóriumok már léteztek, feladatukat azonban egy külső hatóság szabta meg. Példa erre a

párizsi Pasteur Intézet, számos hasonlócélu intézménnyel, és ipari vonalon a Bell Telefontársaság és a General Electric Co. kutatólaboratóriumai. Ez utóbbi két ipari laboratórium sokkal inkább tudatában volt annak, hogy a gyakorlati problémák megoldásával egyidejüleg elméleti kutatást is kell végezni, mint sok más hasonló laboratórium.

Olyan laboratóriumok létesitésének szükségessége, amelyekben a tudósok, miközben megadott feladaton dolgoznak, továbbra is megtarthatnák független, akadémiai gondolkozásmódjukat, a háboru alatt merült fel, különösen Angliában, ahol a háboru első éveiben majdnem valamennyi fizikus a radaron dolgozott. Fej-fej mellett a radarral kapcsolatos munkákkal, egy kis uttörő csoport az atomenergiával foglalkozott, különösen Cambridgeben és Liverpoolban, Angliában azonban ebben az időben nem engedhette meg magának, hogy ezen a területen nagyobb erőkifejtést összpontositson és a mai formájában ismert atomkutató-laboratórium az Egyesült Államokban alakult ki. Chicagoban egy uj ugynevezett "metallurgiai" laboratóriumban folyó munka 1942-ben az első atommáglya felépitéséhez vezetett; ebben azonnal követték más intézetek, mint a Chicago közelében lévő Argonne-ban, a Tenessee-ben fekvő Oak Ridge-ben és Los Alamosban, Uj Mexicoban. A háboru után az efajta laboratóriumok példájára épült kutatóintézet az angliai Harwell-ben, a kanadai Chalk River-ben és több más később emlitendő helyen.

Mielőtt közös jellegzetességeiket ismertetnénk, először lássuk, milyen munkával foglalkoznak. Az ilyen laboratóriumok tevékenységét célszerüen 5 kategóriába sorolhatjuk: először alapvető elméleti kutatás, mely nincsen közvetlen kapcsolatban az atomenergiával. Elsőnek emlitem ezt a kategóriát, mert rendkivül fontos, hogy minden ilyen intézetben legyenek olyan osztályok, ahol a kutatók elméleti kutatásokat végezhetnek anélkül, hogy valaki azt mondhatná nekik, hogy munkájuknak semmi közvetlen gyakorlati haszna nem lévén, az pillanatnyilag nem érdekes. Ez igen fontos, mert csak a tiszta tudomány szempontjából érdekes problémákkal foglalkozó kutatók alakithatják ki a szabad kutatás és az eredmények szabad megvitatásának

szükséges légkörét. A szorosan gyakorlati megoldásokkal foglalkozó kutatók hajlamosak az eltompulásra. Olyan fizikus, aki az uránium és tórium nukleáris szerkezetét vizsgálja, nem dolgozhat jó eredménnyel, ha nem tart közvetlen kapcsolatot az atommag általános szerkezetét, az urániumra vagy tóriumra való tekintet nélkül, tanulmányozó kutatóval. Hacsak ilyen "elfogulatlan" kutatók nincsenek helyben, az atomenergiával közvetlenebb kapcsolatban levő témákon dolgozó kutatók, nem dolgozhatnak eredményesen. Minden atomkutatóközpontban tehát o l y a n o s z t á l y o k n a k, v a g y c s o p o r t o k n a k i s k e l l l e n n i ö k, a h o l a k u t a t ó k a z z a l f o g l a l k o z h a t n a k, a m i v e l a k a r n a k.

A második kategóriában olyan kutatómunka folyik, mely ugyan még mindig elméleti jellegü, de már kapcsolatban van az ugynevezett atomenergiával. Itt az atomenergia alkalmazásával járó jelenségeket tanulmányozzák; ebben az esetben is az ilyen problémákon dolgozó kutatóknak ugyanazokat a módszereket kell alkalmazniok, mint a tisztán elméleti kutatással foglalkozó kollégáiknak. Például ha egy kutató azon dolgozik, hogy megoldja egy viz-gőz keverékben fellépő korrózió problémáját, nem juthat igazán hasznos eredményekhez, ha ez a kérdés nem csupán a talán egy év mulva alkalmazásra kerülő eredményei szempontjából, hanem önmagában is érdekli.

A harmadik kategóriába tartoznak a magenergia termeléséhez szükséges készülékeken végzett kisérletek, mint amilyenek a különböző reaktor prototipusok, és a reaktorok egyes részeinek kisérleti berendezései, melyek mélyreható ismerete nélkül nem lehet teljesméretü reaktorokat tervezni és kifejleszteni. Ismeretesek a "hurok" ("loop") elnevezésü kisérleti berendezések, melyeket reaktor alkatrészek kipróbálására alkalmaznak.

A negyedik kategóriába tartoznak a reaktorral kapcsolatos egyes részletjelenségeken végzett gyakorlati kutatások. Ezekhez nincsen szükség egész reaktorra, hanem csak mintákra, pl. a reaktorszerkezetéhez használt fémekből álló vezetékrendszeren átszivattyuzandó folyadékmintákra. Ilyen kutatások vonatkozhatnak például bizonyos uj ötvözetek tulajdonságainak, szi-

lárd anyagok vizben való szuszpenziójának, és az emberi és állati testszövetek sugárzás behatására történő elváltozásának stb. vizsgálatára. Ilyenfajta pontos és konkrét vizsgálatok lehetővé teszik, hogy ujfajta reaktorok üzemeltetésével kapcsolatosan felmerülő problémákat már előre megoldjunk.

Az ötödik kategóriában a reaktor már nem képezi kutatás tárgyát, hanem csupán sugárforrásul szolgál. Ha pl. egy atomkutatóközpontban több reaktorral rendelkezünk, akkor ezek módot adnak arra, hogy pl. az anyag és sugárzás közötti benső fizikai összefüggést vizsgáljuk. Ezenkivül minden reaktor nagy mennyiségben termelhet nagyenergiáju izotópokat, melyek rövid felezési idejük miatt nem szállithatók máshová, hanem ott kell velül foglalkoznunk.

Összefoglalva atomkutatóközpontok tevékenységének irányát a következőkben jellemezhetjük:

1.) Elméleti kutatás, mely nincsen közvetlen összeköttetésben az atomenergiával, de intellektuális okokból feltétlenül szükséges.

2.) Az atomenergiával közvetlenebb kapcsolatban levő elméleti kutatás.

3.) Kész reaktorokon, vagy reaktoralkatrészeken végzett kisérletek.

4.) Reaktorokkal kapcsolatos jelenségek vizsgálata gyakorlati szempontból.

5.) Reaktorokkal és a reaktorok kémiai termékeivel kapcsolatos kutatás, melyeket azért végeznek itt, mert a reaktorok közelsége technikailag indokolt.

Mekkora létszámmal kell az ilyen intézménynek rendelkeznie? Ha lehetséges és hasznos témák sokaságát tekintjük, akkor ugy tünik, hogy több tizezer ember nem volna tul sok. Gyakorlatilag azonban bebizonyosodott, hogy bizonyos határok között kell tartani azt a létszámot, melyet egy központi ügy-

vezetés elláthat, a határok tekintetében azonban a vélemények különbözők. Harwellben kb. összesen 5.000 az alkalmazottak száma - ez valószinüleg kissé tul sok. A nagyobb amerikai atomkutató központok létszáma 2.000 körül mozog és sohasem éri el a 3.000-t. Ez, szerintünk jobban megközeliti az optimális számot. Az alkalmazottak egy része "hivatásos", vagy "egyetemi végzettségü" mint pl. természettudományi végzettségüek, mérnökök, esetleg orvosok stb. Ott van továbbá a segédszemélyzet és ezen nemcsak a laboratóriumi és müszaki személyzetet értjük, hanem az olyan rutinmunkát végző alkalmazottakat is, mint bérelszámolókat és tehergépkocsivezetőket. Általában azt mondhatjuk, hogy az "egyetemi végzettségü" személyzet létszáma az összalkalmazottaknak kb 25 százalékát teszi ki az ilyen intézményekben. Ez az arány valamivel magasabb az olyan intézetekben, melyek speciálisan inkább elméleti kutatással foglalkoznak, amilyen pl. nagyenergiáju részecskék fizikája. Másrészt kb. 20 %-ra csökken olyan intézetekben, ahol a kutatás célja gyakorlati jellegü, miután itt kutatónként több kivitelező alkalmazottra van szükség.

Ennyit a létszám kérdéséről, de mibe kerül ez és miként csináljunk megfelelő költségvetést? Itt számtalan meghatározási nehézség merül fel. Az O.E.E.C szakembereinek "Kisérleti Reaktorok - Javaslat ilyenek kooperative történő kifejlesztésére Európában" cimü jelentése tartalmaz egynéhány elég durván becsült számot arra vonatkozólag, hogy milyen költségek számithatók egy hivatásos kutatóra esően. Célszerü ugyanis az intézetek költségvetésében a hivatásos kutatók számát alapul venni, azaz ezek fizetéséhez hozzáadni egy arányos összeget a nem hivatásos személyzet fizetésével, felhasznált anyaggal, utiköltséggel, épitkezési és épület fenntartási költségekkel, valamint kisebb rezsiköltségekkel (azonban az ilyen jellegü nagyobb tételeket nem) kapcsolatban. Ha i g y s z á m i t j u k, a k k o r e g y h i v a t á s o s k u t a t ó v a l k a p c s o l a t b a n f e l m e r ü l ő é v i k ö l t s é g kb. 20.000 - 25.000 dollár.

Ezen felül az atomkutatók óriási méretü készülékek (gyorsitók, magreaktorok) felépitésével járó beruházási költséget

azaz nagyméretü épitkezéseket is szükségessé tesznek. Ezen az utóbbi téren ugy tünik, hogy a kiadásoknak nem lehet határt szabni, de gyakorlatilag kitünt, hogy nem érdemes erre óriási összegeket áldozni, ha nem rendelkezünk megfelelő számu szakemberrel, akik itt dolgozni tudnának. Elég különös, de inkább a szakemberek hiánya, mint a pénzhiány korlátozza sokszor a nagymérvü kiadásokat. Nagyobb beruházások sokszor megkétszerezhetik fentemlitett évi költségeket (20.000 dollár). Kétségkivül mód van arra, hogy némi erőkifejtéssel ennél valamivel többet költsünk, de ez már a szélső határt jelenti.

Néhány szót kell most szólnom szervezési kérdésekről. A legtöbb ilyen intézet egy vezető személyiség körül épül fel - ez a főigazgató rendesen kimagasló tudós, aki továbbra is lényegében tudományos szerepet tölt be, mikor az atomkutató intézmény munkájához megadja a kezdeti impulzust. Ugy vettük észre, hogy ha mindent tekintetbe veszünk, a tudósok által vezetett intézmények jobb eredményekkel dolgoznak, mint azok, melyeket tisztán adminisztrativ tehetséggel igazgatnak. Példa erre Európában H a r w e l l, az Egyesült Államokban O a k R i d g e, és B r o o k h a v e n. Ezek igazgatói eredetileg tisztán tudományos kutatók voltak, ami jelen tevékenységükből még mindig kitünik.

Az igazgató vezetése alatt 10, sokszor 15, vagy ehhez hasonló számu osztályvezető vagy csoportvezető nagymértékü önállósággal vezeti osztályát vagy csoportját. Minden intézmény különböző osztályán alkalmazott módszerek közötti bizonyos különbségek élénken visszatükrözik ezeknek a "feudális bárónak" kutatási módszerei között mutatkozó különbséget. Az efajta szervezet - igazgató és kb egy tucat önálló osztályvezető - jellegzetesnek látszik atomkutató központoknál. Általánosságban szólva, a szóbanforgó kutatók nagymértékben függetlenek maradnak témájuk megválasztása és annak megoldására választott módszer tekintetében - ez a szabadság kissé meglepő, ha tekintetbe vesszük az ilyen intézmények szigoruan utilitarista jellegét. Ezek olyan pénzügyi erőforrások és segédszemélyzet felett rendelkeznek, ami tudományos körökben a háboru előtt elképzelhetetlen volt. Ezzel szemben el kell

viselniök egy mindenütt fennálló és bonyolult bürokráciát, részt kell venniök mindenféle bizottságok ülésein, ami idejük jórészét igénybe veszi. Hajlamosak arra, hogy emiatt elégedetlenkedjenek és nem gondolnak arra, hogy a kettő együtt jár.

Néhány éve már ugy látszott, hogy sikerül megoldani ezeket a nehézségeket, vagyis legyőzni a tudósok elkerülhetetlen irtózását attól, hogy nagy atomkutatóközpontokban dolgozzanak és felszámolni azokat a bürokratikus intézkedéseket, melyek szükségesek ahhoz, hogy együtt tartsák őket. Megoldódik-e ez a probléma most, amikor az atomenergia ugylátszik, már megszelidült és kezd rutinszerü feladattá válni, mely nem igényel ilyen nehezen kezelhető embereket? Az ilyen remények teljesitését azonban el kellett halasztani; az atomtudomány olyan óriási léptekkel halad előre, hogy uj gondolatok és uj vér befecskendezésének nem szabad korlátot szabni. A pszichológiai nehézségek azonban még mindig fennállnak, talán ez az ára annak, hogy az atomkutatóközpont munkáját és tevékenységét élénkké és érdekessé tegyük.

Például felemlitünk egynéhány ilyen nagyobb atomkutató központot. Az Egyesült Államokban a háboru alatt felállitott intézetek még mindig müködnek. O a k R i d g e különösen az ujszerü reaktortipusok iránt érdeklődik, de kevésbbé felel meg közvetlen gyakorlati kérdések megoldására. A Chicago közelében levő A r g o n n e gyakorlatibb reaktortipusokkal foglalkozik és inkább reaktortechnikai problémák érdeklik. B r o o k h a v e n, melyet közvetlenül a háboru után 9 egyetem alapitott, határozottan akadémikusabb irányzatu a többinél. L o s A l a m o s megtartott valamit a háboru alatti jellegéből abban az értelemben, hogy még mindig többé-kevésbé katonai problémákkal foglalkozik, azonban nagyban hozzájárult az atomenergia békés felhasználásához is azáltal, hogy különösen fejlettebb tipusu reaktorokon végeztek vizsgálatokat. Mégegy ilyen laboratóriumot alapitottak a háboru után L i v e r m o r e -ban, Kaliforniában, de ez is katonai problémákon dolgozik.

Canadában csak egy ilyen atomkutatóközpont van, mely azonban olyan méretü, hogy az egész ország kutatóit foglalkoztatni tudja; ez a közvetlenül a háboru után épült C h a l k

R i v e r laboratórium. Az Egyesült Királyságban van H a r - w e l l és foglalkoznak egy másik ilyenfajta intézet gondolatával W i n f r i t h H e a t h -ben, Anglia déli partvidékén. Azt reméljük, hogy ez lesz az első nemzetközi intézet, melyet az O.E.F.C. tervez, azaz a homogén vizhütésü reaktor. Franciaországban van S a c l a y, Párizs közelében, annak különböző leányintézeteivel mint pl. C h a t i l l o n és hamarosan atomkiképző és kutatási központot kivánnak létesiteni a G r e n o b l e Egyetemhez kapcsolódóan. Svájcban már felépült a W ü r e l i n - g e n központ, ahol az amerikaiak által évekkel ezelőtt áthozott uszómedence-tipusu reaktort állitották üzembe. Egy tisztán svájci eredetü reaktor épitését is tervezik ugyanitt. Svájcnak megvan továbbá az az előnye, hogy ott épültek fel a C E R N laboratóriumok, melynek leirása azonban tullépné a most tárgyalt tisztán atomkutató központokat, mivel C E R N kizárólag nagyenergiáju részek fizikájával foglalkozik, ami nincsen közvetlen kapcsolatban az atomenergiával.

Végül emlitésreméltók még a további reaktorral rendelkező európai atomkutató központok: Belgiumban M o l, Norvégiában K j e l l e r (az utóbbi Hollandia és Norvégia együttmüködéséből ered). Hollandiában az A r n h e m központ hasznos kutatást folytat egy speciális tipusu homogén vizhütésü reaktorral kapcsolatban. A svéd atomkutatás most S t o c k h o l m-ban összpontosul, ahol 1954 óta müködik kutatási reaktor. A szovjet központoktól eltekintve, melyekről elég hiányos értesülésekkel rendelkezünk, ez többé kevésbé kimeriti az atomkutatási központokat, melyek már müködő reaktorokkal rendelkeznek, hamarosan azonban továbbiak is létesülnek.

(Ford.: Kovács Jenőné)

A SUGÁRZÁS HATÁSAI ÉS A HÁTTÉR RADIOAKTIVITÁSA

Dr. H.Muth

The Industrial Challenge of Nuclear Energy
OEEC Paris, Vol.2. p. 243 (1958)

Bevezetés

Jelen tanulmány a radioaktiv anyagok által kibocsátott gamma - (és természetesen az ezzel alapjában véve megegyező röntgen) alfa, beta és (vagy pozitron sugarakkal) foglalkozik. Sugárvédelem szempontjából mindenekelőtt az ilyen sugaraknak az emberi szervezetre gyakorolt biológiai hatása érdekel bennünket éspedig elsősorban a maximális megengedhető sugárdózisokat tanulmányozzuk. Rövidesen a különböző tipusu radioaktiv sugarak felfedezése után észrevették, hogy ezek élő szervezetekre igen széleskörü biológiai hatást fejthetnek ki.

A gammasugarakhoz hasonlóan nagyenergiáju, azaz gyors neutronok ugyancsak mélyen behatolnak a testszövetbe. Az alfa- és beta-részecskéktől eltérően azonban nem fejtenek ki közvetlen biológiai hatást, mivel, töltésük nem lévén, nem ionizálnak. Mindamellett gyors neutronok közvetett hatást gyakorolnak azáltal, hogy kinetikus energiájukat átadják a szövetekben nagyszámban jelenlévő hidrogén magoknak (protonok). Ez utóbbiak (visszalökött protonok) miután mozgásba jöttek, jelentős biológiai változásokat idézhetnek elő.

A röntgen - gamma- és neutronsugaraktól eltérően, melyek megfelelő nagy energia esetén egyenesen áthatolnak az emberi testen, a beta-sugarak csak néhány milliméternyire, az alfa-sugarak pedig csak néhány századmilliméternyire hatolnak be a szövetbe. Az emberi testet ért sugárzás esetén röntgen,- gamma- és neutronsugarak hatása kivülről jövő sugárzásnál nagyobb, mig alfa-, beta- valamint pozitronsugarak, ha forrásaikként kis radioaktiv részecskéket ültetünk be a szövetekbe, a testen belülről fejtenek ki sokszor kicsi felületekre összpontosuló hatást.

I. Emberi lényekre gyakorolt hatás: sugársérülések.

A sugárzás biológiai hatásosságát annak az energiának relativ mennyisége határozza meg, melyet a sugárzásnak kitett anyag a teljes sugárzási energiából felvesz, illetve abszorbeál. A biológiai következmények, vagy a sugársérülés és a keletkező szimptomák azonban az egyes esetekben igen különbözőek lehetnek a sugárfajta tipusától és a dózis nagyságától függően. A dózis időbeli eloszlása is nagy szerepet játszik, mivel az élő szövet sugársérülés után regenerálódik, feltéve, hogy az nem ment tul bizonyos határokon. A dózis térbeli eloszlása is fontos. A keletkezett sérülés, vagy biológiai hatás attól is függ, hogy vajon az egész testet, vagy pedig annak csak bizonyos részét érte sugárzás, továbbá attól, hogy külső behatásról (gamma, gyorsneutronok) vagy a testbe jutott radioaktiv anyagoktól (beta, alfa) származó hatásról van-e szó.

1. táblázat

Sugárzás okozta sérülések

Népszaporodást érő károk	Genetikai vonalon	Mutációk "genetikai halál"	Ivarmirigyek	sérült szerv
	Magzat szempontjából	deformációk	magzat	sérülés
Az egyént érő bántalmak	Utólagosan jelentkező bántalmak	szemhályog rákosodás	helyi	sérülés
		fehérvérüség, élettartam megrövidülése	teljes test	sérülés
	Korán jelentkező bántalmak	szőrtelenedés, fekély	helyi	sérülés
		akut sugárbetegség halál	teljes test	sérülés

Az 1. táblázat feltünteti a különböző sugárzás okozta következményeket. Meg kell különböztetnünk népességet egészében és az egyes embereket érintő bántalmakat, valamint az akut, illetőleg utólag jelentkező sérüléseket. Ezek közül bármelyik helyi, vagy teljes (egész test) besugárzás következménye lehet. Természetesen a korán jelentkező bántalmak későbbi bajok forrásai lehetnek. Az is megtörténhetik, hogy minden felismerhető szimptoma nélkül, a sugárzás-okozta bántalom a tényleges besugárzást követően csak évek, sőt évtizedek multán jelentkezik.

A genetikai ártalom az öröklődő tulajdonságokat átvivő gének és kromozómák örökletes megváltozása (mutáció) alakjában jelentkezik. Az öröklődési törvényszerüség értelmében a sugárzás okozta mutációk csak az elkövetkező nemzedékekben jelentkeznek. Tudjuk, hogy a sugárzás okozta genetikus hatásoknál nincsen küszöb. Még a legcsekélyebb behatás is érvényre jut, ha kritikus területet ér. A genetikai ártalom problémája akkor válik igen fontossá, ha nagy népcsoportok, vagy a teljes népesség ban kitéve a normális szintet meghaladó, mesterséges uton keltett radioaktiv sugárzás hatásának. Az egyén és a népszaporodást érő károsodás között van a magzatot érő sugárártalom. Ha terhes anyát sugárzás ér, akkor a magzat, nagyfoku sugárérzékenysége folytán megsérülhet anélkül, hogy az anya maga károsodást szenvedne. Ez a népszaporodást érő ártalom, mikor is csak a sugárzást kapott személy utódai szenvednek a sugárzás következtében.

Az a maximális dózis, amely az egész emberi testet rövid besugárzás esetén klinikailag észlelhető elváltozás nélkül érheti, 25 r (veszélyes dózis). Igen nehéz arra felelni, vajon mégegyszer megengedhető-e az ekkora sugárzásnak való kitétel. Az eddig szerzett tapasztalatok alapján azt vélhetjük, hogy az ember kaphat másodszor is ekkora dózist, de legkorábban két, vagy inkább 6 hónap mulva, harmadik besugárzás azonban semmiképpen sem engedhető meg.

Sulyos helyi sugárártalom szemléltetésére egy kutatóintézetben dolgozó személy szomoru esetét kivánom ismertetni. Ennél a sajnálatos balesetnél a leggondosabb sugárvédelmi intézke-

2. táblázat

Különböző fajta sugárzások okozta károk

	Helyi besugárzás		Teljes testet érő sugárzás	
	egyszeri rövid sugárzás	ismételt tartós sugárzás	egyszeri rövid sugárzás	ismételt tartós sugárzás
kívülről jövő ártalom	klinikai baleset (hibás szürő)	hanyagság; radioaktiv szennyeződés; radiologusoknál (kezek)	atombomba	nem megfelelő sugárvédelem atomerőművekben
röntgen gamma neutron beta	bőrkiütés; fekély	sorvadás sugárzás keltette rák	akut sugárbetegség	fehérvérüség élettartam megrövidülése
belső beépült ártalom alfa, beta, gamma	J^{128} felezési idő 25 perc	radioaktiv szennyeződés Ra^{226} (1620 év) Sr^{90} (28 év)	véletlen Na^{24} (14,8 óra)	radioaktiv szennyeződés Cs^{137} (33 nap) C^{14} (5700 év)

3. táblázat

Jellegzetes sugárdózisok az egész emberi testet érő, rövid ideig tartó gamma-sugárzás esetében

25 r	határdózis, melyen alul általában nincsen klinikailag észlelhető hatás
25-100 r	lymphociták csökkenése, egyéb könnyebb szimptomák
50 r	lymphocita-csökkenés
75 r	rendkivüli helyzetben megengedhető
100 r	rosszullét, hányinger a legtöbb embernél
100-200 r	erősebb és tartósabb lymphocita-csökkenés komoly sugárzási rosszullét; az első halálesetek
150 r	sugárbetegség az esetek 50 %-ában
200 r	az összes vérképző szervek legyengülése, csökkent életképesség, kb. 5 %-ban halál
225 r	az esetek 100 %-ában sugárbetegség
250 r	5 %-ban halál
400 r	50 %-ban halál (30 napon belül)
600 r	100 %-ban halál (Plough szerint)
	95 %-ban halál (14 napon belül) "The Effects of Atomic Weapons" adata

dések ellenére, az illető kezét egy nagyteljesitményü röntgenberendezéssel végzett kutatómunka közben, egészen rövid ideig (2 mp körül) 2000-4000 r-nyi sugárzás érte.

A baleset utáni első napon az érintett bőrfelületen vörösödés mutatkozott. Ez fokozódott az elkövetkező napokban és a felgyülemlő viz okozta puffadás (ödéma) lépett fel. A sugárzás után két héttel igen erős gyulladás keletkezett, ami elterjedt és végül lassan gyógyuló, zsiros felületü röntgenfekéllyé alakult át. Ezután javulás állt be a gyulladásos tünetek megszünésével. 35 nap mulva határozott javulásról lehetett beszélni. Egy további hónap mult el, mikor csak csekély vörösödés volt látható a középső ujj táján. Egy héttel később azonban a középső ujjon ismét bőrgyulladás jelei mutatkoztak. Most kezdődött az ártalom második fázisa, ami három nap után érte el csucspontját, majd 140 napon belül lecsillapult, mikorra a bőr majdnem teljesen begyógyult. A baleset után három hónappal kezdődött a harmadik fázis, főleg a középső ujjon. A 235-ik napon határozott fekélyesedést észleltek és a 266-ik napon ez az ujj olyan állapotba került, hogy amputálni kellett. 14 és fél hónap mulva bőrvörösség és gyulladás kezdett mutatkozni a mutatóujjon. Ez folyamatosan rosszabbodott, mig végül 15 hónap mulva a mutatóujjat is le kellett vágni.

4. táblázat

A gamma-sugarak valószinü hatása az egész emberi testet érő egyszeri besugárzás esetén. (Ha nincs lehetőség orvosi kezelésre)

KORAI BÁNTALMAK	Ha a sugárbántalmat feltétlenül el akarjuk kerülni, a megengedhető maximális dózis 20 - 30 r
VESZÉLYES DÓZIS	25 r.
	Sugárbetegségek és első halálesetek jelentkezése: 75-150 r
KRITIKUS DÓZIS	100 r.
	Általában sulyos sugárbetegség, sőt az esetek 50 %-ában halál: 300-600 r.
MINDEN MÁSODIK ESET HALÁLOS	400 r.
	Csaknem biztosan halált okoz: 600-1000 r.
BIZTOS HALÁL	700 r.

5. táblázat

Átlagos életkor

Összehasonlitás radiologusok és az USA-ban elért átlagos életkor között
(USA, Tudományos Akadémia, 1956)

Csoport	Év
Sugárzással nem dolgozó orvosok	65,7
Némi sugárzásveszélynek kitett orvosok (bőrgyógyászok, urológusok, stb.)	63,3
Radiologusok (röntgenesek)	60,5
USA 25 éven tuli lakói	65,6

Az 5. táblázat szemlélteti a sugárzás utólagos hatását (élettartam rövidülés) a radiologusok között az amerikai statisztika szerint kis dózisokkal történő folytatólagos besugárzás mellett, melyek azonban általában jóval nagyobbak, voltak, mint a maximálisan megengedett dózis, azaz 0,3 r hetenként.

II. Maximálisan megengedhető dózis tartós besugárzás esetében

Az utóbbi évtizedekben klinikai radiologiában szerzett tapasztalatok és az ionizáló sugárzás biológiai hatását illetően folytatott biológiai és biofizikai kutatások eredményei alapján a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (I.C.R.P.) a foglalkozással járó sugárveszéllyel kapcsolatban lefektette a maximálisan megengedhető dózisok mértékét, amit minden országban hivatalos szabványként fogadtak el.

A maximálisan megengedhető dózist a nemzetközi javaslatban ugy definiálják, mint azt az ionizációs sugárdózist, melynek következtében mai ismereteink szerint az embernek egész életében nem lép fel kimutatható ártalom. A vonatkozó számokat a 6. táblázatban közöljük. Az I.C.R.P. 1956 áprilisában, Genfben tartott ülésein elhatározták, hogy az eddig elfogadott számokat gyakorlatilag majdnem egyharmadára csök-

kentik. Ezeket az uj, egyelőre még ideiglenes szánokat a 7. táblázatban tüntettük fel.

6. táblázat

A maximálisan megengedett dózis foglalkozással járó sugárveszély esetében
I.C.R.P. 1953 évi előirásai alapján

Sugárzás éri	Kritikus szerv	Dózis
I Az egész testet	Vérképző szervek, szemek, ivarmirigyek teljes test	0.3 rem hetenként
II A test egy részét (kezeket, alsókart, lábakat és bokát, fejet, vagy nyakat)	Epidermis alaprétege (vastagság kb. 0.07 mm)	0.6 rem hetenként 1.5 rem hetenként a bőr felületén (feltéve, hogy fejet ért sugárzás esetén, a szemek hetenként 0.3 rem-nél több sugárzást nem kapnak

7. táblázat

Maximálisan megengedett dózis foglalkozással járó sugárveszély esetében

(Ideiglenes adatok az I.C.R.P. 1956 októberi javaslatai alapján)

Teljes testet érő sugárzás	
0.3	rem hetenként (alapvető maximálisan megengedett dózis)
3	rem 13 héten belül
5	rem egy éven belül
50	rem 30 éves életkorig
50	rem az ez után következő 10 évenként azaz
200	rem 60 éves korig.

Az ionizáló sugárzás genetikai kihatásaival (amennyiben az egész népesség van sugárnak kitéve (a Brit Orvosi Kutatási

Bizottság (1956. jun.) és az Amerikai Egyesült Államok Tudományos Akadémiája foglalkozott részletesen. Az amerikai genetikusok bizottsága az idevonatkozó konferencia eredményeként azt javasolja: a dózis maradjon olyan kicsi, amennyire csak lehetséges. Azt ajánlják, hogy a népesség egészében ne kaphasson több sugárzást, mint személyenként 10 rem-et (ivarmirigy dózis) minden mesterséges sugárforrásból együttvéve és ez a dózis ugy értendő, hogy a fogamzás pillanatától 30 éves korig terjedő egész időtartamra vonatkozzék. A Brit Bizottság nem ad meg számadatot, de megállapitja, hogy a népesség teljességében ne kaphasson több sugármennyiséget, mint amennyi a természetes rádioaktiv sugárzás kétszerese. Genetikai szempontból maximálisan megengedett sugárzást a 8. táblázatban tüntetjük fel. Az amerikai genetikusok véleménye szerint 30 évre eloszolva 10 rem nem jelent veszélyt, mivel idevonatkozó becslések alapján az ebből eredő öröklődő betegségek gyakorisága az elkövetkező nemzedékekben elfogadható határokon belül marad.

8. táblázat

Maximálisan megengedett dózis (ivarmirigy dózis) a népességet egészében érő sugárzás esetében
(A természetes háttérsugárzáson felül.)

10 rem / 30 év

Ez a spontán mutáció gyakoriságát megkétszerező dózisnak
(40 rem) már 1/4-e.

A spontán mutációk gyakoriságát emberi lények között megkétszerező dózist általában 40 r-nek veszik. Ez a szám a sugárzás genetikai hatását egereken és drozofiliákon tanulmányozó kutatások eredményein alapszik (9. táblázat).

9. táblázat

A spontán mutáció gyakoriságát megkétszerező sugárzási dózis

Besugárzott lény	Mutációgyakoriság megkétszerezéséhez
Drozophila melanogaster	30-50 r
egerek	kb 50 r
emberek	30-80 r (40 r ?) (minimum 3-4 r maximum 150 r)

Mekkora az a természetes sugárzásmennyiség, mely a Földön élő valamennyi lényt éri? Az utóbbi években az Egyesült Államokban, Angliában, Svédországban és Németországban széleskörü kutatások folytak a természetes sugárzás mértékének meghatározására és máris sikerült bizonyos megbizható adatot összegyüjteni ezen a téren, bár még alig pár éve is ezen a téren nem sok ismerettel rendelkeztek. Ezeket a számokat a 10. táblázatban tüntetjük fel. A természetes sugárzás, melynek az egész test (beleértve az ivarmirigyeket) ki van téve, 0.13-0,15 r évente. A 11 és 12. táblázat összehasonlitja az évi természetes sugárzási dózist és egyrészt az előzetesen rögzitett maximálisan megengedhető dózisokat (11. táblázat) másrészt az ujonnan javasolt megengedhető dózisokat. Látjuk, hogy a foglalkozással járó sugárdózis illetőleg a népesség összességét érő sugárzás a természetes sugárzási dózisnak csak 33-szorosa, illetve kétszerese.

Igen kis mozgásterünk maradt tehát az atomenergia korszerü fejlesztésével kapcsolatosan feltétlenül emelkedő mesterséges radioaktiv sugárzás számára. Ez a tény világosan megmutatja annak életbevágó fontosságát, hogy megfelelő sugárzásvédelemről gondoskodjunk tudományos, technikai és szervezési szempontból nemcsak az atomtelepeken dolgozó személyek, hanem az egész népesség tekintetében is.

10. táblázat

Az emberi lényeket érő természetes sugárzás hatásainak részletezése

Sugárzás, vagy rádioaktiv izotopok			Érintett szerv	Testben jelenlévő mennyiség (curie)	Dózis rem/év
Egész testet érő	kozmikus sugárzás	kivülről történő	egész test		0.035
	helyi gamma sugarak	kivülről történő	"		0.070-0.100
	Levegőben levő radon és bomlási termékek (3×10^{13} curie per liter) (gamma)	kivülről történő	"		0.001
	Kalium 40 (beta)	belső lerakodás	izomzat egész test	10^{-7}	0.020
	Szén 14 (beta)	"	zsir egész. test	9×10^{-8}	0.0015
				egész testben kb.	0,13-0,015
A test egy részét érő	Radium 226 + 30% bomlási termék (alfa)	belső lerakodás	csontozat csontsejtek	$0,4\text{-}4 \times 10^{-10}$	0,050
	Radon + bomlási termékek ($0,5\text{-}5 \times 10^{13}$ curie per liter (alfa)	"	tüdő	-	0,025 0,250

11. táblázat

Összehasonlitás a természetes sugárzás és a megengedett maximálisan kapható sugármennyiség között (1953)

Maximálisan megengedett dózis (foglalkozással járó	300 m rem /hét=15 rem/év	1:100
Természetes sugárzás	0,15 rem/év	
Maximálisan megengedett dózis (a népesség egy nagy csoportját érő sugárzás)	30 m rem /hét=1,5rem/év	1:10

12. táblázat

Összehasonlitás a természetes sugárzás és az uj megengedett maximálisan kapható dózis között (1956)

Maximálisan megengedett dózis (foglalkozási)	5 rem/év	1:33
Természetes sugárzás	0,15 rem/év	
Maximálisan megengedett dózis (ivarmirigy dózis) (a népesség egészében tartósan kaphatja)		1:2
10 rem 30 évi időtartamon belül	0,33 rem/év	

Végül emlitsünk néhány szempontot a többlet mesterséges radioaktivitással kapcsolatban, mely máris létezik és amely a levegőben, vizben, talajban, vagy élelmiszerekben a magreaktorok müködése, vagy az atombombarobbanások következtében valószinüleg még növekedni is fog. A magreaktorok környékét, különösen a léghütésü tipus esetében, a gázalakban kiszökő radioaktiv termékek állandóan fertőzik. Külön esetet képeznek az argon-41, krypton-85 és jód-131 gázizotópok, például a francia G1 reaktor (40.000 KW) amely Provence-ban (Marcoule), lakott földmüvelő területen fekszik, teljesen légköri levegővel történő hütőrendszerrel rendelkezik és 100 m magas kéményéből mp-enként kb 20 millicurie argon-41-t ereszt szélnek. Elővigyázatossági intézkedésekre és állandó ellenőrzésre van szükség, hogy a maximálisan megengedett argon-41 koncentrációt a

levegőben és a maximálisan megengedett gammasugárdózisokat Marcoule környékén tul ne lépjék. A 13. táblázaton tüntetjük fel a kérdéses izotópokkal kapcsolatos adatokat, valamint stroncium 90-re és caesium 137-re vonatkozó adatokat is, ezek az izotópok eloszlanak az egész föld felszinén, mint az atomrobbanások hosszuéletü termékei, élelmiszer alakjában bejutnak az emberi testbe és ott lerakódnak.

13. táblázat

A^{41}, Kr^{85}, Xe^{133}, Sr^{90}, CS^{137}, Ra^{226} izotópok fizikai adatai

Radioizotóp elnevezése	Felezési idő	Maximális betasugár energia MeV	Maximális gammasugár energia MeV
Argon 41 A^{41}	109 perc	2.55 (0,007[x] 1,18 (0,993)	1,37
Krypton 85 Kr^{85}	9.4 év	0,695 (0,99) 0,150 (0,065)	0,52 0,31
Xenon 133 Xe^{133}	5.3 nap	0,34	0,23 0,08
Stroncium 90 Sr^{90}	28 év	0,54 (1,0)	-
Yttrium 90 Y^{90}	62 óra	2,2 (1,0)	-
Caesium 137 Cs^{137}	33 év	1,2 (0,08) 0,52(0,92)	- -
Barium 137 Ba^{137}	2,6 min	-	0,66
Radium 226 Ra^{226}	1620 év	alfa 4,8 - 7,7 Ra + bomlt.term.	2,2 legkeményebb gammakomponensek

A 14. táblázatban látható néhány izotópnak az emberi testben megengedett maximális mennyisége, valamint a vizben és levegőben maximálisan megengedhető koncentráció, ha az emberek tartósan használják. Ezeket a számokat a fentemlitett maximálisan megengedett sugárzási dózisok függvényeként számitották (a "kritikus szervekre" gyakorolt hatás). A 15. és 16. táblázatokban feltüntettük a legujabb mérési eredményeket az emberi

testben jelenlevő Sr-90, illetve Cs-137-re vonatkozólag. Ezeknek a számoknak alapján feltételezhető, hogy egyelőre a helyzet nem aggasztó, de a további fejleményeket állandóan figyelemmel kell kísérni. A 800-as biztonsági tényező (16.táblázat) stroncium esetében pl. 40-re esnék le, ha a maximálisan megengedett stroncium-90 mennyiséget kb. 10^{-7}-ről 5.1^{-9} curiere csökkentenék le az egész testre vonatkozóan, amivel pedig most ujabb kutatások eredményeképpen komolyan foglalkoznak.

14. táblázat

A^{41}, Xe^{133}, Ra^{226}, Sr^{90}, Cs^{137} és I^{131} izotópokból maximálisan megengedett koncentráció levegőben és vizben folyamatos belélegzés vagy ivás esetében

Radio-izotop	Kritikus szerv	Élettani hatás felezési idő		Az emberi testben maximálisan megengedett mennyiség microcurie-ben [1]	Maximálisan megengedett koncentrációk [1]	
		elméleti felezési idő	gyakorlati felezési idő		vizben c/l	levegőben c/l
A^{41}	egész test	?	?	33 (3.3)	$5x10^{7}$ $5x10^{8}$	$5x10^{10}$ $5x10^{11}$
Xe^{133}	egész test	?	?	320 (3.2)	$4x10^{6}$ $4x10^{7}$	$4x10^{9}$ $4x10^{10}$
Ra^{226}	csontok	20.000 nap	16.000 nap	0.1 (0.01)	$4x10^{11}$ $4x10^{12}$	$8x10^{15}$ $8x10^{16}$
Sr^{90} + Y^{90}	csontok	4.000 nap	2.700 nap	1 (0.1)	$8x10^{10}$ $8x10^{11}$	$2x10^{13}$ $2x10^{14}$
Cs^{137}+ Ba^{137}	izmok	25 nap	17 nap	98 (9.8)	$2x10^{6}$ $2x10^{7}$	$2x10^{10}$ $2x10^{11}$
I^{131}	pajzsmirigy	120 nap	7,5 nap	0.6(0.06)	$6x10^{8}$ $6x10^{9}$	$6x10^{12}$ $6x10^{13}$

[1] Ezek a számok a foglalkozással járó veszélyeztetettség esetére érvényesek. A zárójelben levő számok arra az esetre vonatkoznak, ha a népesség nagy része (pl. magreaktorok közelében) sugárhatásnak van kitéve.

15. táblázat

Az emberi szervezet Cs^{137}-tartalma

(Marinellinek és Millernek 1956-ban végzett kísérletei szerint)

az egész emberi szervezet Cs^{137} tartalma $3\text{-}9 \times 10^{-9}$ curie

Maximálisan megengedhető mennyiség az emberi szervezetben:

9.8×10^{-6} curie

A kettő közötti arány 1: 1000

16. táblázat

Az emberi szervezet stroncium-90 tartalma

(Kulp és társainak 1957-ben a világ minden részéről összegyüjtött 484 csonton végzett kisérleteinek eredménye)

A csont átlagos stroncium-90 tartalma 0.12×10^{-12} curie kálciumgrammonként.

Az Egyesült Államokban 4 éven aluli gyermekeknél 0.40×10^{-12} curie kalciumgrammonként.

Maximálisan megengedhető kalciumbeépülés az emberi szervezetben 1.10^{-6} curie = 10^{-10} curie/kalciumgramm

A kettő közötti arány: 1: 800

Azon a veszélyen tulmenően, amit a hosszuéletü hasadási termékeknek az emberi testbe való beépülése jelent, számitásba kell venni az atomrobbanásokból eredő gammasugárzást is, ami azt jelenti, hogy a népesség egészében sugárveszélynek van kitéve. Ha az atomrobbanások addig folytatódnak, amig az eddigi kisérleti robbantásoknál 1953-ban és 1955-ben elért maximumot ismét elérik, akkor a robbanás következtében szétszóródó részecskékből származó gamma-sugárzás 30 év alatt eléri az 1 r-t, azaz a természetes sugárzás 25 %-át.

Ha a sugárzás okozta ártalmat nem az egyén, hanem az egész népesség szempontjából nézzük, azzal a céllal, hogy a

lehetséges genetikai károsodást felbecsüljük, akkor a 17. táblázatot kell tanulmányoznunk, amely a jelenlegi angliai helyzetre vonatkozik, Különösen szembetünő, hogy a reaktortelepeken dolgozó személyzet milyen kis sugármennyiséget kap. A reaktortelepeken Angliában a sugárvédelmi módszerek rendszeres ellenőrző próbáira vonatkozó eredményeket Farmer közleménye tartalmazza. (British Journal of Radiology 30,1957 p.83).

17. táblázat

Természetes és mesterséges radioaktiv sugárforrások összehasonlitása

Sugárforrás	Átlagos dózis milliradban (ivarmirigyek) egyénenként nemzedékekként (30 év alatt) brit számitások alapján
Természetes sugárforrások	3.400
Mesterséges források	
Röntgensugarak diagnosztikai céllal	700
Foglalkozás közben (más mint reaktortelepen)	50
Foglalkozás csak reaktortelepen	3
Röntgenátvilágitás cipőigazitáshoz	3
Világitó karórák	60
Televizió	30
Atomrobbantási kisérletek	30
Mesterséges sugárforrásokból eredő összes sugárzás, melynek az emberiség ki van téve	876 azaz a természetes sugárzásnak kb. 26%-a

Az eddigi tapasztalatokra támaszkodva belefoghatunk egy egész világra kiterjedő programmba az atomenergia békés felhasználásával kapcsolatban azzal, hogy megfelelő védelemről tudunk gondoskodni nemcsak a reaktortelepeken dolgozó alkalmazottak, hanem a közvetlen környékén lakó népesség számára is. Ilyen szempontból a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság

uj meghatározásait a maximálisan megengedett dózissal kapcsolatban fogadjuk el mértékadónak, mivel a tapasztalat szerint ezek gyakorlatilag megvalósithatók.

(Ford.: Kovács Jenőné)

x x x

A HIDROSZTATIKUS ENERGIA-TÁROLÁS ÉS ATOMENERGIA

ATOM, N° 11, p. 24 (Sept. 1957.)

Kivonat Sir Donald Perrottnak, az UKAEA munkatársának az Észak-skóciai Vizierőművek errochty-i energiaállomásán 1957 julius 7-én tartott beszédéből

Az atomenergia sokak szemében a vizienergia versenytársának tünik az elektromosáram fejlesztésében. Nagy-Britannia esetében, ahol vizienergia csak korlátozott mértékben áll rendelkezésre, ez az eset nem áll fenn; a jövőben az atom- és a vizienergia-programokat együtt fogják kidolgozni.

A hidroelektromos erőmüveknek és az atomenergiaállomásoknak két közös sajátosságuk van: a nagy tőkebefektetés és az alacsony üzemköltség. Amennyiben mód nyilik rá, kivánatos lenne, hogy az atomenergia-állomás állandóan üzemben legyen. Ez a probléma nem korlátozódik csak az atomenergia-állomásokra: az áramszolgáltatás fő célja az 1 kW-ra jutó beruházási költség csökkentése, a terhelés egyenletessé tétele és a terhelési tényező javitása.

A probléma azonban egyre sürgetőbbé válik, mert az atomenergia-állomások az áramfejlesztési kapacitásban hamarosan számottevő szerephez jutnak. Ha az atomenergia-kapacitás 1965-ben eléri az előirányzat szerinti 6.000 MW-t, Nagy-Britannia elektromosáramszükségletének több mint egynegyedét fogja atomenergiából fedezni. Az Egyesült Királyságban

sajnos az elektromos terhelésnek csupán 15 %-a folyamatos; a fennmaradó 85 % alapterheléstől csucsterhelésig terjed.

Feladatok

Sok a teendő, ha nem akarjuk szem elől téveszteni az atomenergia-program hajtóerejét. Az Atomenergia Hatóság azon fáradozik, hogy csökkentse az atomenergia-állomás 1 kW-ra jutó beruházási költségeit és bizunk abban, hogy ez megvalósitható. Másodszor, még többet el lehet érni a hőtárolási fütéssel kapcsolatos kereslet irányitásával, ha kedvezményes tarifát állapitunk meg a csucsterhelési időn kivül. Másik sokatigérő lehetőség a vizemeléses (hidrosztatikai) tárolás, ami a számottevő elektromosenergia tárolásának ma, kereskedelmi szempontból, egyetlen gyakorlati módja.

Ez az a pont, ahol az atom- és a vizienergia fejlesztését közös nevezőre lehet hozni. A Központi Elektromosenergia Hatóság 1961-ben fejezi be a világ legnagyobb vizemeléses tárolójának épitését Blaenau Ffestiniogban, Észak-Walesben: kapacitása 300 MW. A Hatóság most azzal a gondolattal foglalkozik, hogy a vizemeléses tárolóval együtt atomenergia-állomást létesit, de még korai lenne ennek gyakorlati hasznáról nyilatkozni.

Awo-program

A North of Scotland Board is fentihez hasonló jellegü tervvel foglalkozik. Az energiatermelés egy részét, mint csucsterhelést máris Dél-Skóciába szállitja, s az erőmü, amely hivatalosan a mai napon kezdi meg müködését, csucsterhelési állomás, melynek terhelési tényezője 12.5 % körül van. A skót fennsikon bőséges lehetőség nyilik hidrosztatikai tárolási programok megvalósitására, sokkal inkább, mint másutt. A Hatóság megbizást adott az első kisteljesitményü vizemeléses tároló épitésére Argyllshireben. Az Awo-program, melyet a hatóság a hónap elején jelentett be, a blaenau-ffestinioginál is nagyobb teljesitményü vizemeléses tároló létesitését irányozza elő Cruachanban: kapacitása kb. 400 MW lesz, s arra fogják

használni, hogy abszorbeálja az atom- és nagyteljesitményü gőzerőművek többletenergiáját a Loch Awo vizének magas szinten lévő tárolóba való emelésével.

Természetesen sok fog mulni a hidrosztatikus tárolók üzembentartásához szükséges többletáramfejlesztő kapacitásnak és a szükséges távvezetékeknek a költségein. Mindazonáltal jó kilátásai vannak a kettős felhasználásu hidrosztatikus energiatárolók épitésének a következő néhány évtizedben.

(Ford.: Rostás Lászlóné)

x x x

REAKTORKUTATÁS ÉS REAKTORFEJLESZTÉS

ATOM, N° 11, p.15. (Sept. 1957)

C.A.Rennie, a harwelli Atomenergia Kutatóintézet O.I.R. müszaki tanácsadójának tanulmánya az OEEC vezetőségének 1957. junius 25-én Amszterdamban tartott konferenciája számára.

A reaktorkutatás- és fejlesztés területe igen széleskörü, s az eddig végzett munka terjedelme is megneheziti a választást, hogy az erről a tárgykörről irt tanulmány mit tartalmazzon. Általános képet adok tehát arról a kutatási és fejlesztési munkáról, amelyre a közeljövőben épülő reaktortipusoknál szükség van. Kiemelem azt, amiben a reaktorokkal kapcsolatos kutatási és fejlesztési munka az ipari kutatási és fejlesztési munkától eltér és vázolom, hogy ez a speciális probléma mit von maga után.

Azok az alapvető fizikai elvek, amelyeken a reaktorok tervezésének alapulnia kell, közismertek, s eddig már elegendő ismertetés jelent meg ahhoz, hogy a reaktorok tervezése könnyü feladatnak tünjék. Ha a "terv" szó szigoru értelmét tekintjük, annyit jelent, hogy specifikáljuk az anyagok kombinációját, amely a kivánt eredményhez vezet, s ekkor ez a megjelölés helyes is.

A gyakorlatban merülnek fel azonban a tényleges nehézségek, amikor specifikálni akarjuk a terv részleteit és meg akarjuk oldani a velejáró problémákat.

Uj formák

Először is megvizsgáljuk, hogy az atomerőművek tervezése miért sokkal nehezebb a szokásos szén- vagy olajfütésü erőművekénél. Első pillantásra ugy tünik, hogy felhasználhatjuk az utóbbi évek során épitett erőművek tervezésénél szerzett tapasztalatokat és nem fog különösebb nehézségbe ütközni a szokásos kazánck reaktorral való helyettesitése, mivel mindkettő funkciója a hőtermelés. A felelet az, hogy bizonyos uj formákat kellett bevezetni az atomreaktornál, s eddig soha nem ismert problémák merültek fel.

Néhány probléma

Valamennyi probléma közvetlenül a láncreakcióból - ahol a neutronoknak jelentős szerepük van - ered és négy csoportra osztható:

a) a nukleáris sugárzás jelenléte;
b) a neutron-besugárzás hatásai;
c) a szokatlan anyagok alkalmazása;
d) a geometriai konstrukció korlátai;

A maghasadás során neutronok és nukleáris sugárzás keletkezik, ezenkivül, ha a neutronokat a reaktoranyagok abszorbeálták, további nukleáris sugárzás jön létre. Ezek a sugárzások teszik szükségessé a védőfalak létesitését a reaktor körül az ott dolgozók védelmére és ez a tényező megnehezíti a karbantartási munka elvégzését. A nukleáris sugárzás másik hatása, hogy vegyi reakciókat indit el, vagy meggyorsit a reaktorban használt anyagokban.

A másik probléma, a neutronbesugárzás hatása, számos formában jelentkezhet. Például magában a tápelemben, ahol a neutronbesugárzás okozza a maghasadást; a hasadási termékek keletkezése pedig magának a tápelemnek bizonyos deformációjához vezethet. Még

a hasadásra nem képes anyagokban is okozhat a neutronbombázás változásokat, igy az anyag szerkezeti felépitésében, amely ismét fizikai tulajdonságok - szilárdság, vezetőképesség - deformációjához vagy megváltozásához vezethet. Végül a neutronnal történő bombázás az anyagban más hatást is kiválthat: maga a besugárzott anyag is radioaktivvá válhat, ami fokozza a kezelésével járó nehézségeket a reaktorból való eltávolitásakor.

A harmadik probléma, a szokatlan anyagok használata, abból ered, hogy az erőművekben a multban használt anyagok nem minden esetben használhatók az atomreaktorokban, bizonyos alapvető nukleáris fizikai tulajdonságaik miatt. Sajnos igaz, hogy pl. az acél viszonylag nagymértékben nyeli el a termikus neutronokat, s ha nagymennyiségü acélt használnak a reaktormagban, a reaktor nem lesz üzemeltethető gazdaságosan, mivel igen nagymennyiségü hasadó-anyagok alkalmazása válik igy szükségesé. Ha acélt egyáltalában használnak a reaktormagban, mennyiségét minimálisra kell leszoritani, mert minden improduktiv neutronveszteség a rendszer általános gazdaságosságát érinti.

A negyedik probléma, amelyet a reaktor tervezőjének meg kell oldania, a geometriai konstrukció korlátai. A reaktormag különböző alkatrészeit nem választhatja meg szabadon, ki kell elégitenie az atomfizika követelményeit, mind az anyag mennyisége, mind pedig az anyagnak a reaktorban való magatartása tekintetében.

Reaktortipusok

Nézzük meg először, hogy a közeljövőben milyen reaktortipusok épitésére kerül sor az atomerőművekben. A termikus reaktor magja három fő alkatrészből áll - tápelem, neutronlassitó közeg (moderátor) és hütőfolyadék. A tápelemnek meghasadóanyagot kell tartalmaznia, uránium-235-öt - természetes urániumban fordul elő -, vagy valamely mesterséges uton előállitott hasadóanyagot, plutónium-239-et, vagy uránium-233-at. A tápelem ezenkivül egy-két szaporitó-anyagot, uránium-238-at - a természetes uránium fő alkotórésze -, vagy tórium-232-t tartalmazhat. A leggyakrabban alkalmazott három moderátor-anyag: a nehézviz, a közönséges viz és a grafit; ezeken kivül is vannak még neutronlas-

sitók, mint pl. a berillium. Lehet reaktort épiteni moderátor nélkül is, de ebben az esetben a reaktor gyors reaktorként és nem termikus reaktorként fog müködni.

Hütőfolyadékok

Az a négy anyag, amelyet a leggyakrabban alkalmaznak hütőfolyadékként, a nehézviz, a viz, a széndioxid és a nátrium, bár a két utóbbi anyagra még alternativák is állnak fenn. Például szénsav helyett más gázt, héliumot, vagy hidrogént, nátriumsav helyett pedig más folyékony fémet, bizmutot, vagy bizmut-ólom-ötvözetet lehet használni.

Ha most csak a közeljövő legvalószinübb lehetőségeire szoritkozunk, 16 féle tipusu reaktort lehet létesiteni a négyféle moderátor: nehézviz, viz, grafit, vagy egyik sem, vagy a négy hütőfolyadék, nehézviz, viz, szénsav, nátriumsav, különböző kombinációiból. Ez a lista a gyakorlatban azonban csakhamar a felére csökkenthető. Gyors-reaktoroknál, vagyis olyan reaktoroknál, ahol nincsen moderátor, nagyon valószinütlen, hogy nátriumon kivül valamely más hütőfolyadék számbajönne, s ez máris három lehetőséget kizár. Ha viz a moderátor, nem valószinü, hogy ne viz lenne a hütőfolyadék s ezzel további három lehetőség elesik. Ha a hütőfolyadék nehézviz, akkor nehézviz lesz a moderátor is és ilyenmódon a lehetőségek száma még eggyel csökken. Végül, nem valószinü, hogy viz hütőfolyadék mellett a moderátor nehézviz lenne, kivéve kisérleti reaktorok esetében. Igy összesen nyolc féle reaktortipus marad, melyből 4 nagyteljesitményü, 2 közepes és 2 kisteljesitményü reaktor létesitésére tettek javaslatot.

Az 1. sz. tábla nem azt jelenti, hogy csak nyolc féle tipusu reaktor létesithető, mert a moderátor és a hütőfolyadék néhány kombinációja különböző módon alkalmazható. Például, ha a moderátor és a hütőfolyadék egyaránt nehézviz, készithetünk tulnyomásos reaktort, amelyben a hütőfolyadékot a moderátortól, az utóbbit pedig a tápelemtől elkülönül, de üzemeltethető vizforraló reaktorként is, melyben a moderátor és a hütőfolyadék

1. táblázat

Hütőfolyadék

Moderátor	Nehézvíz	Víz	Szén-dioxid	Nátrium	
Nehézvíz	Kisteljesitm. atomerőmü		Tervezett nagyteljesitm. atomerőmü	Tervezett kisteljesitményü atomerőmü	Nagyteljesitmény: 100 000 ekw-on felül
Víz		Nagyteljesitm. atomerőmü			Középteljesitmény: 50 000 ekw körül
Szén-dioxid		nagytelj. atomerőmü	nagytelj. atomerőmü	tervezett középtelj. atomerőmü	Kisteljesitmény: 20 000 ekw alatt
Nátrium				tervezett középtelj. atomerőmü	

Moderátor és hütőfolyadék kombinációinak jelenlegi terve az atomerőmüvek számára

össze van keverve, vagypedig tényleges homogén reaktor formájában is, melyben a tápelem a moderátorral és a hütőfolyadékkal keveredik.

Hőmérsékleti viszonyok

A gázzal hütött grafit moderátoros reaktor 400 C^{o} körüli közepes, vagy 600 C^{o} feletti magas hőmérsékleten müködtethető. A tápanyag a két esetben valószinüleg nem lehet azonos-tipusu a különböző hőmérséklet miatt, melyet ki kell állniok. A másik tényező, ami növeli a felállitható reaktorfajták számát, a dusitott uránium tápanyag, vagy a jövőben felhasználásra kerülő mesterséges hasadó-anyag, a plutónium-239 és az uránium-233 alkalmazásától függ.

A moderátor és a hütőfolyadék fenti nyolc kombinációjából két reaktor képviseli a legfejlettebb tipust: egyik a nagynyo-

másu vizreaktor, viz moderátorral és hütőfolyadékkal, a másik pedig a gázhütési reaktor, grafit moderátorral és széndioxid hütőgázzal. Mindkettőt addig a pontig fejlesztették, amikor már a nagyteljesitményü reaktor prototipusa megépithető. A további hat tipust most szerkesztik a világ különböző pontjain, de még nehéz lenne felbecsülni fejlettségi fokukat.

Biztonság

Eddig nem foglalkoztam a biztonság kérdésével. Nem mintha nem lenne fontos, sőt döntő fontosságu probléma és nagy körültekintést követel a tervezőtől. Sir John Hinton stockholmi előadásában (Axel Johnson, 1957.) hangsulyozta, hogy a tervezők többet tanultak balsikereiken, mint eredményeiken, de rámutatott arra is, hogy a reaktorszerkesztésben nem szabad hibának előfordulnia. A tervnek konzervativnak kell lennie, bár ez emeli az épitési költségeket, a kutató és fejlesztő munkának pedig egyik főfeladata a reaktor épitési költségeinek csökkentése; a legszigorubb biztonsági elvek szemelőtt tartása mellett.

Fejlődési fokok

Mérlegeljük a reaktorrendszer szerkesztéséhez szükséges különböző fejlődési fokokat. A reaktorkutatás- és fejlesztés programjában az első lépés a rendszer alapvető nukleáris terve. Ehhez alapvető nukleáris adatokra van szükség. Az adatok legnagyobb része rendelkezésre áll, a következő feladat tehát a még fokozottabb pontosságu mérések elvégzése, de ugyanakkor el kell végezni egyéb, nem alapvető fontosságu mennyiségek mérését is, mert jelentőségük az alapvető nukleáris karakterisztikák módszereinek vagy a reaktorrendszer kiszámitásának fejlődésével párhuzamosan nő. Mielőtt a tervezők elvégzik a részletes számitásokat, meg kell vizsgálniok a reaktorrendszer problémáit a technológiai fejlesztéséért felelős személyekkel együtt, hogy megbizonyosodjanak arról, hogy a javasolt terv mind elméleti, mind pedig gyakorlati szempontból kivitelezhető-e.

Speciális követelmények

A szokásos követelményeken felül a tervezőnek bizonyos

speciális követelményeket is figyelembe kell vennie, a méreteket, a formákat, a felhasználható anyagok természetét, tehát mindazt, amit a reaktor magfizikai követelményei irnak elő. A legtöbb esetben a tervezési és az atomfizikai meggondolások között kompromisszumnak kell létrejönnie, mert gyakran szöges ellentétben állnak egymással. Ha egyszer elfogadták az alapvető tervet, olyan munkaprogramot kell kidolgozni, amely megoldja a fennálló problémákat. Ezek a problémák előfordulhatnak a vegyészet, a fizika, a szerkesztés, a kohászat, vagy az alkalmazott technológia területén.

Ha a rendszer nukleáris szempontból egyszerü, s hasonló valamely megépitetthez, akkor is el kell végezni a kisérleteket a javasolt rendszer magfizikai karakterisztikáinak ellenőrzése érdekében. Ennek egyik módja a javasolttal azonos geometriai alaku reaktor szerkesztése, azonos, vagy egyenértékü anyagokból, s ezt a reaktort csekély energiával, mindössze néhány wattal üzemeltetni kell. Ezzel a módszerrel, amit nullenergia-kisérletnek neveznek, igen pontos méréseket lehet eszközölni az atomfizikai karakterisztikákra vonatkozóan. A csekély energiával dolgozó reaktornál nincs szükség semmiféle hőelvezető rendszerre, s ez nagymértékben leegyszerüsiti a reaktor szerkesztését, de mert müködő reaktorról van szó, az ellenőrző és biztonsági rendszernek ugyanolyannak kell lennie, mint az energiareaktornál. Ez ugyan növeli a kisérlet költségeit, de lehetővé teszi az ellenőrzési és biztonsági rendszer alapvető elveinek kisérleti uton való rögzitését.

Az alkatrészek fejlesztése

A rendszer atomfizikai karakterisztikáinak ellenőrzésével kapcsolatos kisérlettel egyidejüleg kell megszerkeszteni a reaktorrendszerben alkalmazásra kerülő különböző alkatrészeket, mert az alkatrészek helyes szerkesztése szabja meg a reaktor megbizható müködését; a biztonságos üzemeltetés pedig döntő feladat. Még a legegyszerübb tipusu alkatrésznek is számottevő fejlesztésre van szüksége, mielőtt sor kerülhet a reaktorrendszerben való alkalmazására. Lehetőleg kerülni kell a mozgó alkatrészek

beépitését a reaktor magjába, de erre néha mégis sor kerül. Felmerülhet pl., hogy a reaktorban valamilyen formában vezérlőrud irányitásához szükséges csapágyat kell beiktatni. A reaktoron kivül ez nem jelentene semmilyen problémát, mert itt bármilyen normális tipusu csapágy felszerelhető. A reaktoron belül azonban más a helyzet. Az olajat például a neutronbesugárzás gyorsan karbonizálja; tehát olyan csapágyat kell alkalmazni, amelynél nem olaj a kenőanyag. Ha a csapágy a folyékony hütőáramban van, magát a hütőanyagot kellene kenőanyagként felhasználni. A másik tényező a rádióaktivitás, ami kihat az alkatrészek konstrukciójára, mert minden hütőfolyadékban, sőt magában az anyagban is sugárzás jön létre. Ez egyuttal azt is jelenti, hogy a fenntartási munka elvégzése eltér a szokottól.

Uj anyagok

A reaktorok esetében a szokásos szerkesztési technikának reaktorviszonyokra való alkalmazásából eredő komplikációk mellett, vannak esetek, amikor szükségessé válik uj anyagok kialakitása. A gázhütésü grafit-moderátorral készült reaktor számára az oxidációnak ellenálló magnéziumötvözetet, a nagynyomásu vizzel hütött reaktor céljaira pedig a viz korróziójának ellenálló cirkóniumötvözetet kell találni. Az olyan ötvözetek előállitása, figyelmen kivül hagyva és figyelembe véve a neutron-besugárzás hatását is, tulajdonságaikra vonatkozó hosszadalmas mérésekkel járnak.

A technológia speciális területét fejlesztették tovább a sugárzások hatásának tanulmányozására folytatott kisérletek során. A kisérletek lehetnek egyszerüek, amikor az anyagot a reaktor kisérleti kamrájába helyezik, vagy elvégezhetők külön hütőkör-berendezésekben, melyekben gondoskodnak pl. arról, hogy a kisérleti anyagon hütőfolyadék cirkuláljon, s a kisérlet bármilyen kiválasztott hőmérsékleten lefolytatható legyen. A reaktorban végzett egyszerü kisérlet célja, hogy a kisérleti anyagba ismert mennyiségü sugarat bocsássanak, majd miután ki-

vették a reaktorból normális laboratóriumi feltételek között méréseket eszközöljenek, természetesen megtéve minden óvintézkedést a radioaktivitás ellen. A folyamat továbbfejlesztése lenne, ha a kisérletekhez szükséges mérőberendezést, beépitenék a kisérleti kamrába, amelyet a reaktorban használnak. A hütőkör-vizsgálatnál a minta-tápelemhez hütési rendszer, a rostélyok anyagának korróziós vizsgálatához cirkuláló tápanyag áll rendelkezésre, s a berendezés éppen ezért sokkal komplikáltabb. A komplikáció miatt és hogy a kisérleti reaktornál elkerüljük a baleseteket, az első lényeges teendő a hütőkörnek a reaktoron kivüli kipróbálása, a kisérlet sima és megbizható lefolytatása érdekében, mig végül is a reaktorba helyezik. Komplikáltabb hütőkörök szerkesztése és épitése kb.egy évet vehet igénybe, másik évre van szükség a reaktoron kivül végzett kisérletekhez, a reaktorba való beszereléshez és ellenőrzéshez.

Hőátvitel

A gázhütési és grafit moderátoros reaktor esetében egyike a legfontosabb problémáknak a tápelem - amelyben hőt fejlesztenek - és a gáz - amely a hőt elvezeti - közötti hőátvitel megoldása. A hőelvezetőt tovább kell javitani a sima cső által adott lehetőségeken, a cső a tápelem optimális nukleáris alakja. Sokat kisérleteztek nagyobb felszin kialakitásával, azzal az eredménnyel, hogy megszerkesztették a jelenleg használatos kerületi bordázatot. A bordázott töltényeket olyan hütőkörben próbálták ki, amelynek nem kell feltétlenül a reaktorban lenni. Az egyik hütőkört atmoszferikus nyomás alatt müködtették és a hütőgáz levegő volt. A hütőkörben vizsgálták meg, hogy melyik bordázási tipus alkalmazása biztat a legnagyobb eredménnyel. Az ilyen jellegü berendezésben azonban nem sikerült megteremteni a megfelelő feltételeket, - amelyek a reaktorban széndioxid és 7 atm. nyomás mellett fennállnak - ezért további hütőköröket épitettek. A hütőkörökben széleskörü vizsgálatok sorozatát végezték el, megfelelő alaku bordázatot és elektromos fütést alkalmazva.

A fáradozások eredményeképpen sikerült specifikálni a bordázott töltényekből a hőátvitel legmegfelelőbb feltételeit és ezeknek a bordázat különböző tipusaira vonatkozó magfizikai számitásokkal való kombinációja alapján lehetővé vált az optimális feltételek kiválasztása.

A gázhütési grafit moderátoros reaktornál a másik probléma a hütőközeg - ebben az esetben széndioxid - és a grafit moderátor valószinü reakciója. A kisérleteket legelőször az atommáglyán kivül hajtották végre a grafit és a széndioxid közötti reakció sebességének mérése, valamint sugárzás jelenléte nélkül a szénmonoxid koncentráció megállapitása céljából. Amint várható volt, a sugárzás hatására meggyorsult az egyébként lassu reakció, s magában a reaktorban is végre kellett hajtani a kisérletet. A kisérletekhez csöveket vezettek át a reaktorokon, amelybe kisérleti grafitot helyeztek, az áramkör körül széndioxid cirkuláltatására szolgáló müszerrel együtt. Gondoskodtak a széndioxid hütéséről és fütéséről is, hogy a reakciót különböző hőmérsékletek mellett tanulmányozzák. Mivel a széndioxid és a grafit reakciós sebessége még sugárzás jelenlétében is nagyon kicsi, speciális módszereket kellett kidolgozni a kisérleti grafit sulygyarapodásának ill. veszteségének mérésére. Nem lehetett mindig olyan nagy neutronfluxus mellett elvégezni a kisérletet, mint amekkora a fluxus a reaktorban, a kisérleteket ettől eltérő fluxusok mellett hajtották végre és extrapolálták a reakció fluxusfüggésére vonatkozóan. Hosszu éveken keresztül folytak és még most is folynak ezek a kisérletek, de már müködnek ilyen tipusu reaktorok és az eredmények hamarosan várhatók.

A tápelem-tok perforációja

Annak ellenére, hogy mindent elkövettek a lehető legtökéletesebb tápelem kialakitására, még mindig fennáll az a lehetőség, hogy a tok perforálódik és az uránium felülete a hütőfolyadékkal érintkezésbe kerül. Ezért a hütőfolyadék és a tápanyag oxidációs sebességére vonatkozó méréseket különböző hőmérsékleteken el kell végezni. Ugyanakkor a meghibásodás megállapitására alkalmas különböző módszereket kell kidolgozni.

Néhány reaktortipus esetében feltétlenül és a lehető leggyorsabban meg kell tudnunk, hogy meghibásodott-e valamelyik tok. Minél gyorsabban állapitható meg a meghibásodás, annál kisebb a valószinüsége annak, hogy az egész hütőfolyadék rádioaktiv hasadási termékekkel szennyeződik be. Mielőtt ez megállapitható lenne, már fellép a hasadási termékek szivárgása, tudnunk kell tehát, hogy az üzemeltetés különböző tervezett hőmérsékletei mellett mekkora az oxidáció sebessége, s a mérőkészüléket ugy kell megszerkeszteni, hogy az jelezze a meghibásodást még a hütőfolyadék nagyobb mérvü beszennyeződése előtt. A bajtokozó tápelem azután eltávolitható a reaktorból.

A tok meghibásodása

Bár a burok meghibásodásával állandóan számolni kell, a cél változatlanul az, hogy ezt elkerüljük, és ezért van szükség a sugárzás alatt álló tápelem magatartására vonatkozó kisérletekre. Természetes urániumérc tápelem esetében például a sugárzás folyamatában megváltoznak annak fizikai tulajdonságai is. Ha az uránium nagy szemcsékből áll, a szemcsék sugárzás idején növekedésre hajlamosak és a növekedés a szemcsék elhelyezkedésének irányában következik be. Ez nagy egyenetlenségeket okozhat az uránium felületén, ami viszont kilyukasztathatja a tokot. Kitünt azonban, hogy ha eléggé csökkentik az urániumszemcsék méretét, ugy a növekedés iránya statisztikus eloszlásu és csupán a toktérfogat növekedését, nem pedig a felületi szabálytalanságok kialakulását eredményezi. Az urániumkristály struktúrájának változása kihat a szilárdságára és megállapitották, hogy az uránérc folyásállósága a sugárdózistól és természetesen a hőmérséklettől függ. A kisérlet egyik módja, hogy urániumból rugót készitsenek, amit a reaktorban sugárzásnak vetnek alá és lemérik a rugó rugalmasságának változását a sugárzás folyamán. Ez a módszer értékes tájékoztatást nyujt az urániumfolyásállóságáról.

Bemutattam néhány példát a gázhütésü grafit moderátoros reaktor épitésével kapcsolatos kutatási és fejlesztési munkára vonatkozóan, de meg kell emlitenem, hogy bármely más reak-

torrendszer esetében hasonló munkára van szükség. A nagynyomású vizreaktor esetében pl. ki kell dolgozni a hőátvitel problémáját, a hütőcsatornában a forrás lecsapódásának tanulmányozása céljából. Hasonlóképpen ki kell dolgozni a tokok anyagának, esetleg a cirkóniumötvözetnek, vagy az acélnak a vizzel való korróziójára, valamint a nagynyomásu vizáramhoz szükséges speciális vizkiemelőre - melynek lényegében szivárgásmentesnek kell lennie - vonatkozó adatokat. Gyors reaktor és nátriumhütésü grafit moderátoros reaktor esetében a nátrium hütőközegként való alkalmazásának egész technológiáját tanulmányozni kell. A reaktorszerkesztésben meglepetést jelent, hogy a nátrium alkalmazása milyen kevés nehézséggel járt.

Reaktor-technológia

A reaktorrendszer fejlesztésével kapcsolatos ismereteink jelenleg gyorsan bővülnek és remélhető, hogy a jövőben már nem lesz szükség a mostanihoz hasonló széleskörü kutató és fejlesztő munkára az atomreaktorok méretezésénél. A reaktor technológiájának területe abban különbözik más technológiától, hogy a létesithető rendszerek száma igen nagy, s először valamennyi technikai szempontból megoldhatónak és gazdaságosság szempontjait tekintve, kivitelezhetőnek látszik. Amig a különböző rendszerek kutatási és fejlesztési munkáját nem végezték el, nem lehet megállapitani,valójában melyik rendszer a legkedvezőbb.

Világos célkitüzés

A kutatás és a fejlesztés célja minden reaktorrendszerben elég világos. Első lépés az ötletek, amelyek nagyszámban állnak rendelkezésre. A következő lépés az ötletek átrostálása és a problémának egy-két célkitüzésre való koncentrálása, melyek megérdemlik a kutatásra és fejlesztésre forditott nagy erőfeszitéseket. Ekkor következik a kutatás és fejlesztés aránylag költséges szakasza, amely együttjár a bonyolult és költséges müszerek, kisérleti reaktorok, vagy hütőkörök szerkesztésével. Ebben a szakaszban döntik el, milyen szinten fog folyni a munka, vagyis kisérleti reaktor készüljön-e demonstrációs célra, a

technikai előnyök kiaknázása nélkül, vagy reaktor-prototipus készüljön. Ha kisérleti reaktorra esik a választás, lehetőség nyilik arra, hogy amennyiben sikerül a kisérlet, folytatni lehet az épitkezést és életre lehet hozni a nagyteljesitményü reaktort anélkül, hogy előbb kialakitanánk a reaktor prototipusát.

A szellemi és anyagi ráforditás mértéke

Nagy segitségnek bizonyulna, ha valaki meg tudná mondani, hogy a reaktorrendszer épitéséhez pontosan mekkora szellemi és anyagi ráforditásra van szükség, de ez egyelőre sajnos lehetetlen, mert sok függ a fentebb felsorolt technológiai problémáktól. A kisérleti reaktor kutatási és fejlesztési munkájának elvégzéséhez durva becslés szerint egy szellemi munkás (atomfizikus vagy más szakember) 500-1000 évi munkájára van szükség. Ebben a munkában természetesen a segédszemélyzetnek is részt kell vennie, s ha sor kerül a nagyteljesitményü reaktor-kiépitésére is, a kutatási és fejlesztési munka a fenti becslésnek két- háromszorosát is elérheti.

Jelenleg Európában hiány van kisérleti reaktorokban, de ez a fázis remélhetőleg csak átmeneti. A reaktorok alkalmazásával kapcsolatos hatalmas tudományos és müszaki erőfeszités néhány éven belül megszünteti ezt a hiányt, viszont lehetséges, hogy akkor olyan szakképzett munkásokban fog munkaerőhiány mutatkozni, akik az üzemeltetés munkáját hatékonyan tudnák ellátni.

x x x

(Fordi: Rostás Lászlóné)

MIKOR LESZNEK GAZDASÁGOSAK AZ ATOMERŐMÜVEK ?

A gázhütésü reaktor kilátásai

Dr. W. Junkermann

Die Atomwirtschaft, Jg III., N° 3, S. 96 (März 1958)

Atomenergiaprogramok

Nagybritannia 1965-ig összesen 6000 MW teljesitményt képviselő, több reaktort szándékszik üzembehelyezni. Franciaországban az üzembehelyezendő reaktorok összes teljesitményét 2500 MW-ra tervezik. A Montanunióhoz tartozó hat ország atomerőmüvekből előállitandó energiaszükségletét az elkövetkezendő 10 évre 15000 MW-ban állapitották meg. A Német Atombizottság programok szerint 1965-ig felállitandó reaktorok teljesitményét 500-1500 MW-tal irányozták elő. Ezek a számok arra utalnak, hogy az atomreaktorépités már rövid időn belül gazdasági jelentőségüvé fog válni.

Franciaországban és Nagybritanniában a különböző tipusok közül a grafittal moderált, gázhütésü reaktort helyezik előnybe. Az ottani várakozások szerint ez a reaktortipus fog leghamarabb gazdaságosan elektromos áramot termelni. A Szövetségi Köztársaság eddig még nem döntött egy bizonyos reaktortipus mellett. Az a nézet alakult ki, hogy az elkövetkezendő évek folyamán, amig az atomerőmüvek áramtermelése még nem gazdaságos, dolgozzanak ki különböző, jónak látszó rekordtipusokat s amikor ezek már gazdaságosan müködnek, látni fogják, melyik tipus a legjobb.

A gazdaságosság előfeltételei

Az ilyen módon történő fejlesztés szétforgácsoltsága bizonyos veszélyt rejt magában. Elképzelhető ugyan, hogy később különféle tipusu reaktorok müködése gazdaságossá válik. Az azonban, hogy minél hamarabb lehessen eljutni egy gazdaságos áramtermelést biztositó atomerőmürendszerhez, nemcsak a

reaktor elvének megválasztásától függ. Sokkal inkább és erős mértékben függ az eredmény attól, hogy milyen anyagi eszközök állnak a fejlesztés rendelkezésére.

Érdekesen nyilatkozott erre nézve J.M. Kay professzor az 1956. évi Calder-Hall szimpoziumon (5):

"Meglepő, milyen sokan hittek abban, hogy alig kell pár lépést tennünk és máris valami jobbat találunk. De azok, akik az Egyesült Királyságban valóban foglalkoztak atomenergiafejlesztéssel, tudták, hogy haladást ezen a téren csakis azon az áron lehetett elérni, hogy tervezőmérnökök jól megszervezett gárdáját kellett állandóan, kitartóan bevetni s ezek az emberek munkájukat mindenkor egyetlen terv megvalósitására összpontositották."

Tekintetbe kell venni azt is, hogy a tápelemek előállitási és feldolgozási módja erősen befolyásolja az elektromos áram árát. Általában különféle fajta reaktortipusoknál különböző tápelemeket fognak alkalmazni. Lehetséges, hogy az a feldolgozási eljárás, mely az egyik tápelemfajtánál különösen megfelelő, egyáltalában nem alkalmas másfajta tápelemeknél. Csak ugy állapithatjuk meg, hogy létezik-e igazán gazdaságos reaktor, ha nemcsak a reaktorfejlesztés fut más-más vágányon, hanem a "meleg kémia", a technológia stb. fejlesztése is.

Az atomerőmüvek majdnem minden részének előállitása olcsóbbá tehető, ha az egyfajta berendezésekből sokat gyártanak. Ez egészen természetes, ha meggondoljuk, mennyibe kerül egy-egy ipari üzem átállitása uj gyártmányokra és hogy minden uj mühely és felszerelési berendezés csak akkor kifizetődő, ha egyidejüleg teljesen ki van használva.

Nemcsak atomerőmürészek előállitásánál, hanem és különös mértékben az üzemanyag előállitásánál és feldolgozásánál is kell egy bizonyos minimális áthaladó mennyiség ahhoz, hogy az üzem gazdaságos legyen. A Calder-Hall tipusu reaktorok tápelemei esetében a szükséges feldolgozandó mennyiség évi 1000-2000 tonna uránium, amely 2500-tól 5000 MW-ig terjedő folyamatos erőmüteljesitménynek felel meg. Minthogy Angliában

ezt a teljesitményt teljesen azonos, vagy hasonló tápelemekkel rövidesen el fogják érni, itt nemsokára az áramtermelés gazdaságosságával is számolni lehet.

Szembeötlő a különbség a német, az angol és a francia reaktorprogramm között. Ezt a különbséget a különböző gazdaságpolitikai előfeltételek magyarázzák. Angliában és Franciaországban állami szervek döntően befolyásolták a fejlesztés menetét. Kevés az összpontositott kutatótelep s az atomerőműveket az állam vásárolja meg. Ilyen előfeltételek mellett aránylag könnyen alakulhatott ki egységes irányvonal. Emellett nemcsak a továbbfejlesztést, hanem egyszersmind több, nagyjából egyfajta reaktor épitését is elősegitették. Ez az államtól kiinduló biztatás előmozditotta magán-atomipar kiépitését és igy elősegitője volt az elért eredményeknek.

A Szövetségi Köztársaságban reaktorfejlesztés terén nem ilyen erőteljes az állam anyagi támogatása s ez megnyilvánul abban, hogy ezen a téren a német fejlődés lassan indul meg. Természetesen most komolyan hozzáláttunk az atomerőmüfejlesztés előmozditásához. Egy iparilag olyan magas szinten álló nemzet számára, mint Németország, az áramtermelés távlati biztositása életfontosságu kérdés.

Egyelőre anyagi támogatást csupán a továbbfejlesztésre szolgáló berendezések számára szándékoznak nyujtani, ami természetesen igen fontos. Fizikus vagy mérnök szempontjából egyes reaktorcsoportoknak egyre nagyobb teljesitményre és gazdaságosságra való felfejlesztése természetesen a legcsábitóbb feladat.

A más országokban tapasztalható fejlődés azonban felkelti bennünk azt a gondolatot, hogy a technika mai állásán alapuló atomáramfejlesztőtelepek felépitését is célszerü meggyorsitani. Csak igy tudja az ipar megfelelő beruházásokkal biztositani azt, hogy idejében és előnyös áron szállithasson. A fejlődés csak akkor halad tovább az egyelőre csupán magángazdaságilag kedvező uton, ha nemcsak egyes reaktorok, hanem az idevágó egész gazdálkodás terén, hogy ugy mondjuk, "szuperkritikus" állapotba jutottunk. (Egy reaktor akkor vá-

lik szuperkritikussá, amidőn a láncreakció önfenntartóvá válik, azaz a reaktort müködésben tartja anélkül, hogy kivülről neutronhozzáadás utján táplálnák).

Miután a nagy atomerőmüvek élettartama hosszu, a konvencionális és az atomenergia közötti költségösszehasonlitásra egy jövőbeli, 10-15 évvel későbbi időpontot kell kiválasztani. Ha a gazdaságosság megitélésénél ezt az időpontot vesszük alapul, ugy kiszámithatjuk a még csak azután felépitendő, Calder-Hall-tipusu atomerőmüvek gazdaságosságát is. Ez az eset áll fenn legalábbis akkor, amidőn a nukleáris áramtermelési költségeket pótlólag importált amerikai szénből nyert áram költségeivel vetjük egybe. Minthogy a német szén már régen nem elegendő szükségleteink kielégitésére, máris igy számolhatunk, amidőn arról van szó, hogy további szénnel táplált erőmüvek helyett uj atomerőmüveket épitsünk.

Szerző nézete szerint ezenfelül továbbfejlesztés szempontjából éppen a gázhütésü grafittal moderált reaktorok igen jó lehetőségeket nyujtanak. Erre angol részről ismételten rámutattak.

Ha feltételezzük, hogy Németországban a közeli évek folyamán egy modern kivitelü Calder-Hall-tipusu atomerőmüvet épitenek, körülbelül a következőképpen oszlanak meg az áramköltségek:

berendezésköltségek értékcsökkenése	57 %
üzemanyagköltség	30 %
egyéb üzemi költség	13 %.

Tulnyomó részt képvisel tehát a befektetett tőke kamatköltsége. Ezért minden olyan intézkedés, mely ezt a tételt csökkenti, különösen hatékonyan esik latba.

A Calder-Hall-tipusnál fennálló fejlesztési lehetőségek

1.) A reaktor nyomótartály falvastagságának növelése

A Calder-Hall-i berendezés nyomótartályát 2" falvastagságra épitették. Az angol Berkeley-i, Bradwell-i, Hunterston és Hinkley Point-i erőmüveknél már 3" a reaktor nyomótartályának

falvastagsága. Technikailag kétségkivül van lehetőség 5"-ig menő falvastagságra. Ezáltal ugyanazon reaktorméret mellett növelni lehet a hütőgáznyomást és ugyanolyan nyomás mellett növelni lehet a reaktor méreteit. Mindkét eljárással növekszik a tápanyagrudak közepes hőterhelése, az u.n. "Rating" (MW/nap), Ennek megfelelően csökken a tőkekamat és az áramköltség is.A hütőgáz nyomásának növekedésével a reaktor teljesitménye 2/3-dal hatványozódik. Pl.. ha kétszeresre emelkedik a nyomás, ennek megfelelően a teljesitmény körülbelül 60 %-kal növekszik. Ha növeljük a reaktor nagyságát, ez lehetőséget ad arra, hogy a neutronfluxusgörbét középen jobban ellapositsuk s ezáltal a középső neutronfluxust, valamint az egy tápelemre eső közepes hőkitermelést emeljük. A teljesitménynek ez a fokozása 100 és 232 % között valósitható meg elméletileg, a maximális érték azonban csak matematikai jelentőségü. Ezenkivül nagyobb reaktorban kisebb neutronveszteség árán lehet a hütőcsatornákat egymáshoz közelebb elhelyezni, mint ahogy ez maximális reaktivitás eléréséhez szükséges, s igy egy és ugyanazon reaktortérben több hőfejlesztő tápelemet tudunk elhelyezni. Ezenfelül nagy reaktorokban a rendszer nagyobb reaktivitása következtében a tápelemeknél jobb kiégést is érhetünk el.

2.) Finomabb acél alkalmazása a nyomótartályhoz

Calder Hallban a nyomótartályokat aluminiummal redukált, 0,12-0,16 % szén-, 1,00-1,20 % mangán, 0,045 % maximális kén-, 0,045 % maximális foszfor- és 0,07 % aluminiumtartalmu (Si-t nem tartalmazó), 41 - 47 kg/mm^2 szakitási szilárdságu (Lowtem márkáju) acélból készitették. Megvan a lehetőség arra, hogy megfelelő, finomabb acél alkalmazásával a reaktor magasabb nyomásokat és ezaltal nagyobb terheléseket is kibirjon.

3.) A tápanyag hőfokának emelése

Az első Calder-Hall reaktorban a tokok maximális hőfoka üzem közben 408 C°. Az ujabb angol erőmüveknél 420 és 450 C° közötti hőmérsékletekről számolnak be. Remélik, hogy hasonló, magnéziumötvözetekből készült tokok alkalmazásával 475 C°-os hőmérsékleteket is el lehet érni. További, 550 és 600 C°-ig

menő hőmérsékletemelkedést a tápelemek berilliumötvözetekből készült tokok alkalmazásánál fognak tudni kibirni. Ez az anyag eddig bizonyos nehézségeket támasztott, de ezek rövidesen leküzdhetők lesznek. A "Nuclear Power Year Book 1957/58" erre nézve a következőket jegyzi meg:

"A fejlődés terén legjelentősebb valószinüleg a berilliumnak tokanyagként való alkalmazása. Állitólagos hátrányai: rossz képlékenység, nehezen hegeszthető, drága és az egészségre ártalmas; ezeket a hátrányokat azonban az elkövetkező két-három év folyamán valószinüleg ki fogják tudni küszöbölni."

Ha a tokok hőmérséklete emelkedik, nagyobb lesz a hőmérsékletkülönbség a hütőgázhoz képest, s igy az egyébként nem változtatott reaktorból nagyobb mennyiségü hőt lehet elvezetni. Ezáltal a kilowattonkénti beruházási költség egész tekintélyes mértékben csökken. Továbbá, ha rövidebb az idő, ugy a reaktorba ugyszólván beraktározott tápanyagra arányosan kevesebb kamatköltség esik. Magasabb teljesitménynél a reaktor üzemeltetési költségei is csökkennek, mert hiszen közben a reaktor személyzetlétszámát alig kell emelni. Tájékozásul: a tokhőmérsékletnek 400 C°-ról 550 C°-ra való felemelése körülbelül megkétszerezi a reaktor teljesitményét.

4.) Áttérés keramikus üzemanyagra

Különböző okoknál fogva a Calder-Hall-tipusu tökéletesebb kivitelü reaktoroknál ajánlatos az üzemanyagot keramikus alakban, esetleg urániumkarbid alakjában alkalmazni. Adott esetben szóbajöhet némi dusitás hasadóanyagban, de ez olyan kismérvü hasadóanyagtöbbletet jelent, hogy a felhasznált természetes urániummennyiséghez viszonyitva latba sem esik.

Ha eddig 3000 megawattnap/tonna a valószinü kiégés, ugy keramikus üzemanyag alkalmazásánál várható, hogy ez az érték 6000 megawattnap/tonnára emelkedik. Ez azt jelenti, hogy a jobb kiégés következtében mintegy a felényire csökkennek az üzemanyagköltségek. Ez olyan nagy előny, hogy gazdaságosság szempontjából már most teljesen igazolni látszik mind a drágább keramikus

üzemanyagok, mind pedig drágább tok-anyag alkalmazását.

5.) Tápanyagcsatornák alakjának javitása

A gyakorlat azt mutatta, hogy gázhütésü reaktor teljesitménye pusztán hőtechnikai eljárások segitségével is döntően növelhető. Erre példa Calder Hallban a hütőbordák keresztirányu elhelyezése. Több más módszer is ismeretes, melyek által egy hütőcsatorna hőleadása, - a nyomásveszteség emelkedése nélkül, - jelentősen növelhető, miközben sem a bevitt üzemanyag mennyisége, sem a megengedett hőmérsékletek nem változnak. Ez lehetséges például olymódon, hogy a hütőcsatornát helyenként kiszélesitik és csak ott szükitik nagyon össze, ahol káros tokhőmérsékletek elkerülése céljából feltétlenül szükség van a legmagasabb hőátmeneti értékre; vagy elérhető a nagyobb hőleadás olymódon is, hogy a tápcsatorna veszélyeztetett részében, részben már kiégett rudak behelyezésével csökkentik a neutronfluxust.

Enyhén dusitott üzemanyag alkalmazásával lehetséges egyenes vagy hajlitott lemezekből készült elemformákat kialakitani: ezek még inkább növelik a hőterhelés lehetőségét.

6.) Áttérés más hütőgázokra

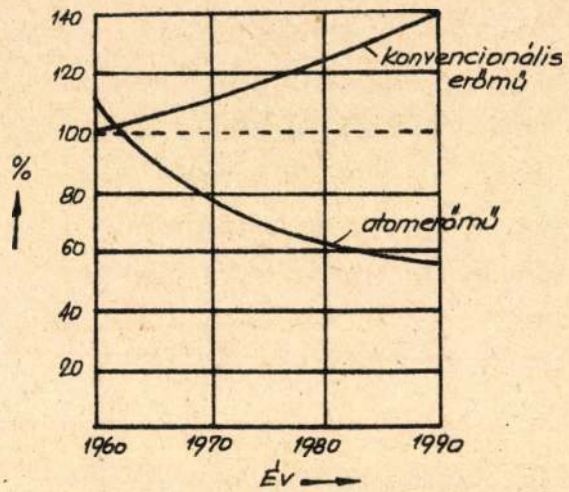
Bizonyos előfeltételek mellett egyszer maj át lehet térni a széndioxidnak más gázokkal, esetleg héliummal vagy hidrogénnel való helyettesitésére. Hidrogén-hütés esetén a reaktor teljesitménye egyébként azonos feltételek mellett körülbelül megkétszerezhető. Alkalmazását egyelőre az anyaggal kapcsolatos technikai nehézségek akadályozzák.

7.) A gőzfolyamat javitása

Számolhatunk azzal, hogy a gázhütésü atomerőművekben lejátszódó gőzdinamikai folyamatok hatásfoka az évek folyamán sokat fog javulni. Amidőn magasabb az üzemanyag hőfoka, magasabb lehet a gáz hőmérséklete is, ami előnyösen hat ki az erőmü termikus hatásfokára.

8.) Áramköltség

A vázolt lehetőségek figyelembevételével előre kiszámithatjuk egy grafittal moderált, gázhütésü atomerőmü esetében az áramköltség alakulását (lásd 1. ábrát). Az ábra összehasonli-



1. ábra

Grafittal moderált, gázhütésü atomerőmüvek és szénüzemü erőmüvek várható áramköltség-alakulása 1960-1990 között

tásképpen szénüzemü erőmüvek áramköltségeinek valószinü alakulását is feltünteti, angol viszonyokra vonatkoztatva, de lényegében a további németországi fejlődésre nézve is jellemzőnek tekinthető. Az atomáram árgörbéje több száz megawatt elektromos teljesitményü, állami erőmüvekre érvényes.

De nem kell azt hinnünk, hogy kis teljesitményeket ne lehetne ugyancsak gazdaságosan elérni gázhütésü reaktorok segitségével. Ha a dusitott hasadóanyagra és a kémiai feldolgozásra a ma ismeretes költségeket vesszük alapul, azt látjuk, hogy atomáramot kisebb gázhütésü reaktorokkal is előállithatunk gazdaságosan. Ennek érdekében különleges alaku tápelemekben magasabb dusitásu üzemanyagot kell majd alkalmazni és egyszersmind, a reaktorban elhelyezett tórium segitségével, az

értékes uránium-233 hasadóanyagot termelni. Ezáltal csökken az uránium-235 fogyasztás, illetve szaporodik a reaktorhulladékokból kinyerhető hasadási termékek mennyisége.

Éppugy, mint a nagy gázhütésü reaktoroknál, itt is meg lesz a lehetőség arra, hogy a hütőkörfolyam mérgezetlen maradjon- Nem is kell áttérni a nyomótartálynál és csővezetékeknél rozsdamentes acélok használatára, - melyeknek szükében vagyunk -, amint ez például vizhütésü reaktoroknál megtörténik. Kisebb vidéki erőmüveknél a legjobb kivitelezés a körülbelül 100 elektromos megawattos lesz, még kisebb teljesitmények esetében azonban az áram ára eleinte csak lassan fog emelkedni. A gázhütésü reaktor jól alkalmazható lesz még hajómeghajtásra is, mert aránylag csekély üzemanyagdusitás is elegendő ahhoz, hogy néhány méternyi átmérőjü gömbalakra képezzék ki és igy viszonylag könnyü.

Távolabbi lehetőségek

A grafittal moderált, gázhütésü reaktor fentvázolt lehetőségeit és ismert előnyeit: - mindenek előtt nagy üzembiztonságát és az egészen kis rozsdásodási veszélyből folyó hosszu élettartamát, valamint erőteljes müködési módját terhelés alatti üzemanyagadagolással párosulva-, figyelembevéve ez a reaktor különösképpen számitásba jöhet a német reaktorprogramm keretében. Megvan az az előnye, hogy a próbát már megállta és igy máris nagy teljesitményekre lehet megtervezni.

x x x

(Ford.: Polgár Teréz)

TÁVFŰTÉS ATOMENERGIÁVAL

John Grindrod

Atomics & Nuclear Energy Vol. 9, N° 5, p. 168 (May 1958)

Amerikai mérnökök távfütés utján épületeket fütenek atomenergiával

Idővel, a mai kazánok helyett, füstmentes atomkazánokkal fütik majd a középületeket, gyárakat és háztömböket; erre enged következtetni a General Electric Hanford atomtelepén, (Richland, Washington) beszerelt távfütési rendszer, melynél nagyméretü, szabadban vezetett központi hőkicserélő berendezés vonja ki a hőt a reaktor kifolyó hütővizéből épületfütési célra.

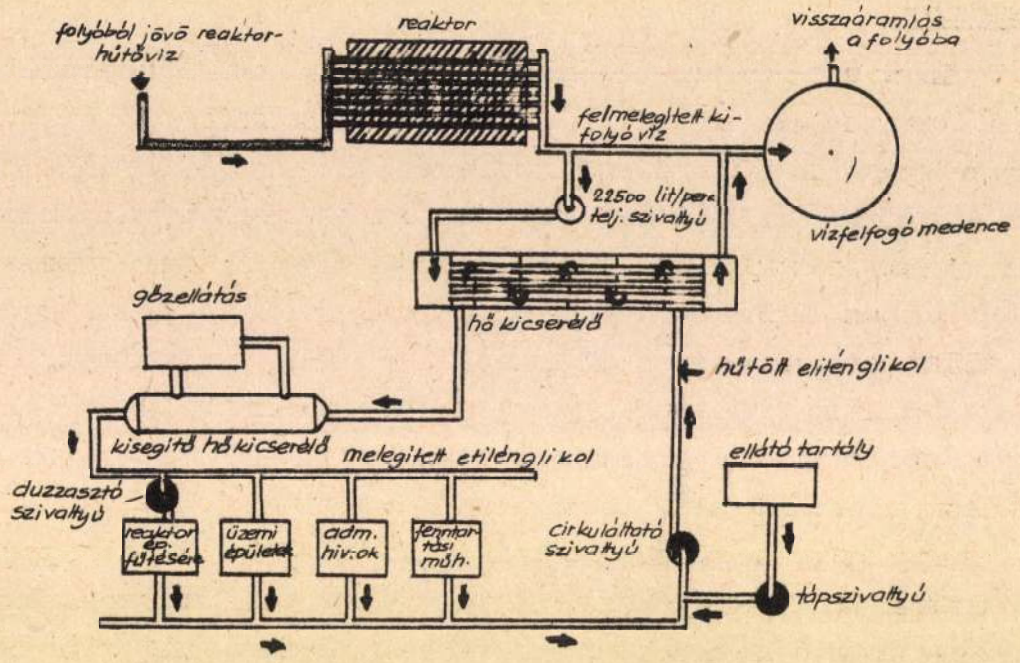
Amig villamos energia fejlesztéséhez nagy hőmérsékletre és nagy nyomásra van szükség, addig távfütés céljára jóval kisebb hőmérséklet és nyomás elégséges és igy az atomfejlesztette hőenergia felhasználásával kapcsolatos problémák megoldása a távfütés esetében nem támaszt annyi nehézséget, mint a villamosenergia fejlesztésénél.

Kárbamenő hőenergia

Mivel a hanford-i reaktorokat plutóniumtermelésre és nem gőzfejlesztés céljából épitették, az egyidejüleg keletkező hő zavaró melléktermékként jelentkezett. Igyekeztek ennek elvezetésére lehetőleg egyszerü módot találni. A hütővizet, bizonyos idő eltelte után, mely elégséges volt arra, hogy a hütőcsöveken való áthaladás közben neutronbombázás folytán a vizmolekulákban fellépő rádioaktivitás megszünjék, leengedték a Columbia folyóba.

Az a körülmény, hogy ugyanakkor, mikor a telep épületeinek fütésére szenet kellett égetni, a reaktorok felesleges hőenergiáját a folyóba vezették, arra ösztökélte a General Electric mérnökeit a Boston C.T. Main vállalat szakembereivel

együtt, hogy megtervezzék azt a távfütési rendszert, melyet most Hanfordban üzembe is helyeztek.



2. ábra

A Hanford Müvekben (USA) bevezetett atomi távfütési berendezés vázlata

A tervezésnél a fő szempont az volt, hogy a rendszer veszélymentesen és üzembiztosan müködjék és jóllehet kellő figyelmet szenteltek a gazdaságosságnak is, ez háttérbe szorult akkor, mikor a berendezés tartósságáról, megbizhatóságáról és egyszerüségéről volt szó. Az igy tervezett és felépitett, zavartalanul müködő berendezés várhatóan gazdasági szempontból is hasznothajtó lesz és arra számitanak, hogy 3-7 évi amortizáció után az adófizetők számára évente 60.000 dollár tiszta megtakaritást fog jelenteni.

Mivel a reaktorból igen nagy mennyiségü forróviz áll rendelkezésre, nincsen szükség a hő tárolására. Jóllehet a kifolyó hütővizből a berendezés utján kivont hőmennyiség elég arra, hogy a téli időszakban 1000 átlagos nagyságu épületet fütsenek vele az Egyesült Államokban, ez a rendelkezésre álló hőmennyiségnek ...

csak igen kis részét teszi ki. A rendelkezésre álló forróviz azt is lehetővé tette, hogy egyszerü közvetlen köpenycsöves hőkicserélőt alkalmazzanak, mert nincsen szükség hőszivattyura, hogy a körfolyamba kerülő közeg hőmérsékletét emelje.

Megoldás

Ez a szabadban elhelyezett, nagyméretü központi hőkicserélő berendezés kivonja a hőt a reaktor kifolyó hütővizének egy részéből, mely a csővezetékben kering és átadja hőjét egy etilénglikol és viz keveréknek, ami a hőkicserélő köpenyében ellenáram irányban halad. A köpenyen belül terelőlemezek biztositják az oldat egyenletes keveredését és felmelegedését. Az oldat sulyarányban 34 % etilénglikolt tartalmaz. A felhevitett oldatot elosztó csővezetékek keringtetik a telep épületeinek fütésére alkalmazott különböző fütőkigyókon és hőkicserélőkön át. Cirkuláló közegként azért választottak etilénglikolt, hogy megakadályozzák a fütővezetékek befagyását. Ez különösen fontos a reaktor épületének előfütő vezetékeiben, amelyek külső léghuzatoknak vannak kitéve, ami néha jóval fagypont alatti hőmérsékletet jelent.

A berendezés megtervezésénél müszaki előirásként szerepelt a percenként a hőkicserélőbe jutó 26.600 liter 49 C^{o}-os oldatnak minimálisan 13 millió kgkal hőmennyiség átadása. Elektromos, centrifugális, feltöltés nélkül induló, önüritő szivattyu hajtja át a felhevitett kifolyó hütőfolyadékot a hőkicserélőn és vissza a folyóba.

Csövek és szivattyuk

22.500 lit/perc teljesitményü centrifugális szivattyu keringteti a viz és etilénglikol keveréket és hasonló teljesitményü szivattyu szolgál kisegitésül. Ezek a szivattyuk együttesen, vagy külön-külön müködtethetők attól függően, hogy milyen kapacitásra van szükség. Meleg időben egy 3000 lit/perc teljesitményü szivattyu keringteti a hőhordozó glikolt. A szivattyukat egy a központi hőkicserélőtől bizonyos távolságban levő épületben helyezték el.

A nem szigetelt csővezetékeket vagy 1,20 méternyire a föld alatt fektették le, vagy meglévő alagutakon vezették át. Miután igy szigetelésre, kondenzált oldat kiüritésére, tágulás kiegyenlitő csőhajlatra és kondenzszelepre nincsen szükség, a költségek tetemesen csökkentek. Jóllehet a hő tartósitása nem szükséges, a föld természetes szigetelőül szolgál. Egyébként becslések alapján a felhasznált 180.000 liter etilénglikol olyan hőtartó, hogy kb. még egy óráig épületfütési fokon maradna anélkül, hogy további hőt adnának hozzá. Mielőtt azonban ez az időtartam elmulna, a kisegitő rendszer automatikusan átvenné a hőszolgáltatást. Ez az utóbbi berendezés egy kisegitő hőkicserélőből áll, mely állandóan érintkezik a rendes vezetékkel és automatikusan müködésbe lép, ha erre hőszolgáltatás szempontjából szükség van, anélkül, hogy külön kezelő személyzetre volna szükség. A meglévő kazánok, melyek üzemzavar esetében a reaktor részére szükséges villamosáram fejlesztéséhez szolgáltatják a gőzt, látják el gőzzel ezt a kisegitő hőkicserélőt, feleslegessé téve további gőzforrás beállitását.

Nincsen rádióaktiv veszély

Mivel csak viszonylag vékony sárgarézcsőfal választja el a központi hőkicserélőben az etilénglikolt a forró rádioaktiv viztől, gondoskodtak arról, hogy a glikol ne válhasson rádioaktivvá. Evégből a glikol körfolyama nagyobb nyomás alatt történik, mint a kifolyó hütővizé, ugyhogy amennyiben a hőkicserélő csövek közül bármelyik megrepedne, a szivárgás mindig a glikolból a rádioaktiv vizbe történnék, melynek nyomása kb. 1,75 atm.-val kisebb. Ennek a megoldásnak egyetlen hátránya, hogy esetleg veszendőbe mehet bizonyos mennyiség a glikol-oldatból, de rendszeres ellenőrzés azonnal bármely szivárgás nyomára vezet. Ilyen esetben a hőkicserélő javitása, akár uj cső beszerelése, vagy egyéb szokásos módon, a kifolyó hütőviz áramlásának leállitása után hamarosan megkezdődhet, mivel a vizben levő összes rádioaktivitás elég gyorsan bomlik. A legrosszabb esetben, ha netán a glikol válnél rádioaktivvá, akkor a glikol-vezetéket tisztá-

ra kell mosni és az egyetlen kár a glikol elvesztése volna. A rádioaktiv viz rövid felezési ideje azonban ezt is szükségtelenné teszi, kivéve nagyon erős szennyeződés esetén.

A hőkicserélő müködése tekintetében hosszu, üzemzavarmentes üzemre számitanak és a kifolyó hütővizet keringtető szivattyut ugy tervezték, hogy 6 hónapig, vagy még tovább minden karbantartás nélkül müködjék.

A nem szigetelt, védőréteggel el nem látott hőkicserélő müködése közben nem számoltak nagyobb sugárzási szinttel, mint legfeljebb 0.4 röntgen 30 cm és 0.001 röntgen 15 m távolságban. Keritès akadályozza meg, hogy a személyzet a hőkicserélő berendezést 15 méternél jobban megközelithesse, azonban megfelelő körülmények között és szabályos jelzőkészülékekkel felszerelve, bármikor jobban is meg lehet közeliteni.

Mivel a reaktor üzeme közben parányi mennyiségü rádioaktiv gáz és gőz a reaktorrendszerből a reaktorburkon levő csöppnyi nyilásokon és szelepeken át a reaktor épületébe kerül, az épületet megfelelően kell szellőztetni. Bár általánosságban az ilyen gázok nem tekinthetők veszélyesnek, ha azonban felgyülemlésüket nem akadályozzuk meg, veszélyessé is válhatnak. Azért, hogy a levegőt frissen és mozgásban tartsák, percenként 53.000 m3 friss meleg levegőt hajtanak át az épületen és ki a 10 méter magas kéményen. Hideg időben ilyen levegőmennyiség felmelegitésére meglehetősen nagymennyiségü hőre van szükség, a két fütőkigyó - előmelegitő és felmelegitő képes azonban a 4000 m^3/perces levegőáramot - 23 C^o-ról + 22 C^o-ra is felmelegiteni. Az etilénglikol-oldat keringési sebessége a másodlagos, vagy felmelegitő vezetéken át szabályozza a hőmérsékletet.

Az olyan épületeket, mint a karbantartást szolgáló müheleyeket, hivatali helyiségeket kisebb egységek fütik, ugy hogy mindenütt némi belső levegő keringtetést alkalmaznak, a hőmérsékletet pedig légelzáróberendezés szabályozza, amely lehetővé teszi, hogy a levegő egy része a fütőkigyókon menjen át, vagy azt egy mellékvezetéken át megkerüli. Fütőkigyókat szereltek fel rakodóponkok alá is, hogy azokat hómentesen tarthassák. Más egy-

ségek a vegyszereket melegitik a hidrometallurgiai folyamatokhoz.

x x x

(Ford.: Kovács Jenőné)

A FILMDOZIMETRIA ALAPJAI ÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI

Becker

(Az Agfa AG tudományos fotolaboratoriumából, Leverkusen-Bayerwerk)

Atompraxis Jg.4, Heft 5 S:28 (Mai 1958)

Összefoglalás

A bevezető irodalmi áttekintésben a filmdozimetria előnyeit világitjuk meg. Rövid áttekintést adunk az elemi fotográfiai folyamatokról és az ionizáló sugárzás energia-leadásának formáiról. Azután a filmfeketedés hullámhosszuságtól való függését, ennek mérését és a csökkentésükre irányuló módszereket fogjuk megbeszélni, tudniillik az emulziótechnikát, fémszürést, a fluoreszkáló rétegeket, ezeknek előnyét és hátrányát. A kiértékelés szürőanalizis eljárását, ennek határait, a gyakorlatban a dozismérő filmre vonatkozóan felállitandó követelményeket és a komplex keveréksugárzás dozimetriáját, (a béta és a neutrondozimetriát) folyamatosan fogjuk tárgyalni. Az ismert eljárásoknak részleteiben sok hiányossága van és alkalmazásuk még nem eléggé egyetemes. Lehetséges azonban az előrehaladás.

Mind a röntgensugarakat, mind a radioaktivitást a fotoemulzióra gyakorolt hatása miatt fedezték fel. Azóta a nagy energiáju sugárzás kutatása a tudományos fotozás fejlődéséhez szorosan hozzákapcsolódott, Igy a magemulzió azon képessége következtében, hogy a magreakciót közvetlenül mikroszkóppal olvashatóan irja fel "valószinüleg legjobb müszerré vált az atom-

mag-kutatásban és az atommagot összetartó erők felfedezésében. (Waller (1)). A fotometrikusan észlelhető "globális" filmfeketedés pedig a dozimetriának, különösen az egyéni dozimetriának legfontosabb módszere lett. Jóllehet az atomkutatásban és az atomenergia alkalmazásában a fotoemulzió két nagy alkalmazási tartománya közötti határt nem lehet élesen megvonni - igy pl. a visszalökődések mikroszkopikus kiszámolása a neutron-filmdozimetriában nagy szerepet játszik, - a nagy kiterjedésü, meglehetősen szétszórt és az utóbb megnevezett területen részben nehezen hozzáférhető irodalomról kritikai áttekintést adunk, anélkül azonban, hogy e kutatási terület mai nagy kiterjedése miatt ezt hiánytalanul megtehetnénk.

A filmdozimetriai eljárás előnyei

A röntgensugarak filmdozimetriájára vonatkozóan már korábban javaslatokat tettünk, ez különösen az orvosi röntgenintézetek számára érdekes. (2,3,4,5,6). Valóban vannak a fotomódszereknek előnyei a fizikai mérőmódszerekkel szemben, például az ionizációs-kamrával szemben is, melynél a mért dózis szintén a besugárzott dozissal arányos és a részdozisok lineárisan adódnak össze, de ez az előny különösen az egyéni dozimetria számára nyilvánvaló. Megemlitjük azt, hogy olcsó; ez nagyobb csoportok ellenőrzésénél fontos, csekély a sulya, a sugárzás térbeli eloszlásának pontos regisztrálására is könnyen alkalmazható. Nem függ a fizikai feltételektől; a hőmérséklettől, a doziméter helyzetétől, a sugárforráshoz képest. Továbbá a film mindig mérhető, könnyen megállapitható, hogy melyik film kié, és ügyes szervezéssel alig cserélhető össze. Rámutatunk továbbá a csomagolt film nedvességgel és porral szembeni csekély érzékenységére. A nulla-effektus elhanyagolható (8). A film dokumentum jellegéből következik, hogy régebbi adatokat is át lehet tekinteni, ha esetleg szükséges. A megtévesztési kisérletet felismerjük és szürős eljárásnál a film kiértékelésekor a sugárzás összetételére lehet visszakövetkeztetni (9). A leképződött (fémszürők)-szélek erősségéből gyakran az is felismerhető, hogy a kapott sugárzás egyszerü nagyobb do-

zisra vagy sok apró dozisra vezethető-e vissza. Végül a központi kiértékelés is lehet előny, és az a pszichológiai tényező, hogy egy képzetlen emberre a megfeketedett film látványa jobban hat, mint ha közlik vele röntgen-egységben a kapott dozist (10). Ezekkel az előnyökkel a később megvitatandó hátrányok állnak szemben. Ennek ellenére a filmdozimetria elterjedt, különösen a háboru alatt és után, elsősorban természetesen az atomkisérleteket folytatandó országokban, ahol a tudósok és munkások tizezreit kellett ellenőrizni, mivel sugárzásnak voltak kitéve. De egyre nagyobb mértékben kerül sor erre Németországban is, ahol már 1956-ban, mikor még nem üzemeltettek reaktort, csak a freiburgi radiologiai intézetben már 1500 személyt vizsgáltak felül. Németországban több magreaktort állitanak fel és különösen a radioaktiv izotopok gyárakban és kutató munkában való alkalmazásának jelentékeny növekedése miatt sürgősen ki kellene tágitani a vizsgált személyek körét - még ha a katonaság és a civil lakosság légvédelemszerü sugárvédelemellenőrzésétől egyelőre el is tekintünk.

A fotográfiai folyamat

Az elemi fotográfiai folyamat ma érvényes elmélete szerint (11, 12, 13, 14), az "exponáló" sugárzás az ezüsthaloid-kristályban energiát ad le, miáltal egy vagy több elektront a kristály vezetési sávjába emel. Ezek az elektronok a kristályban szabadon mozognak és a rács hibahelyein (deformálódás vagy szennyeződés) az ezüstionokkal ezüstatomokká egyesülnek. Egyre több ilyen atom egyesül a kristály belsejében és felületén és ezek mint gócok katalizálják az egész kristály kémiai redukcióját. E folyamat körülbelül 10^7 erősitési tényezővel megy végbe. Mint ahogy Dudley (15) a filmdozimetriáról irt kimeritő tanulmányában részletesen kifejti, érthetővé válik ezen elmélet alapján a szemcseérzékenységének számos tényezőtől való függése; mivel a latens kép keletkezésének valószinüsége nő a szemcsében levő felszabadult elektronok számával és a találati valószinüség nő a szemcse nagyságával, igy az abszolut érzékenység is. Továbbá az érzékenység függ attól, milyen hatásfokkal fogják be az elektronokat az érzékenységi centrumokba, azaz, milyen mélyek

az elektroncsapdák és az egyszer már kivált ezüst állandóságától is. A szubmikroszkopikus ezüstgócok ugyanis a levegő oxigénjének és az emulzió nedvességének hatására és más körülmények között ismét feloldódnak. Ez a jelenség a latens kép fadingjeként vagy visszaeséseként (lappangási képhalványodás) különösen a nukleáris emulzióknál játszik nem kivánt nagy szerepet (16, 17, 18). A fading mértéke komplikált módon függ az emulzió minőségétől és nedvességtartalmától és a filmdozimetriában mint lehetséges hibaforrást kell figyelembe venni.

Az energialeadás formái

Jóllehet a leirt folyamat elvileg mind a fényre, mind a nagyenergiáju sugárzásra érvényes, részleteiben mégis lényeges különbségek vannak. A látható fény esetében egy kvantum energiája éppencsak vagy már nem elegendő arra, hogy egy fotoelektront eredményezzen, nagy energiáju röntgen- vagy gammakvantumok és töltött nehéz részecskék ezzel szemben képesek arra, hogy sok elektront a vezetési sávba emeljenek és energiájukat az emulzióba való átmenetnél több adagban leadják.

Mivel minden esetben olyan elektronokról beszélünk, melyek a latens képet alkotják, jól tesszük, ha az elektronoknak a fotorétegre gyakorolt hatásából indulunk ki, bár az elektrondozimetria, mint ilyen, a sugárvédelemben nem játszik olyan szerepet. Az elektron-energia kisebb része mint sugárzás, nagyobb része pedig ionizáció és az abszorbens atom gerjesztése által adódik le, ahogy azt a Bothe-Bloch-formula leirja. Az egyes elektron az energiáját több részletben ionizáció utján és delta-sugarakban adja le, s igy egyetlen elektron pályája mentén számos szemcse lesz előhivható, még akkor is, ha szemcsénként az átlagosan leadott energia magában erre tulságosan kevés lenne.

Az elektron energiaspektruma az abszorbens anyaggal, - tehát a fotoréteggel - való kölcsönhatásnál minőségileg majdnem hogy változatlan marad. Mivel az elektronok nagyon erősen szóródnak, a beeső elektronok szögeloszlásának ismerete nagy szerepet játszik, ha még nincsenek "diffuz" állapotban (20);

ez az eléggé vastag abszorbens rétegben elő szokott fordulni. A röntgen- és a gamma-sugarak energiájukat szekunder elektronokon keresztül adják le, ezeket az anyagba hatolva szakitják el atomjaiktól. Az elektronleválás valószinüsége nagyon nagy mértékben függ az abszorbens elem rendszámától. A teljes abszorpció szempontjából fontos háromféle folyamat, a Compton-effektus, fotoeffektus és a párképződés mértékét többek között Mauderli (8) fizikailag interpretálta. A viszonyok azáltal komplikálódnak, hogy az ezüstbromid és zselatin viselkedése egymástól erősen eltér. Az összetétel szempontjából a lágy testszövetekkel majdnem ekvivalens zselatin 0,1-től 5 Mev energia tartományban, főképp a Compton-effektus szempontjából érdekes. Az ezüstbromid esetében kis energiáknál a fotoeffektus, nagyobb energiáknál a párképződés van tulsulyban (15). Továbbá különösen a kis energiáknál az ezüstbromid által abszorbeált energia mint fluoreszkáló sugárzás jelentkezik, nagyobb energiánál számos szekunder elektron hagyja el a kristályt, sőt a réteget (21). Az emulziót körülvevő anyagnak (fémszürő) a sugárzással való kölcsönhatására és a feketedés energia függésére még vissza fogunk térni.

A nehezebb töltött részecskék (protonok, deuteronok és alfa-részecskék) energiájukat sokkal gyorsabban adják le, mint az elektronok ionizáció és az abszorbens atom gerjesztése utján. A szóródás nagyobb tömegük következtében sokkal kisebb, mint az elektronoknál, azonban sokkal nagyobb mint a fotonoknál. A hatótávolság még nagyobb energiáknál is meglehetősen csekély és különösen a nukleáris emulziókra nézve fontos energiahatósugár összefüggésben van megadva (22). A gyakorlatban az egyéni dozismérésben a nehezebb töltött részecskék csak csekély szerepet játszanak (23)

Ez nem érvényes a neutronokra, melyeknek dozimetriája egyre jobban az érdeklődés középpontjában áll. Ezeknek a fotorétegekre való hatása igen bonyolult és alapjában véve különbözik a testszövetre gyakorolt hatásuktól. A termikus energiák felett tulnyomóan visszalökött magok képzésével

hatnak, a termikus tartományban pedig a zselatin nitrogénjének vagy hidrogénjének magreakciójával

$$^{1}H\left(n,\gamma\right)^{2}H \text{ illetve } ^{14}N\left(n,p\right)^{14}C.$$

Részleteiben a neutronok a nehéz töltött részecskék, különösen a visszalökött protonok képzése mellett (a testszövetben kifejtett fő hatásuk is ez), egy béta- és gammasugárzást is kiváltanak az ezüst aktivizálása által. A visszalökött protonok képződési valószinüsége és maximális energiájuk (a hatótávolság) a fotórétegben erősen függ a neutron energiájától (15).

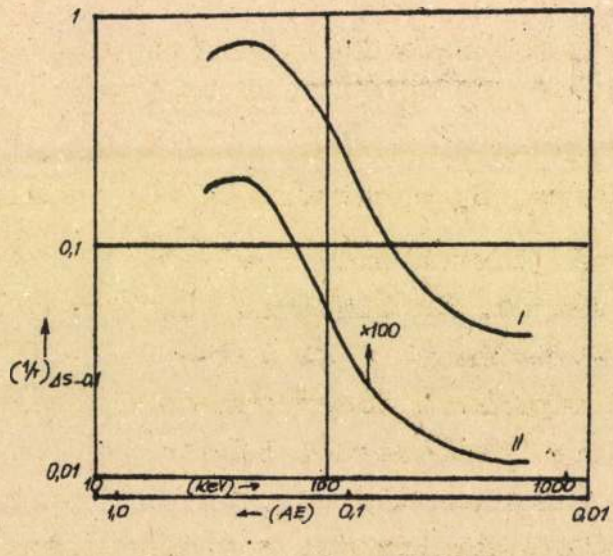
A filmfeketedés hullámhossztól való függése

A röntgen- és a gamma-sugárzás dozimetriája a legnagyobb jelentőségü. A fő nehézség abban rejlik, hogy az emulzió a fotonokat hullámhossztól függően regisztrálja, s ez igen erősen eltér a sugárzás röntgen-egységekben mért levegőre vonatkozó hatásától. A sugárzásnak az emulzióra való hatása mindenekelőtt ugyanis az ezüsthalogénben végbemenő abszorpciótól függ. Mivel most az ezüstbromid tömegabszorpciós koefficiense 25 keV és 1,2 MeV között 50-ről 0,05-re csökken, fel lehetne tételezni, hogy e tartományban ugyanilyen energiák besugárzásánál a filmérzékenység is kb. ezredrészére csökken (24). Hogy a változás csak kis mértékben domborodik ki, annak a következő okai vannak:

Éppen igy tizedére csökken ebben az energia-tartományban a sugárzás abszorpciója a levegőben is, miáltal a várható érzékenység csökkenés 1:100 lesz. Továbbá fotokémiailag csak a szemcsékben abszorbeált energia hatásos és ez az energia nagyobb energiáju gamma-sugarak felé ugyanolyan tömegabszorpcióra vonatkoztatva egyre nagyobb. A fotorétegnek még egy speciális tulajdonsága türik ki: hosszuhullámu sugárzás kisebb energiáju fotoelektronokat vált ki, ezek energiájukat néhány nagyobb adagban adják le. Ezek az energiák néhány kristályt tulságosan "megvilágitanak", azaz rossz az energia-felhasználás. Másrészt előfordul, hogy nagyon gazdag energiáju fotoelektronok csak kicsiny energiamennyiséget adnak le az eltalált kristályoknak, nem eléggé "vi-

lágitják meg" őket és emiatt is rosszul használják ki az energiát. Marad még az energia várható hullámhossz függésében egy 25-ös faktor. A mért érzékenységi faktorok valóban a kb. 40 keV-os maximális érzékenység és a minimális érzékenység között a rövidhullámu gamma tartományban kb. 12 és 50 között vannak. A fotográfiai feketedési görbék menete emellett messzemenően változatlan marad, csupán parallel eltolódás lép fel. (25, 8).

Néhány megfigyelés mindenesetre arra mutat, hogy bizonyos esetekben talán a kicsapott ezüst finomabb eloszlása miatt, a maximális feketedés gamma-besugárzásnál valamivel kisebb, mint a röntgenmegvilágitásnál és ezért a görbe hajlata valamivel laposabb. Du Pont által publikált feketedési görbék hasonló tendenciát mutatnak (26).



1. ábra

Az Agfa-Agepe-emulzió (I) és egy speciális finomszemcsés röntgenfilm-emulzió (II) feketedésének hullámhossztól való függése. Ordináta: a 0,1 redukált feketedést okozó, röntgen egységben kifejtett dózis reciproka

Az összes fotoemulziók elvben az első ábrán bemutatott hullámhossz-karakterisztikát mutatják. Mindenesetre a görbe formája

és helyzete, azaz érzékenysége, esetről esetre nagyon különböző lehet. Az abszolut érzékenység, a szemcsék saját érzékenysége és nagysága miatt igen változatos, igy például az amerikai kereskedelmi emulziók érzékenységi tartománya majdnem hét nagyságrendre terjed (10^{-2}-10^{5}-ig, gamma megvilágitásnál). (27).

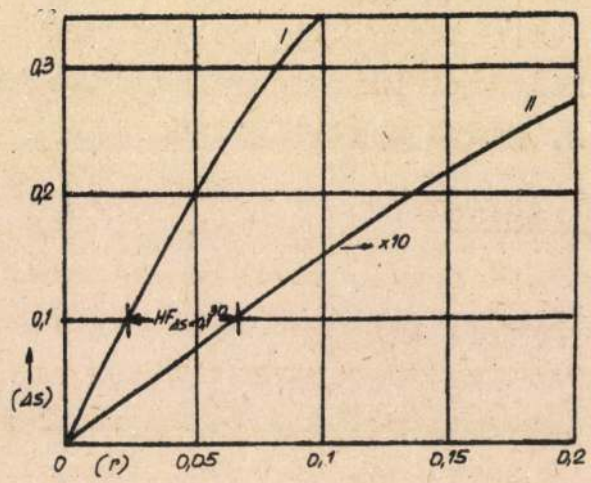
A keménységi faktor mérése

Hullámhossztól való függés mértékegységeként Dorneich és Schaefer (6) a "keménységi faktort" ajánlották. Ez a film kis energiáju röntgentartományban mért maximális érzékenységének és a gamma tartományban mért minimális érzékenységének hányadosa. Ennek kisérleti meghatározása egyszerü, ha sugárforrás és megbizható, a kérdéses energiatartományban π -re hitelesitett ionizálókamra áll rendelkezésünkre. Különböző energiáknál és megfelelő szüréssel (28) különféle megvilágitásokat lehet elérni, s ezeket a fotometriailag mért feketedések redukált feketedésre

$$\Delta S = \frac{S_g - S_s}{S_m - S_s}$$

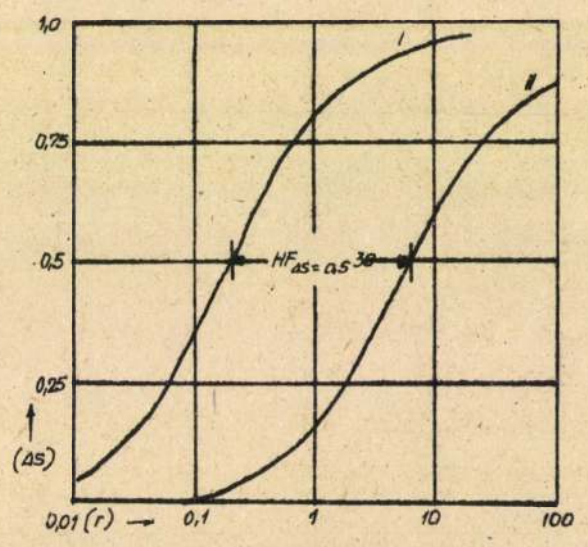
(S_g = a mért feketedés, S_s = háttér, S_m = a maximális feketedés) való átszámitása után közvetlenül leolvashatjuk mint a besugárzott dózis függvényét. Ha lineáris dozis skálát (2a ábra) választunk, kisebb feketedésnél ($\Delta S \sim 0{,}1 - 0{,}2$) a nullaponton átmenő egyenest kapunk. A logaritmusos dozisfelvételnél (2b ábra) a fél maximális feketedésnél lehetséges az értékeknek gyakorlatilag legjobb összehasonlitása. Ez az összehasonlitás a keménységi faktorra nem mindig azt a számértéket adja, mintha kisebb feketedési értékeknél vizsgáljuk.

Magától értetődik, hogy számos hibaforrást kell gondosan megszüntetni: a fémszürőt az elektron egyensuly beállitásánál a filmtől megfelelő távolságra kell elhelyezni és a filmet a szórt sugarak csökkentésére lehetőleg szabadon függően a megfelelő faltávolságban kell megvilágitani. Ismételten csak röviden mutatunk rá a szórt sugárzás nagy jelentőségére, különösen a nagy sugárzási energiánál (29). Egy kisérleti sorozaton belül a fadinghatások kikapcsolásánál a megvilágitás és előhi-



2/a ábra

Az Agfa-röntgenfilm redukált feketedése 45 keV (I) és a 670 keV (II) energiáju effektiv sugárzási energiánál mint a besugárzott dózis függvénye



2/b ábra

Azonos film feketedési görbéje azonos sugárzási energiáknál, logaritmusos dozisfelrakásnál

vás között minden próbánál egy kb. azonos nagyságu időköznek kell lenni, az összes összehasonlitandó próbákat egyidejüleg, azonos előhivóban teljesen azonos feltételek mellett kell előhivni. A keménységi faktor, mint erről majd később szó lesz, több körülménytől igen erősen függ. S igy nem csodálatos, hogy a mért számértékek a kisérleti körülményektől függően nagyon erősen ingadozhatnak és a reprodukálhatóság sem tökéletesen jó.

A sugárzás keménységének meghatározása

Nyilvánvaló, hogy a filmdozimetria leglényegesebb hátránya az, hogy még jó emulziónál is jelentősen függ a feketedés a hullámhossztól. Ez 1000 %-nál is nagyobb hibát okozhat. Sok esetben a mérendő sugárzás energiája ismert, ha pl. csak egy ismert energiáju izotop jön sugárforrásként számitásba. De hiba lenne feltételezni, hogy ilyen sugárzással való hitelesitéssel egy normál emulziót nyernénk. Sőt éppen a gamma-sugárzásnál jelentős a szórt sugárzás az összsugárzáshoz képest. A folytonos szórt spektrum egészben véve természetesen erősen "meglágyul" és ezáltal gazdaggá válik a fotográfiailag erősen ható sugárzásban. Elengedhetetlen volt, hogy olyan lehetőségek után nézzenek, ahol vagy a sugárzás keménységétől független a feketedés, vagy a keletkezett feketedés mellett még a sugárzás energiáját is meg lehet állapitani. Mindkét módszernek számos kutatást szenteltek, anélkül, hogy teljesen kielégitő megoldást találtak volna.

Kétségtelen, hogy ha lenne kedvező megoldás, közvetlenül a megvilágitott vagy előhivott szemcsékben a különböző energiáju sugarakat meg lehetne különböztetni. A latens kép keletkezésére és eloszlására és az előhivott szemcsék minőségére vonatkozó tanulmányok megmutatták, hogy egyfelől az alfa és a béta részecskék és a látható fény kvantumai által keletkezett megvilágitás, másfelől pedig a gamma-megvilágitás között már a szemcseeloszlásban világosan különbséget lehet tenni. Azonban a nagy energiáju kvantumok tartományában kielégitő pontosságu

szétválasztás nem látszik lehetségesnek. A szemcsefelület fokozatos leoldásával (kristály "héj") ki lehetett mutatni, hogy hosszu hullámu fénnyel történt megvilágitás után a latens kép többnyire a szemcsék felületén található, a röntgenmegvilágitás után ezzel szemben meglehetősen egyformán oszlik el az egész szemcsében (31).

Gondos kutatással (32) és a különböző fotográfiai hatások ügyes kihasználásával Guernek és munkatársainak sikerült egy komplikált eljárásban (33) a gamma besugárzás által létrejött kisebb szemcséket gyakorlatilag tökéletesen kiküszöbölni ugy, hogy az alfa és a béta nyomokat még a 30 000 r-es egyidejü gamma besugárzásnál is megkapják. Hoerlin (34) kihasználja azt az ismert hatást, hogy a gamma-megvilágitás gyors Compton-elektronjai által képződött erősen diszpergált szemcsék előhivásánál az indukciós periódus (Induktionsperiod) hosszabb ideig tart, mint a fénnyel létrehozott durvább latens képnél. Olyan kisérleti eljárást ad, mellyel nagy koncentrációju benzoltriazolnak, mint fátyoltalanitó szernek alkalmazásával a fényképeket magas gamma-sugárzásnál is ki lehet értékelni.

Ma általában szürőanalizist használnak a sugárzás keménységének meghatározásában. A különböző fémszürők a film különböző felületeit fedik be. A szürők mögött mért feketedések összehasonlitása lehetővé teszi a sugárzás összetételére való következtetést. Az eljárást 1950 óta alkalmazzák. (35,36). Kevéssel később széles energiatartományban vizsgálták meg felhasználhatóságát (37). Ezt az eljárást Németországban Langendorff tette ismertté (10, 38). Ezzel a módszerrel az utóbbi években számos munka foglalkozott (39). Dresel (9) kimeritően foglalkozott a filmanalizis gyakorlati módszereivel és fizikai alapelveivel. Rámutatott arra, hogy a legpontosabb kiértékelést ugyanazon fém különböző vastagságu szürőinek alkalmazása teszi lehetővé. Ez tudomásom szerint eddig még a szokványos előirásokban nem

fordult elő. A ma Németországban használatos szürők 1,5 mm Cu, 1,5 mm Al és 0,5 mm Pb-vel vannak ellátva (15). Ezen eljárás előnyével (a dozison kivül a sugárzás összetételét is kb. meg lehet adni) szemben áll az a jelentékeny hátrány, ami az elv természetéből következik, hogy a kiértékelés annál pontatlanabb lesz, minél inhomogénebb a sugár összetétele. Mivel még a monoenergetikus sugárforrás ideális esetében is a jelentős szórt sugárzás miatt a gyakorlatban többé vagy kevésbé széles folyamatos spektrum keletkezik, az eljárás értékét a korlátozott pontosság csökkenti.

Ehhez járul, hogy a kiértékelés realtive komplikált és csak nagy költséggel lehetne tökéletesen automatizálva megvalósitani, ami pedig nagyobb embercsoport felülvizsgálatánál lényeges követelmény.

Hullámhossztól való független regisztrálás

Feltétlenül szükséges tehát, hogy a dozist regisztráló film ideális, a sugárzás energiájától független állapotát ilyen vagy olyan módon elérjék.

Nyilvánvaló a fotográfiai emulziónak olyan irányu vizsgálata, hogy amennyire lehetséges, csökkentsék a keménységi faktort. Greening (21) után különösen Hoerlin és munkatársai foglalkoztak behatóan azokkal a tényezőkkel, melyek a keménységi faktor számára döntők (24,34).

Mint ahogy már megállapitották, az ezüsthalogenid által abszorbeált valódi energia a fontos, azaz pontosabban meghatározva, az abszorbeált energiának az a része, melyet a latens kép képződésénél valóban fel lehet használni. A szekunder elektronok hatótávolsága az energiájukkal együtt erősen megnő, ugy hogy könnyen nagyobb lehet, mint a fotográfiai réteg vastagsága. Azért, hogy az elektronveszteséget csökkentsék, a lehető legnagyobb rétegvastagságra kell törekedni. Továbbá egy lassu elektron nagy fajlagos ionizációt eredményez, azaz energiáját egyetlen szemcsén belül vagy néhány emulzió-szemcsén belül

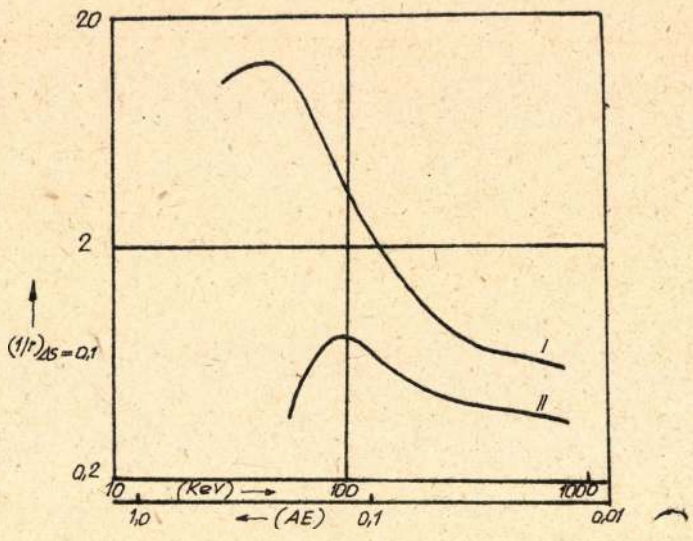
veszti el. Egy nagyobb energiáju elektron azonban ezzel szemben csak olyan nagyságrendü energiamennyiséget ad le, amellyel a szemcse vagy éppen még vagy már egyáltalán nem hivható elő. Ezért szükséges, hogy a szemcsék érzékenységét ugy fokozzák, hogy azokat a szemcséket is előhivhatóvá tegyék, amelyek csak kevés eV-nyi energiát nyeltek el. Az emulziókémikusok számos lehetőségéből a szemcseérzékenység fokozására kisérletben a következők váltak be:

1. az emulzió maximális "utánérlelése" és sok kénvegyületet tartalmazó zselatin;
2. 1-2 molszázalékos NaJ, pótlás kicsapás alatt;
3. erős arany-érzékenyités (28)

Mivel a nagyon gyors elektronok hatására keletkező latens kép sokkal inkább a kristály belsejében van, mint a lassubb elektronok hatására keletkező, a kémiai előhivás számára azonban többnyire felületi kép hozzáférhető, lehetőleg tökéletes előhivásra kell törekedni, hogy a latens belső kép lehetőleg minél nagyobb részét szintén érzékelni lehessen. Ennek megfelelően jónak bizonyult sok ezüstoldatot (szulfit) tartalmazó erősen alkali metolhydrochinon előhivó és az előhivási idő lényeges meghosszabbitása. Olyan előhivót is javasoltak, mely csak a belső latens képet hivja elő (40). A zselatinben levő ezüstbromid koncentráció csökkentésének éppen kedvezően kellene hatnia, mivel igy a gamma-sugárzás a "testegyenértékü" zselatin nagyobb mértékben abszorbeálja. A gyakorlatilag realizálható határok között azonban az ezüsthaloid és a zselatin arányának a befolyása csekély, mint ahogy a rétegvastagság is csak kis mértékben befolyásolja a hatást.

Mindezek az elmondott javitások önmagukban egyáltalán nem elegendőek arra, hogy segitségükkel hullámhossztól független filmet készitsenek. Kizártnak látszik, hogy ilyen módon a 7 keménységi faktort lényegesen tulszárnyalja. Ezért már korábban is ajánlották a fémszürők alkalmazását a hullámhossztól való függés csökkentésére, mivel az ilyen szürők nem csak abszorpciójuk miatt csökkentik a lágy sugárzást, hanem az adott körülmények között nagy energiánál a lágyabb sugárzás és az elektronok

kibocsátása miatt mint erősitő ernyők hatnak. Az egyszerü, főképpen a háboru alatt használatos filmplakettek az ezüst vagy kadmium szürők mögött két különözően érzékeny filmet vagy egyetlen laposabb graduációju filmet tartalmaztak (41, 42), (43, 44). Az ilyen filmről már több alkalommal irtak (45).



3. ábra

Az Agfa-Texo-S-film hullámhossztól való függése szürő nélkül (I) és 1 mm vastagságu kadmiumszürővel (II)

A 3. ábra a kadmiumszürővel előidézett javulást mutatja egy hullámhossztól függő filmen. A görbe hajlata azonos volt más esetekben is. Saját kisérleteim az irodalomban megadott eredményekkel egyezően azt mutatták, hogy (24,26) egy 1 mm vastag cd szürővel lehet elérni maximális hatást. 0,5 mm vastagságnál a javulás csekélyebb. Nagyobb vastagság pedig lényeges javulást már nem eredményez.

Ahogy azt Mauderli (8) kimutatta, lehetetlen a fémszürőknek olyan ideális kombinációját találni, amely minden egyes energiát olyan módon változtatna meg, hogy a rétegkeménységtől való függése éppen kompenzálódik. Részletes kisérletek mégis azt bizonyitják, hogy megfelelő szürőkombináció, mint pl. 1,07

mm S_n és 0,3 mm Pb megfelelő filmmel az elektron-egyensuly esetén egy elhatárolt tartományban nagyon kielégitő karakterisztikát adna (27). Általában érvényes az, hogy egy hiányos elektronkiegyenlités esetében (pl. olyan szürőnél, mely közvetlen érintkezésben van a réteggel) egyedül kisérlet magyarázhatja meg a kialakult viszonyokat.

A hullámhossztól való függés kompenzálására a legelegánsabb eljárás Hoerlintől (24) származik. Abból a tényből indult ki, hogy van olyan szerves fluoreszkáló anyag, melynek fluoreszkálási intenzitása ellenkező irányban változik a hullámhosszal, mint az ezüsthalogenid érzékenysége. A filmet ilyen anyagból való erősitő ernyőkkel kombinálta.

Szerves fluoreszkáló anyagokat a háboru után széles körben alkalmaztak a szcintillációs számlálókban. Ezek hatásfoka kiszámitható. Breitling és Glocker (47) olyan folyékony és szilárd szerves szcintilláló keverékeket készitettek (48), amelyeknél a hatásfok független a gerjesztő sugárzás hullámhosszától. Közelfekvő volt a gondolat, hogy a hullámhossztól függetlenül fluoreszkáló szerves anyagot integrálisan regisztráló fotofilmmel kombináljanak (49). A sok megvizsgált a hullámhossztól ellentétesen függő anyag közül a p-terphenyl (p,p'-diphenylbenzol) bizonyult a legalkalmasabbnak, tekintettel fénykihasználására és kémiai és fizikai tulajdonságaira (állandóság, a fluoreszkáló sugárzás csekély sajátabszorbciója). A 4. ábra azt mutatja, hogy milyen jól kompenzálja a keménységi faktort megfelelő körülmények között a triphyenil "erősitési faktora", vagyis a fluoreszkálásának növekedése a gerjesztési energiával.

A dozimeter elrendezése (film terphenyl - polymethylmethacrylat rétegek között) hullámhossztól való függőségében valóban megfelel a követelményeknek. Ezen elrendezés érzékelhető hátránya a Schwarzschild-tényező fellépése (angolul: Low intensity reciprocity failure).

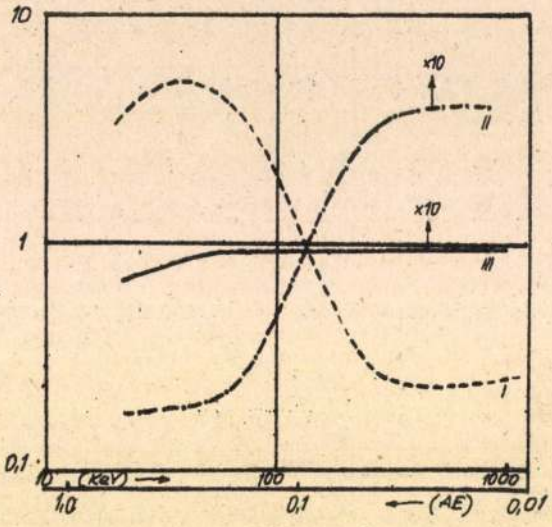
A gamma- és a röntgen sugárzásnál ez a kis intenzitás-hiba (Niedrigintensitätsfehler) nem mutatható ki, azonban bizonyos kö-

rülmények között nagyon nagy lehet, fénymegvilágitásnál - mely a fentebbi kombinációkban a gamma-sugárzásnál az összemegvilágitás fő részét teszi ki. Ez egyrészt ma még nem teljesen megmagyarázható módon az egyes latens ezüst atomok élettartamával, másrészt pedig a röntgen- és gamma-sugárzásnál (éppenugy mint a nagyon rövid fénymegvilágitásnál (51) fellépő erősen diszpergált képpel függ össze (52). A tetszőleges idejü röntgen-gamma-megvilágitásokat mint ultrarövid ideig tartó megvilágitásokat foghatjuk fel, ha tudomásul vesszük, hogy a tulajdonképpeni "világitó" elektronok olyan sebesek, hogy "világitási idejük" szemcsénként kb. 10^{-14} sec körül van. (Az effektus nagysága mint utóbb különösen Eggert és munkatársai átfogó kutatásokkal megmutatták, (50) igen bonyolultan függ az emulzió minőségének és az emulzió feldolgozásának számos paraméterétől. Ennek csökkentésére két utat találtak járhatónak: egyrészt mélyebb elektroncsapadék létrehozását az emulzió érzékenyitésével és érlelésével, másrészt speciális előhivást megfelelő stabilizátorok, 1-phenyl-5-mercaptotetrazol (24) vagy méginkább 2-mercaptooxalozinen (53) hozzáadásával. Igy sikerült az, hogy ezt a hibát türhető határok közé lehetett hozni. Továbbá két különböző Schwarzschild-exponensü emulziót lehet használni s ezzel a kiértékelés információtartalmát a sugárzás időbeli eloszlására kapott adatokkal lehet bőviteni (49). Végül arra is van lehetőség, hogy rövid ideig tartó előmegvilágitással (52) vagy a szolarizációs tartományban végzett méréssel, ahol nincs Schwarzschild-tényező, ezt a hátrányt megkerüljük (54).

A rövid hullámhosszu sugárzások gyakorlati filmdozimetriája

A gyakorlati filmdozimetria számára fontos számos szempontot a filmdozimetriai vizsgálatok fő irányelveinek rövid vizsgálata során csak érintettünk. Ide tartozik az abszolut érzékenység kérdése. Két intenzitás-tartomány, amelyet egy emulzióval nem lehet exakt módon átfogni, különösen a sugárveszélynek kitett üzemek és laboratóriumok normális menetközbeni felülvizsgálata számára érdekes.

Az egyik tartományra olyan film, melynek mérési tartománya a hetenkénti legmagasabb megengedett dozis nagyságrendjében van, tehát a maximális feketedés fele kb. 0,1 - 0,5 r-nél van. A másik tartományban egy "katasztrófafilm" légvédelmi célokra, olyan mérési tartománnyal, melyet fentről a letális dozis határol, vagyis maximális feketedése körülbelül 100 r-hez esik.



4. ábra

Speciális emulzió hullámhossztól való függése (I)
(Ordináták: 1/r egészen 0,40 feketedésig) a
p-terphenyl erősitő-faktora (II) és a kombináció
eredményeképp keletkező karakterisztika (III)
(Ordináták: 1/r egészen a 0,40 feketedésig)
Hoerlin szerint (24)

A minden célra használható dozismérőnek tehát legalább két filmet kell tartalmaznia, hacsak nem öntenek két különböző érzékenységü emulziót ugyanazon film két oldalára. Igy készül például Kodak Personal Monitoring Film, Type II". Ha az érzékenyebb emulzió eléri maximális feketedését, le lehet kaparni, és az érzéketlenebb réteget lehet mérni.

Kevésbé érzékeny katasztrófafilm előhivásánál a nagyfoku hullámhosszérzéketlenség miatt zavaró az a körülmény, hogy alacsonyabb keménységü faktor elérésére az emulziótechnikai köve-

telményeket nagyon érzékeny emulzióhoz vezetnek. Így tehát meg kell találni a legjobb kompromisszumot az ellentétes követelmények között.

Részletekben a következő követelményeket kell felállitani katasztrófafilmnél:

1.)Energiától független dozisregisztrálás kb. 0,2-3 MeV energiatartományban. A probléma megoldását röviden tárgyaljuk. Hogy teljesen ujszerü ismeretek segitségével vagy a fentebb tárgyalt tények ügyes ujszerü kombinációjával lehet megnyugtató megoldást elérni, még nyitott kérdés.

2.) Olyan érzékenység, amely egyértelmü differenciálást tesz lehetővé a következő dozistartományokban: 0-25, 25-50, 50-100, 100-200, és 200-400 r. Automatikus kiértékelésnél az ilyen csoportokba való besorolás normálgradiációju filmnél kényelmesen elérhető.

3.) Megbizható dozisregisztrálás körülbelül 10^{-2} r/sec-tól körülbelül 10^{3} r/sec dozisteljesitményü, amely megfelel a gyakorlatban előforduló hatérértékeknek. Ez a követelmény a tiszta röntgen-gamma-besugárzásnál mindig teljesül, járulékos fénymegvilágitás esetén nehezebben teljesithető.

4.) A mérésnek függetlennek kell lenni a sugárzás beesési szögétől. A kisérletek azt mutatják, hogy a ferde beesés miatti kisebb felületet a sugarak utjában álló vastagabb réteg nagy mértékben kompenzálja (67, 15, 24).

5.) Az előhivatlan latens képnek olyan konstansnak kell maradnia, hogy a besugárzás után két óra és három hét közötti időben a veszteség ne legyen több, mint 10 %.

A fading foka a különféle emulzióknál nagyon különböző. Van nagyon sok olyan kereskedelmi forgalomban levő film, mely a felállitott követelményeknek tökéletesen megfelel (8, 19). Véleményem szerint még nem lehetséges teljesen fadingmentes emulziókat előállitani.

6.) A Mérési pontosságnak jobbnak kell lenni $\pm$ 30 %-nál.

Mivel a mérést számos tényező befolyásolja, a pontosság elérésére elengedhetetlenül szükséges a filmgyártás, az előhivás és a kiértékelés nagyon gondos szabványositása.

Az emulziónak vastagságban nagyon egyenletesnek kell lennie, tehát tökéletesen mentesnek hibavonalaktól és felhőszerüségtől. Az egyes emulzióknak nem szabad észrevehetően különbözni. Zavaró befolyásokat: erős mechanikus megterhelést, nagyobb hőmérsékletet, bizonyos gázokat és gőzöket (H_2S, H_2O_2, Hg) és főképpen bármilyen előmegvilágitást kerülni kell. Különösen gondosan kell az előhivást szabványositani. Már egész csekély eltérés a film mozgatásában a hőmérséklet $0,2^{\circ}$-nyi ingadozása és néhány másodpercnyi időkülönbség már észrevehetően megváltoztatja az eredményt. Azért, hogy a katasztrófafilm kiértékelésénél az előhivó lehülésétől függetlenek legyenek, azt javasolják, hogy 30 C° előhivási hőmérsékletre szabják meg a kiértékelést. végül a fotometrálás körülbelül 0,01 feketedési egységnyi bizonytalanságot visz be a mérésbe. Mivel minden ismert eljárásnak ezenfelül még a mérés elvéből következő pontatlansága is van, nem könnyü, hogy az emlitett pontosságot az összes energia és időtartományban elérjék.

Ez a pontosság azonban mégis kielégitő, mivel más zavaró tényezők még erősebben esnek latba. Igy - a test egy részének besugárzásától, illetve leárnyékolásától eltekintve - a tényleges sugárzási abszorpció a testben a sugár energiájától és beesési szögétől függően a mért dózistól több 100 %-kal eltérhet (például a sugárzás hátulról jön, áthatol a testen és csak azután talál a filmre.) A tényleges biológiai hatás nehéz kérdéskomplexumára a röntgen-egység definiciójával kapcsolatban nagy energiáknál fellépő problémákra itt nem térünk ki.

Különböző sugárzásfajták gyakorlati filmdozimetriája

Különösen bonyolultak a viszonyok, ha a röntgen-gamma-sugárzás mellett egyidejüleg béta- vagy neutronsugárzásokat is mérni kell. (Más korpuszkuláris sugarak csak kivételes esetekben érdekesek). Ideális lenne egy olyan eszköz, amelyben az ösz-

szes ilyen sugárzási fajták által előidézett filmfeketedés tekintetében a teljes energiatartományban ekvivalens biológiai hatékonyságukra nivellálódnának. Ilyen eszköz például kiterjedt testszövettel ekvivalens szövet felhasználásával elvileg elképzelhető, gyakorlatilag azonban belátható időn belül aligha lehet megvalósitani.

A tiszta béta-sugárzás (20, 55, 56, 57) gyakorlati filmdozimetriáját és az egyidejü béta-gamma-dozimetriát (45) már kimeritően megvizsgálták. Az urán-béta-sugárzás és radium-gamma-sugárzás számára vannak azonos érzékenységü filmek (58). Fémszürők alkalmazásánál a szüretlen tartományhoz viszonyitott feketedési differenciából a béta-sugárzásra vonatkozóan egyidejü erős gamma-sugárzásnál is lehetséges a visszakövetkeztetés. Pót Al-szürés itt jól bevált (45). Lágy röntgen sugárzás távollétében ± 20 % pontosságot értek el.

A filmnek a neutronokkal szembeni érzékenysége igen nagy mértékben függ az energiától, de lényegesen kisebb, mint a gamma sugárzással szemben. (Shea szerint (59) gyorsneutronok legnagyobb megengedhető dozisánál a film csak körülbelül 1/10-nyire érzékeny, mint gamma-sugárzással szemben.)

Ha az emulzióhoz például litiumot adunk, annak érzékenysége lassu neutronokra - amikre enélkül is nagyobb az érzékenysége - mégjobban megnő. Ennek oka a litium viszonylag nagy hatáskeresztmetszete fotográfiailag regisztrálható magreakciókra. Elegendő azonban csekélyebb gamma-sugárzás is, melyet a neutronforrás gyakorlatilag állandóan kisugároz, arra, hogy a neutronokat mérjük. Dessauer (60) ezért kadmiumszürőt ajánlott.

A kadmium nagy hatáskeresztmetszettel gammasugárzás kibocsátása mellett lassu neutronokat fog be. Gyors neutronok behatásánál a dozimétert hordozó személy teste adott körülmények között moderátorként hat. Pót-ólomernyő közvetlenül a film felett mint a primer gamma-sugárzás erősitője hat, miközben a neutronokra alig reagál. Ezáltal az ólom alatt meg lehet mérni a primer gamma-dózist, és a Cd alatt lemért gamma-dózisból szubtrahálni lehet.

Vékony rodium-ernyő alkalmazása az eljárást ugy módosithatja, hogy az azonos biológiai hatásu termikus neutronok és gamma-sugarak azonos feketedést eredményeznek. Bór-ernyők, melyek a neutronokat jól, a gamma-sugarakat azonban egyáltalán nem abszorbeálják, lehetővé tették a gamma- és n-dozis közötti differenciálást (15). Rausa (61) arra a végeredményre jutott a kadmium és a lényegesen erősebb hatásu rodium-ernyők gondos összehasonlitásánál, hogy a kadmium a termikus neutronok filmdozimetriájára jól alkalmazható, mig a rodium tulságosan érzékeny. Gyors neutronokra ez a két fém nem alkalmazható.

A gamma-sugárzás és a termikus neutronok gyakorlati egymás melletti dozimetriáját két szürős doziméterrel Kalil (62) irta le.

A gyors neutronok számára csak a visszalökődési protonpályák mikroszkopikus kiértékelése marad olyan eljárás, mely tömeges kiértékelésre aligha lesz alkalmazható. Egyidejüleg még exakt pályahosszuság-mérések is szükségesek. Cheka (63,64) eljárásával komplikált szürőelrendezéssel el lehet érni, hogy a pályaszám széles tartományban (10 MeV-ig) a dozissal arányos.

Általában le kell szögeznünk, hogy a röntgen-gamma-dozimetriára mondottak fokozott mértékben érvényesek a heterogén sugárkeverék dozimetriájára is: Az ismert módszereknek sok hátrányuk van, de remélhető, hogy az ismert tények ujszerübb vagy jobb kombinációjával megnyugtató megoldást lehet találni.

x x x

(Ford.: Koczogh Ákosné)

A RADIOAKTIV IZOTOPOS TERÁPIA ALAPELVEI

M. Brucer

Atomkern-energie Jg.3, N° 6, S.217. (Juni 1958)

A radioaktiv izotopos terápia terén máig elért eredmények nem elegendők arra, hogy végleges értékelést adhatnánk róluk. Azok az alapelvek, amelyek az orvostudományban az orvosi kezelés számára mértékadók, a radio-izotopos terápiában is érvényesek és ezek az alapelvek az uj módszer bevezetése után is változatlanok maradtak. A radiologus amikor azon fáradozik, hogy az emberek számára valamely uj anyag biztos dóziást állapitsa meg, e munkájában messze felülmulja a farmakologust, hiszen kezdettől fogva csak farmakologus - mennyiségekkel dolgozhat, mig a farmakologus a toxikus mennyiségek alkalmazásával állatkisérleteken tisztázhatja problémáját. A radiologus munkaterülete az orvosi tudomány majdnem összes ágára kiterjed. Ennek ellenére gyakran nem lehetséges, hogy az egyik területen tapasztaltakat közvetlenül átvigye a másikra. Ezzel a munkával kisérelj̈ük meg ezért, hogy a radioizotopos terápia alkalmazásának különböző területeiről vett példákkal néhány irányelvet adjunk, melyekből idővel talál kialakulhatnak a radioizotopos terápia alaptételei.

Az alapvető megfontolásokhoz tartozik ma már a következő: valamely meghatározott izotop alkalmazása előtt tudnunk kell, hogy az a test melyik helyén dusul fel, milyen gyorsan jut oda, mennyi ideig marad ott, mily módon bomlik le vagy távozik el. Ezek az alaptételek kezdettől fogva érvényesek a farmakologiában és helyesnek bizonyulnak a radioaktiv izotopok alkalmazásában is. Terápiás szempontból nem a radioaktiv anyag kémiai tulajdonsága által megszabott lerakódási hely a döntő, hanem a sugárzás abszorpciós tartománya, amely a lerakódási hellyel egybe is eshet, meg nem is.

Jóllehet a radioizotopok igen sokféle módon, a legkülönbözőbb betegségeknél és az orvostudomány egymástól igen távollevő ágaiban találnak alkalmazásra, mégis van egész sor olyan törvényszerüség, amelyek vörös fonálként huzódnak végig az al-

kalmazás egész területén, Ez a vörös fonal: követni kell a sugárfizika alapszabályait, figyelembe kell venni őket, ha az orvos az orvostudomány bármely területén "hol" és "mennyit" akarja megállapitani. Ezért feltétlenül szükséges, hogy a radiologus, ha korlátozott mértékben is, de tisztában legyen legalább a sugárfizika alapjaival. Az izotopok külső sugároztatására való felhasználásában kell ezt a vörös fonalat követni, hiszen a teleterápiai müszerekben és a különböző közelterápiai müszerekben már használnak izotopokat. A radioaktiv izotopok dusitásának módját a belső sugároztatással kapcsolatban is meg kell vitatni s igy foglalkoznunk kell a direkt injekciózás sokféle módjával és az izotopok alkalmazásával a test üregében történő (intracavitar) injekciózásban.

A most következő és a jövőben talán még sokkal többet igérő terápiai módszernek mostanáig még nincs sem jó, sem találó elnevezése. Ez a módszer nem csupán az izotopok mechanikus elhelyezése, sem az anyagcserével történő biologiai elhelyezésen alapul, hanem egyszerre felhasználja mindkettőt. Ezért semimechanikus izotopelhelyezésnek nevezzük. Néhány módszert ismertetünk, mikor a radioaktiv izotopokat a nyirokáram segitségével vagy intravénás részecske alkalmazásával irányitjuk a gyógyászatilag hatásos helyre.

A legujabb és legismertebb módszer az anyagcserével történő radioaktiv izotopok lokalizálása. Erre a legszembetünőbb példa a J^{131} dusitása a pajzsmirigyben. Valószinü, hogy nem fogunk másik izotopot találni, mely ilyen egyszerüen, egyértelmüen viselkednék, közvetlenül hatna, mint a radioaktiv jód. Ez a tény sok kutatónak elvette a kedvét, de ennek nem szabad igy maradni. Ahhoz, hogy gyógyászatilag értéke legyen, nem kell egy izotopnak olyan határozottan viselkednie az anyagcserében, mint a radioaktiv jódnak.

Az izotopok külső alkalmazása

Teleterápia

Ha az Oak Ridgeből szétküldött, curiek-ben kifejezett menynyiséget vesszük alapul, akkor azok a legfontosabb izotopok, me-

lyeket a teleterápiai müszerekben használnak, mindenekelőtt Co^{60}. Körülbelül 130 teleterápiai müszer van ma használatban és tizszer ennyi tervbe véve. A Cs^{137} előállitása még csak kezdetén van. Jóllehet a Cs^{137}-ből hatalmas mennyiség halmozódik fel a reaktorokban és még több fog felhalmozódni, ha több reaktort üzemeltetnek, azonban olyan formában jön létre, melyet a teleterápiában közvetlenül nem lehet felhasználni. Előbb más hasadástermékektől kell elválasztani és gr-ként 20-25 curie speciális aktivitással kell ellátni. Ennek ellenére 1956-ban már két esetben alkalmazták a teleterápiában. További nagyszámu Cs^{137} forrásu teleterápiás müszert szándékoznak üzembe helyezni. Oak Ridge-ben jelenleg korlátozott számban állnak csak a kereskedelem rendelkezésére. Kisenergiáju izotopok segitségével nagy hatásfoku nagyon kicsiny teleterápiai müszereket lehet előállitani, melyeket a testüregben történő (intracavitar) injekciózásra használunk. Erre a célra szelén és europium izotop jön számitásba. Mielőtt azonban gyakorlatilag is alkalmaznánk őket, még jelentős kutató munka szükséges. A szelén izotopnak rövid a felezési ideje, s igy igen gyakran kell ujitani.

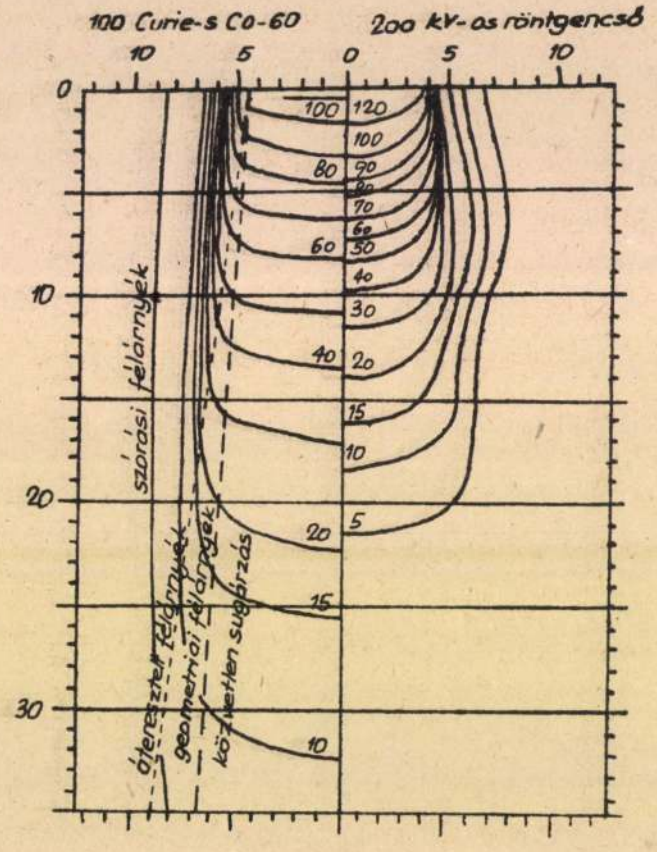
Az europium^{155} izotop előállitására szamarium^{154}-et besugároztatunk magreaktorban. Igy megkapjuk a nagyon rövid életü szamarium^{155} izotopot, mely europium^{155}-re esik szét. Az europium szamariumból kémiai uton történő lebontása nagyon egyszerü. Ilyen módon egy 3/4 év felezési idejü hordozómentes europium^{155}-öt lehet előállitani.

Az europium^{155} izotop energiája a leginkább használatos mélyterápiás müszerek csucsenergiáját éri el. Ezt 15 cm-nél kisebb átmérőjü teleterápiás müszerbe közvetlenül be lehetne helyezni és nagyon jól kezelhető lenne mind az intracavitar, mind a felületi kezelésnél.

Relative tiszta szamarium^{154}-ből nagy mennyiség beszerzése rendkivül nagy tőkebefektetést jelentene, de mivel az europiumforrás számára mindenkor csak kis mennyiség szükséges, ezt a forrást igy tehát gazdaságossá lehetne tenni. Továbbá egy ilyen

forrás nemcsak teleterápiailag, hanem radiografiailag is értékes tulajdonságokkal rendelkezne, nagyon könnyen lehetséges ezért, hogy előállitása rövid idő mulva megindul. Ezzel kapcsolatban végeztek már kisérleteket.

A teleterápiai müszerek még más érdekes problémákat is adnak a radiologusnak. A kobalt^{60} és egy 200 KV-röntgencső izodozis görbéinek összehasonlitása megmagyarázza a kobalt-izotop közkedveltségét (1. ábra).



1. ábra

100 Curie-s Co-60 és 200 kV-os röntgencső izodózis görbéinek összehasonlitása. A sugárforrás bőrtől mért távolsága 50 cm 100 %-nak tekintjük a levegő dózist 50 cm távolságban

A kobalt sugárzás behatolási mélysége nagyobb és a besugárzott területen kivüli testrészekre jutó szórt sugárzás kisebb. Nagyon hasonlók a cézium (Cs) indozis görbéi, ezzel szemben a szamarium és europium görbéinek a 200 KV-röntgencső-görbékhez hasonlitanak. A Co^{60} sugárzás nagy energiája azonban hátrányos. Ugyanis a monokromatikus energiadus gammasugárzás szórási viszonyai különböznek az ismert I-MeV energiáju röntgencsőjétől és ez uj sugárvédelmi problémákat vet fel. Az elégséges sugárvédelem kiszá-

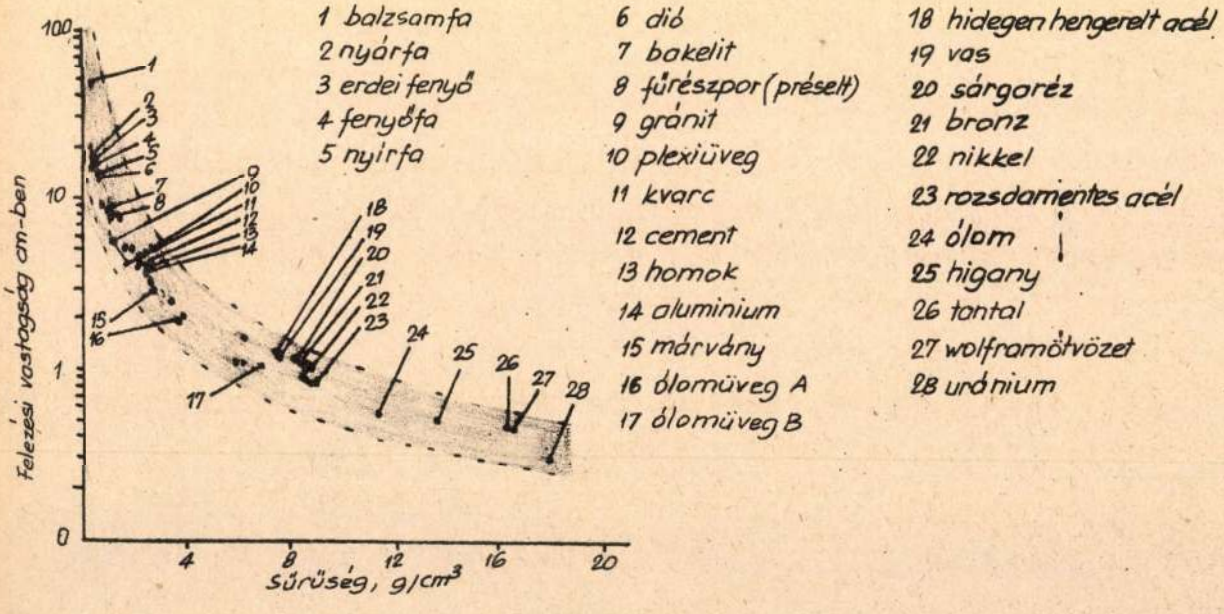
mitásában a fő problémát az jelenti, hogy miként döntenek a gyakorló orvosok majd egyes kérdésekben:

pl. mennyi ideig legyen üzemben naponként a müszer. Ennek az időtartamnak megváltoztatása a szükséges falvastagságban nagy változásokat von magas után. Az a kérdés is befolyásolja a falvastagságot, hogy mennyiben kell a sugárzó készüléket körülvevő helyiségeknek sugárvédettnek lenni.

A sugárvédelem igen nagy jelentőségü, s ezért fontos jól megválasztani a szóbajöhető anyagokat. A védelem hatásosságát főként az anyag sürüsége határozza meg, ha az egyes elemek sürüségét rendszámuk függvényében ábrázoljuk, egyre több maximummal rendelkező görbét kapunk. Ennek a sürüség-görbének - mint az várható volt - maximumait a fémes elemeknél kapjuk meg. Tehát a hatásos sugárvédelemre felhasználható anyagok száma korlátozott.

Járhatóbb ut a különböző anyagok sugárvédelmi hatásfokának megitélésére az egyes anyagoknak adott energiáju sugárzásra vonatkozó felezési vastagságát alapul venni.

A 2. ábrán 28 különféle Cs^{137} sugárzásra vonatkozó fele-



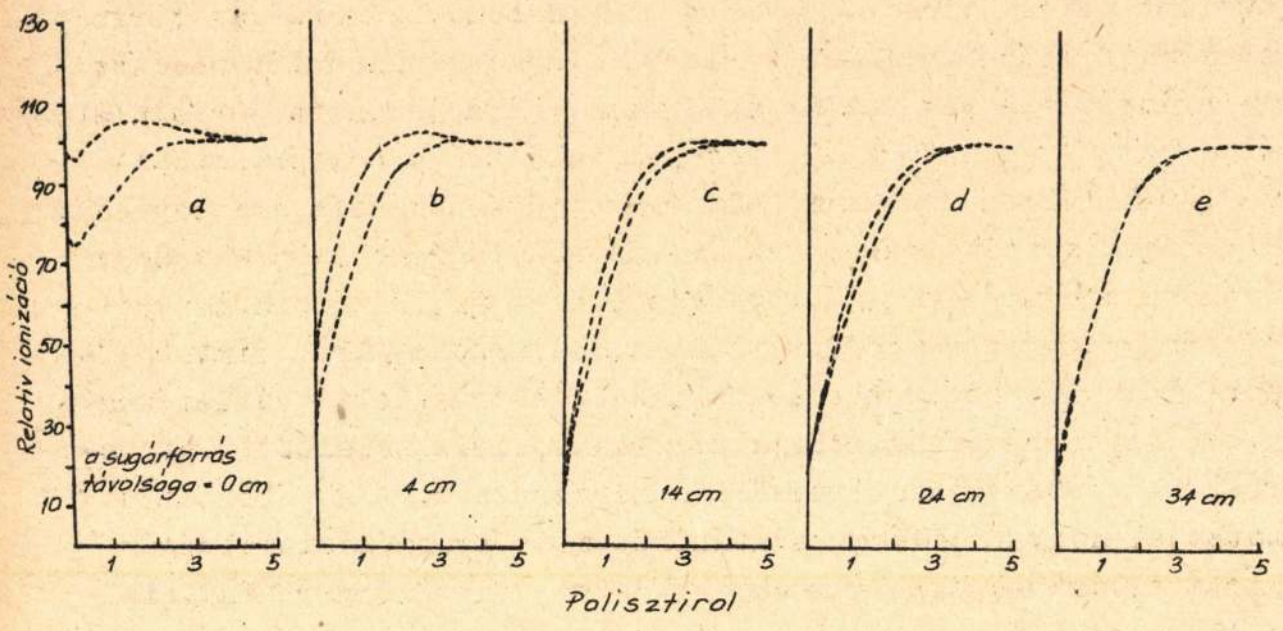
2. ábra

28 különböző anyag Cs^{137} sugárzás számára effektiv sürüség és félgyengülési réteg

zési vastagságát az effektiv sürüség függvényében ábrázoltuk. Kisebb sugárzási energiánál a görbe sokkal meredekebb.

Nemcsak a sugárvédelemben, hanem a sugárzás szürésében is uj problémákat vetett fel a radioaktiv izotopok bevezetése. Erre vonatkozó példát vizsgáljunk meg közelebbről: közönséges terápiai müszernél fellépő bőrfelület alatti relativ ionizációt polisztirol segitségével meg tudjuk határozni. Ha a conust a bőrfelületre irányitjuk, igen nagy különbségeket találunk a bőrfelülettől befelé haladva az első milliméterekre jutó sugárzás erősségében; különbségek az alkalmazott sugárszürőtől függenek. Ha alacsony rendszámu a szürőanyag, a bőrdózis igen nagy. Ha a szürőanyag rendszáma nagy, a bőrdózis intenziv, de nem annyira, mintha közepes rendszámu anyagot alkalmazunk. A besugárzott felület nagysága szintén megváltoztatja a bőrdózist, és az előbbit a conushegynek a bőrtől mért távolsága határozza meg. A 3. ábra azt mutatja, hogyan csökken a szürőhatás a besugárzási távolság változtatására. Ezek a viszonyok minden sugárforrásra és tetszőleges energiákra vonatkoztatva lényegében hasonlók, azonban izotopról-izotopra jellemző különbségek adódnak.

A teleterápia számára talán az utóbbi évek legfontosabb lépése a sugárforrások és a sugárzási müszerek gyártása és kereskedelmi elosztása volt. A fejlődésben fordulópontot jelentett, hogy az előállitó gyárak az Egyesült Államokban, Kanadában és néhány más országban megegyeztek arra nézve, hogy a tulajdonképpeni sugárforrás számára nemzetközileg szabványositott sugárvédelmi tokot gyártsanak. Ez a szabványos sugárvédelmi tok lehetővé teszi a sugárzás- egységek müszerből-müszerbe való közvetlen kicserélését. Ezenkivül minden irányban biztositja a maximális védelmet amerre csak szükséges az árnyékolás. Az olcsó rádioaktiv jódpreparátumok szabványositása éppen olyan fontos, mint a drága teleterápiai egységek szabványositása, bár egészen más okból kifolyólag. Szokatlan lenne az orvos számára, hogy az acetylsalicilsavat aszpirintablettának ma már sajátmaga adagolja, minthogy az is a multé, hogy minden egyes radioaktiv jóddózist neki kelljen kimérnie.



3. ábra

Kadmium szürő hatása a bőrdózisra. A Co^{60} sugárforrás távolságát változtatták, (a)- e) ábrák) 4x6 cm-es kónusz sárgaréz bevonattal. A sugárnyaláb közepén mértek. A felső görbe szürő nélkül, az alsó kadmium szürővel készült

Ehhez bizonyos tapasztalatok és müszerek is kellenének. Ma már a diagnosztikai és terápiai célra felhasználandó rádioaktiv jódpreparátumok szabványositását és kalibrálását az előállitó cégek végzik. Mágpedig sokkal pontosabban, mint az a legtöbb klinikai laboratóriumtól elvárható lenne. A pontossághoz szokott gyógyszerészeti üzemek gyakran még sokkal nehezebb feladatokat is megoldanak, mint amilyen elé a radioaktiv izotopok állitották őket. Ezt a kereskedelmi szabványositást a nukleáris orvostudomány második évtizedének jelentős eredményeként kell elkönyvelni.

A terápiában jelenleg nagy figyelmet szentelnek a mozgó sugárforrások fejlődésének (rotációs müszerek). Sajnos azonban a probléma nem olyan egyszerü, mint ahogy az első pillanatra látszik. Ha egy relative egyszerüen megépitett fantomot 360°-os függőleges rotációs sugárzásnak teszünk ki, kitünik, hogy a rögzitett kollimátor távolságánál növekvő sugárzási távolsággal a tumor-dózis és az egész test dózisaránya csökken. Ha azonban az összdózis mennyisége szab határt a rotációs terápia számára, akkor a bőrs a sugárforrás közötti nagy távolság hátrányosnak bizonyul. Ilyenfajta kutatásokat a sugárzási energia változtatásával is lehet végezni és ezek összefüggésben vannak a testben a mélysugárzási dózis eloszlásával. Az világos, hogy a sugárzási energia megváltoztatásánál ugyanilyen képet kapunk. A 360°-os rotációs sugárzásra a nagyon nagy energia nem feltétlenül a legcélszerübb. Az ilyenfajta kisérletek az inga sugároztatás és a vizszintes rotációs sugárzás fontosságára utalnak.

Közelterápia (Brachyterápia)

A közelterápia kezdete egyszerüen a rádiumtü Co^{60} tüvel való pótlása volt. Ha a Co^{60} források előállitásával, töltésével, a védőtok-ellátással, az eloszlással és a sugárforrások könyvelésszerü kontrolljával kapcsolatos minden problémát alaposan meggondolunk, nem biztos, hogy a Co^{60} tü sokkal gazdaságosabb, mint a rádiumtü. Ha a kereskedelmi Co^{60} körül kialakuló elektronfelhőt szemléljük, meglepő az a tény, hogy ez egyáltalán nem veszélytelen módszer az intersticiális terápia számára. A két legfontosabb probléma, mely a Co^{60} tü gyártásának gazdaságosságát kérdésessé teszi az, hogy a tü körül elektronfelhő keletkezik és a Co^{60} forrás sugárfertőzési veszélye miatt a fémkobalttüket védőtokkal kell ellátni. E probléma megoldására csekély Co^{60} tartalmu korrozióálló ötvözeteket nagy számban alakitotak ki. Egy ilyen ötvözetet ma "incoray" néven állitanak elő. Ez nikkel-króm-kobalt-ötvözet, melyet könnyen lehet megfelelő formájura alakitani, mielőtt még a sugárzásnak kitennénk. Ezáltal felesleges lesz a tokolás és elkerülhető a nagyon aktiv anyagokkal való munka. Az exsudatum radióaktiv fertőzése ezzel az ötvözettel minimális, alkalmazása te-

tehát veszélytelenebb, mint a rádiumtüé, vagy a védőtokba zárt tiszta kobalttüé.

A radioizotopos kezelés egy másik módja a közelterápiában, hogy kobaltból vagy más izotopból készitett gyöngyöket, vagy magokat egy gumikatéterbe töltenek és ezt aztán a hólyagba vezetik be. A radioaktiv fertőzés lehetősége és a radioaktiv anyag kezelésének problémája itt is felmerül. Becker és Scheer voltak az uttörők a kobaltgyöngyök alkalmazásának területén. 7 mm-es átmérőjü gyöngyöket alkalmaztak, melyek csekély mennyiségben tartalmaztak kobaltot. Legyen szabad itt megemliteni az incoray ötvözet alkalmazásának két előnyét,: megszünnek azok az előállitási nehézségek, amelyeket Becker és Scheer csak nagy fáradsággal tudtak legyőzni, az incoray-gyöngyöket bármilyen nagyságban elő tudják állitani. Egy 1, 3, 5, 7, 10, 15, és 20 mm átmérőjü, körülbelül ezer darabból álló szériát besugároztak és az Egyesült Államokban szétosztották néhány radiologusnak klinikai kisérletre. Hogy a kivánt radioaktivitást elérjék, körülbelül egy hónapig egy "low-flux" (kis neutronfluxusu) reaktorban sugározták be. Ezeknél nincs fertőzési probléma, ezenkivül bármilyenfajta testüregben történő (intracavitar) sugárzásra nagyon kicsiny sebészeti müszerbe is behelyezhetők.

A Co^{60} figyelemreméltó hátránya rövid, - ötéves - felezési ideje. A Co^{60} aktivitása havonként körülbelül egy százalékkal csökken s igy több közel terápiai müszer üzemeltetése már jelentékeny könyvelési munkát igényel. A 33 év felezési idejü Cs^{137} izotop ideális megoldást jelentene. A betokozott céziumforrás előállitásában azonban még jelentékeny nehézségek és megoldandó feladatok vannak. Mivel a céziumot mint "forró" hasadási terméket aktiv állapotban kell tokba tölteni és beforrasztani, amig a lezárt céziumforrások előállitása gazdaságossá nem kezd válni, az Eu^{152} alkalmazása kitünő kompromisszumot jelent. Az europiumnak körülbelül ugyanakkora az energiája, mint Co^{60}-nak. Ennek egy 83 %-ban 1,1 MeV energiája és 17 %-ban egy 280 keV átlagu 100-400 keV energiája van. Az europiumot nagyon tisztán, poritott só alakjában lehet megkapni, s általában europoumoxidot alkalmaznak. Ez körül-

belül 50 %-ban tartalmaz Eu^{151}-et, melynek igen nagy a neutronbefogási hatáskeresztmetszete, s igy könnyen nyerhetők belőle a 12 és fél évi felezési idejü Eu^{152}. (A másik 50 % - Eu^{153} - melyre a neutronbefogás hatáskeresztmetszet igen csekély. Az europiumot nagyon kicsiny lemezbe is bele lehet préselni és mindenféle nikkel - sárgaréz - vagy acéltokba lehet tölteni és nem aktiv állapotban leforrasztani. A nem aktiv anyagon végzett forrasztási munka viszonylag olcsó. A lezárt europiumforrást a reaktorban sugározzák be, és néhány hónap alatt szert tehet a kivánt energiára.

Amig csak a rádium állt mint egyetlen izotop a közelterápia rendelkezésére, alkalmazási területe nagyon korlátozott volt. A mesterséges izotopok előállitása sokféle müszer kialakulását vonta maga után. A brachyterápiában legkedveltebb izotopok a tiszta bétasugárzó foszfor és yttrium, melyet gumiballonokban és ballonokon alkalmaztak a testüregben történő terápiára. További alkalmazást nyernek a szem-applikátoroknál a különböző kerámiai müszerekkel kapcsolatban (keramische Geräte) és szivacsokon folyékony állapotban is a testbe helyezhetők. Érdekes a kerámiai (keramische Stoffe) anyagok fejlődése, különösen az yttrium 90 lapocskáé, mely sebészeti uton, például a hipofizisbe helyezhető. Igy és más hasonló módon lehetséges a hipofizis szelektiv szétrombolása. Két vagy három esetben sikeres volt a "Fliessblatt-technikában" (szivacstechnikában) a P^{32} szivacson való alkalmazása. Ennek a testen belül alkalmazását is megkisérelték. Erre példa: egy lutetium 177-tel átitatott "gelfoam" szivacsot a mellkasoperáció ideje alatt a mediastinumba helyeztek, hogy az a nyirokcsomókat szelektive besugározza. A radioaktiv folyadékokat bizonyos eredménnyel hólyagkezelésre is használják. Svájcban erre a célra Co^{60}-at alkalmaztak, Angliában brómizotop felhasználását kezdték meg. Megvan az a tendencia, hogy eltulozzák a folyékony izotopok alkalmazásával járó fertőzési veszélyt. Esetleg jó eredményekre vezetne a közel-terápia egy másik módszere, mely a gázalaku izotopok alkalmazásával foglalkozik. Ezt az eljárást felületi kezeléssel való élelmiszerek konzerválására javasolják és a tüdő-fiziologiában is alkalmazzák jelző kisérletként, de a közelterápiában mind a mai napig nem talált alkalmazásra.

Mechanikus elhelyezés

Direkt injekció

Direkt injekció a 198 tömegszámu kolloid-arannyal volt a radioaktiv izotopok első felhasználása a terápiában. A prosztatába adott Au^{198} injekció a legismertebb és ma relative a leggyakoribb kezelési módszer. Állatoknál más beültetett tumor esetében is eredményes volt egy ilyen injekció. Mivel azonban meglehetősen nehéz kontrollálni, csak nagyon kevés orvos vette át ezt a módszert. Bronchoszkópon át kisérletileg injekcióztak radioaktiv aranyat és lutetium 177-et a bronchuszok nyálkahártya alatti szövetébe. A kutyáknál azt az eredményt nyerték, hogy az anyag azonnal felszivódott a mediastinum nyirokcsomójába, az embernél azonban a befecskendezett anyag a bronchus szubmukozájában maradt. Később egész kisérletsorozatot végeztek: az injekciót közvetlenül a csont metasztázisába adták, az a kilátás, hogy ezzel enyhülést lehet szerezni a végső állapotban. Ezek az uj módszerek még nagyon sok kisérletre szorulnak, mivel ezek szerencsétlenségünkre általában állatokon nem végezhetők el, ezért csak lassu előrehaladás várható.

Testüregben történő (intracavitaris) alkalmazás

Kolloidarany testüregben történő (intracavitar) alkalmazása az exsudatum-redukcióra ujra felkeltette az érdeklődést a valóban heroikus eljárás iránt, amelytől csupán csillapitó hatás várható. A radioaktiv arany testüregbe történő (intracavitar) alkalmazását nem mint gyógymódot mérlegelték, hanem a petefészek-cysta és hasonló daganatok operációja után prevencióként ajánlották. Kolloidarany alkalmazásában a nagyon rövid felezési idő és az erős gammasugárzás jelent nehézséget. Ennek az izotopnak az alkalmazása bizonyos veszéllyel jár. Pótlására króm-foszfáttal kisérleteznek. Egy másik tisztább bétasugárzó anyag az Y^{90}, melynek felezési ideje csaknem azonos az aranyéval. Az Y^{90} előnye az, hogy magában a kórházban elő lehet állitani a Sr^{90}-nek mint "fejőstehénnek" felhasználása közben. Másrészt ez nem amatőröknek való módszer, s igy a klinikai gyakorlatban nem célszerü.

A lutetium-177 is megfelelően lehet alkalmazni a kezelésben. Felezési ideje 6,8 nap, előnye, hogy csak gyenge gammasugárzó. Ez ezenkivül az elem lokalizálására a testben is alkalmazható. A sugárveszély csekély. A lutetium-izotop előnye az, hogy hosszabb ideig megmarad oldott állapotban s emiatt a sugárdózis egyenletes eloszlását peritoneumon biztositja. E kolloidoknak csak nagyon csekély része megy át a véráramba a testüregben történő (intracavitar) injekciónál. Az injekciózási technika ma már nagyon egyszerü és a jövőben gazdaságosnak is igérkezik.

(Ford.: Koczogh Ákosné)

x x x

OLAJVEZETÉKEK RÁDIOMETRIKUS ELLENŐRZÉSE

Votlochin, Dorogocsinszkij, Melnyikova

Atomnaja energia T 4, N° 5, sztr. 475 (maj. 1958)

Kőolaj és kőolajtermékek legkényelmesebb és leggazdaságosabb szállitása a kőolajvezetékes szállitás. A csővezetékek munkája hatásosságának növelésére az utóbbi években széles körben alkalmazzák a különböző kőolajtermékek egy csövön való folyamatos szivattyuzását, pl. benzin után kerozint, kerozin után Diesel-motor üzemanyagot, stb.

Két ásványolajtermék határán képződő nem áruforgalmi jellegü elegy mennyiségének csökkentésére, az egymásutáni folyamatos szivattyuzás üzemeltetésének helyes irányitására, a végállomáson a kőolajtermékek átvételére, stb. szükséges a keve-

redési határ ellenőrzésének speciális, pontos módszereit kidolgozni.

A grosznyenszki tudományos kőolajkutató intézetben (GrosNII) radioaktiv izotopok alkalmazásával végzik az egy fővezetéken történő kőolajtermékek egymásutáni folyamatos szivattyuzásának radiometrikus ellenőrzési módszereit. A módszer a következő: két kőolajtermék határfelületén radioaktiv anyagot vezetnek be és a sugárzás intenzitásának mérése utján a csővezeték szükséges pontjain meghatározzák a kőolajtermékek keveredéséből képződött elegy határait.

Indikátorként radioaktivvá tett speciális anyagot - Sb-124-gyel aktivált trifenilstibint használtak. A trifenilstibin kőolajtermékekben jól oldódik, az Sb-124 felezési ideje 60 nap. Kidolgoztak egy speciális radiometrikus müszert a csőben áthaladó folyadék radioaktiv sugárzásának távvezérléses (távirányitásu) regisztrálására. A müszer 1) kiemelő tárcsából, melyben VS-9 tipusu gáztöltésü számláló és elektronikus szerkezet van, 2) szekunder elektronikus szerkezetből áll.

A kiemelő tárcsát a csővezetékben speciális burkolatban helyezték el és kábellel kapcsolták a szekunder számlálószerkezethez és EPD 17 tipusu elektronikus regisztráló potenciométerhez.

A kiemelő tárcsa elektronikus szerkezete, melyet kettős 6H15p tipusu triodán szereltek fel; ez képviseli a koincidenciakapcsolás kaszkádját és katóderősitőjét. A hálózat vezetékén regisztrált koincidencia impulzusok Ps-64 tipusu számlálószerkezetre kerülnek, amelynek kimenetén egy [illegible] félvezető diodákkal ellátott RC tipusu négyhullámsávos integrátort szereltek fel.

Az integrátorról a feszültség az EPD-17 tipusu elektronikus potenciométerre jut, amely a belépő impulzusok átlagos számlálási sebességét regisztrálja. A potenciométer kapcsolószerkezete az elegy áthaladásának kezdetét és befejezését automatikusan regisztrálja. A RPS-64 blokk számláló (XI, X4, X16, X64)

fokozat egyikének és az integrátor (I,II,III,IV) érzékenységi sávjai egyikének kiválasztásával sikerül görbe formájában regisztrálni az EPD 17 diagrammon a radioaktiv sugárzást, 300-200.000 impulzus/perc számlálási sebességtartományban.

1956 decemberében a grosznyenszki kőolajkutatóintézet a grosznyenszki kőolajszállitóvállalattal együtt a Grosnij-Trudovaja közötti 886.6 km-es vezetéken, amelyben a kőolaj sebessége 2,3 - 3,5 km/óra, a különböző kőolajvezetékek egyetlen fővezetéken történő egymásutáni folyamatos szivattyuzására vonatkozóan ellenőrző kisérletet folytatott.

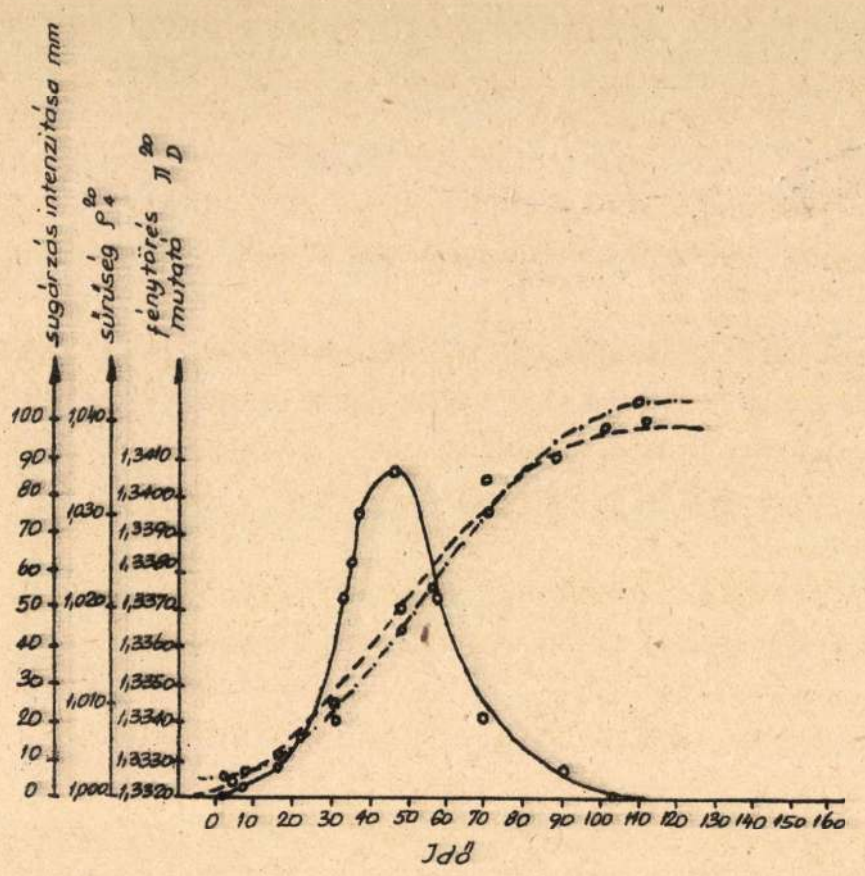
A Grosznij főállomáson a radioaktiv anyagot kb. 12 millicurie aktivitással (Diesel üzemanyagban oldott trifenilstibin) 4 cm^3 mennyiségben vezettek be az átszivatandó kőolajtermékek - Dieselüzemanyag és kerozin - választási határán.

Megfigyeléseket hét szivattyutelepen végeztek, ahol szelektálták a mintákat és regisztrálták a radioaktiv sugárzás intenzitásának görbéit. A készülékek a megfigyelés minden pontján pontosan regisztrálták a radioaktiv elegy áthaladását és ennek következtében pontosan meg tudták határozni a kőolajtermékek elegyének határát és egyik kőolajterméknek a másikkal való koncentrációját, ami különösen a végállomáson fontos, ahol a nyersolajtermékek tartályonkénti szétválasztása történik.

A távvezérlésü radiometrikus müszer a kőolajtermékek radioaktiv izotopokkal történő folyamatos szivattyuzását tökéletesen ellenőrzi, s a radioaktiv anyag dózisa is elegendő.

A 2. ábrán bemutatjuk a kisérletileg kapott sürüség és törésmutató görbéit, valamint e radioaktiv sugárzás regisztrált intenzitásának görbéit is.

A radioaktivsugárzás görbéje emelkedésének kezdete egybeesik az elegy (első elegyben a második termék kicsiny mennyiségben van jelen) behatolásának kezdetével. A radioaktiv sugárzás görbéjének maximuma egybeesik az első elegyben



2. ábra

A radioaktiv sugárzás intenzitásának, a kőolajelegy sürüségének és törésmutatójának időfüggése a vezetékben

levő szekunder termék 50 %-os koncentrációjával. A radioaktiv sugárzás hiánya a csőben áthaladó "tiszta" szekunder termékről tanuskodik.

Egyidejüleg megváltozik a sürüség értéke, a fény törésmutatója az első alsó értékétől a másodiknál a magasabbig.

A kisérleti munkák és az egymásután történő folyamatos szivattyuzás ellenőrzésének ipari kisérlete radioaktiv trifenilstibin alkalmazásával megmutatták, hogy a radioaktiv anyag a csővezetékbe való bevezetés után a kőolajtermékekben nagyon erősen oldódik és egyidejüleg megnövekszik az elegy térfogata, mely térfogat kisérletünkben a megfigyelés második pontján 44 m^3, a hatodik ponton 204 m^3-t tesz ki. A mérési eredmények azt bizo-

nyitják, hogy kisebb aktivitásu rádioaktiv folyadék is megfelel. A radiometrikus ellenőrzési módszert gyakorlatilag nemcsak a fővezetékben lehetséges alkalmazni, hanem bármilyen hosszuságu és átmérőjü vezetéken is.

Az elegy radioaktiv sugárzása nem veszélyes a szivattyutelepen dolgozó karbantartó személyzetre.

A regisztrált sugárzás görbéi megmutatják, hogy a kozmikus nullaeffektus a radioaktiv elegy behatolása és áthaladása után egy és ugyanazon nagyságrenddel rendelkezik. A radioaktiv anyag a vezetékben semmiféle szennyeződést nem okoz.

Ma a GrosNII együtt a grosznyenszki szállitóvállalattal rendszeresiti az ellenőrzés fentebb leirt módszerét a Grosnij-Trudovaja csővezetékben, mikor is ellenőrzik a kőolajtermékek egy fővezetékben egymásután történő szivattyuzását, a kujbisevi kőolaj-szállitóval pedig a bavli-kujbisevi kőolaj-vezetékben a különböző kőolaj folyamatos szivattyuzását.

(Ford.: Koczogh Ákosné)

x x x

A NEHÉZBETON GAZDASÁGOSSÁGA A SUGÁRVÉDELEMBEN

Komarovszkij

Atomnaja energia T 4, N° 5, sztr. 437 (maj. 1958)

A cikk első részében a külföldi szerzők a különböző betonok alkalmazásának gazdasági célszerüségéről szóló munkáinak áttekintését adjuk a magreaktorok és a töltött részecskegyorsitók biológiai védelmével kapcsolatban. Ezen szerzők közül néhányan azt állitják, hogy az emlitett célra a nehézbeton alkalmazása gazdaságos. Vannak azonban ásványi kötőanyaggal (adalékanyaggal)

készitett normal-beton alkalmazásának is hivei. A cikk második részében a Szovjetunióban elvégzett megfelelő gazdaságossági számitások eredményeit közöljük. Ezek a számitások lehetővé teszik, hogy azt a következtetést vonjuk le, hogy a speciális nehéz betonok felhasználása csupán kivételes esetekben gazdaságos.

A biológiai sugárvédelemmel foglalkozó munkák szerzői megjegyzik, hogy erre a célra speciális nehézbeton (vasérc és hulladékvas) beton alkalmazása előnyös és kiemelik még a baryt-beton előnyét az ásványi adalékanyaggal készitett normálbetonnal szemben. Greuts és Downess azt a következtetést vonja le, hogy a gyorsitó biológiai védelme számára célszerü a normálbeton helyett a drágább magnetit-beton alkalmazása, nagyobb a sürüsége (térfogatsuly 3,9 t/m^3) folytán az ekvivalens védelem megteremtése számára kisebb területet igényel. Ugyanezen a nézeten van Beck és Horner. A magreaktorok biológiai betonvédelmének szentelt munkájában Callan megjegyzi, hogy sok esetben (pl. kis reaktoroknál) a nehézbeton, melyet speciális adalékanyaggal készitettek, nem tekintve magasabb árát, előnyösebb a normálnál, mivel a nehézbetonból kisebb falvastagság is elegendő.

Lane a nagyteljesitményü energiatermelő reaktorok számára 3,5 - 4 tonna térfogati sulyu betonvédelmet ajánl. Stephenson azonban azt állitja, hogy a reaktorok vagy a rádioaktiv izotoptárolók védőfala számára a legmegfelelőbb nehézbeton-fajta a barytbeton.

Más részről, vannak meggyőző adatok, melyek a helyi adalékanyagok felhasználásával készitett normálbeton gazdaságosságát támasztják alá, ami azonban nem zárja ki a speciális beton alkalmazását a védelem egyes elemeinél, vagy olyan esetekben, ahol igen kicsiny, a rendelkezésre álló beépithető felület.

Specific Gas and Electric Co és Batchtel Corporation amerikai cégek kettős rendeltetésü hatalmas hőteljesitményü

reaktorokat terveztek (500.000 th KW). Az amerikai atomenergia bizottságban (US. AEC) elhangzott beszámolójukban megemlitették, hogy a nagysürüségü beton nem gazdaságos. Ugyanezt állitják analóg beszámolójukban más cégek is.)(Monsanto Chemical Co és Union Electric Co), akik szintén hatalmas energiatermelő reaktort terveztek. Ezek a cégek a védelem számára normálbeton felhasználását határozták el.

Price, Horton és Spinney azt állitják, hogy a speciális érc-nehézbetonok vagy fém-adalékanyagu nehézbetonok tizszer többe kerülnek, mint a normálbeton. A nehézbeton ilyen magas ára kényszerit arra, hogy nagyon gondosan ügyeljünk a nehézbeton összetételének megválasztására és elkészitésére, az ilyen beton nagy sürüsége folytán a szokásos épitőberendezések nem használhatóak, és ez jelentékenyen komplikálja a betonozást. Ezen fraktorok jelentékenyen befolyásolják a reaktor védőberendezései költségeinek alakulását. A továbbiakban megjegyzik, hogy az acélhulladék-beton alkalmazása, különösen a fémszemcsés beton - csak azokban az esetekben gazdaságos, mikor a konstrukció megkivánja az igen tömör védőfal felállitását. Pl. a speciális nehézbeton felhasználása az angol kisérleti reaktor (DIDO) felső védőfalánál csökkentette a hőkiválasztó hosszát, és megengedte a megfelelő befogó szerkezet alkalmazását. Ebben az esetben kapott megtakaritás felülmulja a speciális beton többletköltségeit. A szerzők azt az általános következtetést vonják le, hogy a normálbeton egyike a legolcsóbb védőfal anyagoknak, a drága nehézbetonok csak kisméretü aktiv zónák épitésénél nyujthatnak bizonyos gazdasági előnyt.

A fentebb emlitett munkában szintén megjegyzik, amennyiben az acél ára más anyagokkal összehasonlitva magas, a fémadalékanyag felhasználása a betonvédőfal számára (azonkivül ilyen betonban rétegeződés is végbemehet) rendszerint nem válik be.

A Szovjetunióban végzett kutatások eredményei a normálbeton alkalmazásának előnyéről beszélnek. Igy a Szovjetunió Tudományos Akadémiája atomenergia intézetében végzett tervezői és kutató munkákból az következik, hogy a gyorsitók külső vé-

dőfalának épitésénél, sőt néhány reaktornál is, legcélravezetőbb a helyi adalékanyagokkal késziteni a betont, nem törekedve a speciális nehézbeton széleskörü alkalmazására. A megfelelő számitások néhány adatát az 1.számu táblázatban közöljük.

1956-ban a Szovjetunió különböző kerületeiben összeállitották az igen nagy reaktorok védőfalához felhasznált különböző betonok gazdasági hatásfokát. Megvizsgálták a biológiai védőfal terveit az atomerőmü épületeiben felhasznált beton egy-egy meghatározott fajtájára vonatkoztatva. Ez lehetővé tette, hogy kiszámitsák a különböző fajtáju betonok szükséges mennyiségét és épületenként a munka mennyiségét is és összeállitsák az egyes variánsokra vonatkozólag a költségszámitásokat, melyek az e kérdésről korábban megjelent cikkekkel ellentétben nemcsak a reaktor védőfalának, hanem az egész erőmü betonfelhasználásának költségeit is számitásba vették.

Összehasonlitották az erőmü reaktorvédőfalának költségeit a védőfal anyagának következő variánsai esetében:

- Védőfal térfogatában 98 % normálbeton (γ = 2,3 t/m^3) és 2 % speciális nehézbeton (γ = 4,4 t/m^3)

- védőfal, közönséges homok és darabos vasércadalékanyaggal készült nehézbetonból (γ = 3,0 t/m^3)

- védőfal, darabos és apróra zuzott vasércadalékanyaggal készült speciális nehézbetonból (γ = 3,6 t/m^3)

- védőfal, melynek egy része (különösen a reaktor védőfala) apróra zuzott vasércadalékanyaggal készült speciális nehézbetonból és nagyszemcsés vasércadalékanyaggal készült speciális nehézbetonból van, másik része pedig (a reaktor központi terménak és hasonló részeinek fala) normálbetonból (γ = 2,3 t/m^3)

- védőfal, speciális nehézbetonból, mely ásványi homokkal és apró, valamint darabos fémhulladékanyagával készült (γ = 4,2 t/m^3.)

1. táblázat

Néhány betonfajta gazdasági jellemzője

(A Szovjetunió Tudományos Akadémiája Atomenergiai Intézet adatai)

Betonfajta	Térfogat-suly t/m3	Védőfal effekti-vitása %	Rubelérték rub/m3	A normálbeton hatásfokának elfogadott értéke rub/m3	Rubel megtaka-ritás rub/m3	Többlet-kiadás rub/m3
normálbeton	2,2	100	350	350	-	-
nagyszemcsés, adalékanyag nél-kül készitett homokbeton	2,0	90	180	200	150	-
vasbeton	2,2	150	700	470	-	120
fémhulladék-beton	5,5	250	2000	800	-	450

2. táblázat

Fémtörmelék, fémszemcse és érc ára a Szovjetunió központi kerületében
(szállitási költséggel együtt)

Anyag	Mérték-egység	Központi kerületben
Fémhulladék	t	760.08
6,0 mm átmérőjü fémszemcse	t	714.96
vasérc (magnetit vagy hematit)	t	128,85
vasércтörmelék	t	134,45
vasérchomok	t	158,45
vasérc (limonit)	t	100,11
vasérc-(limonit) törmelék	t	105,71
vasérc-(limonit) homok	t	129,71
baritérc	t	464,30
baritérc-homok	t	493,90
baritérc-törmelék	t	469,90
ásványi homok	m3	29,30
zuzott kavics	m3	53,80

A számitás alapvető adatait a 3.sz. táblázatban adjuk. Ezen számitások alapján a következő következtetéseket lehet levonni:

1. Vasércadalékanyaggal készitett speciális nehézbetonnak és ugyancsak (durva) darabos vasérc és ásványi homok aprószemcsés adalékanyagával készitett betonnak alkalmazása a reaktor biológiai védőfala számára aránylag kicsiny többletkiadást (1-12 %) jelent a normálbetonhoz képest.

2. A fémhulladéknak (ócskavasnak) mint darabos adalékanyagnak alkalmazása a költségeket 28-33 %-kal növeli, ha csak a reaktor védőfalnál használnak nehézbetont. Ha ugyanezt a nehézbetont a központi terem falvédelménél is felhasználják, ez a költséget 60-72 %-kal növeli.

Ilyen módon bármilyen esetben kifizetőbb a reaktorok biologiai védelménél a nem nehéz-, hanem a normálbeton alkalmazása. Kivétel abban az esetben lehetséges, ha a reaktort olcsó nehézérc lelőhely közelébe épitik, valamint a szerfölött bonyolult és drága alépitmények épitkezésénél, mikor a védőberendezés méreteinek csökkentése a speciális nehézbeton felhasználásával egyes esetekben bizonyos mértékben megváltoztatja a költségvetés fentebb vázolt összefüggéseit a nehézbeton javára.

Az olyan reaktorok költségvetése, melyek gázmentes biztonsági acélburokban vannak és védőberendezésük speciális nehézbetonból épül, további kutatást igényel, mivel az ilyen reaktorok költsége és térfogata csökken a beton sürüségének növelésével (a betonvédőfal méreteinek csökkenése következtében), az előzetes számitások azonban azt mutatják, hogy ezekben az esetekben is a normálbetonból épitett védőfallal ellátott állandó reaktor épitési átlagköltsége alacsonyabb, mint a speciális nehézbetonból készült védőfalu reaktor költsége.

Hasonló munkát végeztek mikor a 7 BeV-es szinkrofazotron biologiai védőberendezésénél és a 35 MeV és lineáris gyorsi-

A Szovjetunió központi kerületében levő hatalmas reaktorok beton-védelmének összehasonlító adatai

3. táblázat

Beton adalékanyagok	Beton térfogati sulya t/m3	1 m^3 beton átlagára rubelben (központi kerület)
ásványi homok és zuzott kavics (98 %) vasérc és vastörmelék (2%)	$\frac{2,3}{4,4}$	249
ásványi homok és vas-(magnetit vagy hematit) érc	3,0	571
vas- (magnetit vagy hematit) érc	3,6	786
aprószemcsés vas- (magnetit vagy hematit) érc és fémhulladék (64%) ásványi homok és kavics (36%)	$\frac{4,2}{2,3}$	2,316
ásványi homok és vashulladék (ócskavas)	4,2	2,316

tónál speciális nehézbetont alkalmaztak és rentabilitását meghatározták. Az épitési költséget a központi terület feltételeivel egybehangzóan állapitották meg, miközben a terveket és kalkulációs számitásokat a speciális nehézbeton különböző fajtái szerint végezték. Ezt a munkát a fentebb leirt módszerrel végezték. A gyorsitó összes épületeinek költségvetését a biologiai védőfal következő variánsaival hasonlitották össze:

védőfal közönséges betonból (= 2,3 t/m3),

védőfal (γ = 3 t/m^3) darabos krivojrogi hematit érc) és apró szemcsés (ásványi homok) adalékanyaggal készitett betonból,

védőfal (γ = 3,1 t/m^3) szalairszki baryt érc darabos és aprószemcsés adalékanyagával készitett betonból,

védőfal (γ = 3,5 t/m^3) krivojrogi hematit vasérc aprószemcsés és darabos adalékanyagával készitett betonból,

védőfal (γ = 4,4 t/m^3) apró szemcsés krivojrogi hematit vasérc adalékanyagából és darabos adalékanyaggal - fémhulladékkal - készitett betonból.

Ezen számitások alapvető adatait a 4. és 5. táblázat mutatja.

Ez a munka a következő következtetéseket engedi levonni: a nagy gyürüs gyorsitók biológiai védelménél a közönséges betonnal való összehasonlitásnál a speciális nehézbeton alkalmazása nem ad gazdasági előnyt, azonban nem is okoz az épitkezés költségvetésében észrevehető (jelentős) növekedést, kivételt képeznek a barytérc és fémhulladék betonok, melyeknek alkalmazása kb. 12 %-kal megnöveli a védőfal költségét.

2. A nagy lineáris gyorsitó védőfalánál a speciális nehézbeton alkalmazás az épitkezés költségét 15-20 %-kal növeli meg, a barytérc alkalmazása max. 60 %-kal, a fém hulladékos beton pedig max. 72 %-kal.

Ha az összes fentebb mondottakat, sőt a kinyerés nehézségeit és a nehézbetonhoz szükséges speciális adalékanyagok szállitását és a betonkészités bonyolultságát figyelembe vesz-

4. táblázat

7 BeV-es gyürüsgyorsitó beton-védelmének összehasonlitó adatai

(a Szovjetunió központi kerületében)

Beton adalékanyagok		A beton térfogati sulya t/m3	A védelemre felhasznált beton térfogata		A speciális nehézbeton alkalmazásával a térfelület és térfogatcsökkenés		A védelem és épület ára	
darabos	aprószemcsés						mill. rub.	%
			m3	%	tér m2	térfogat m3		
ásványi törmelék	ásványi homok	2,3	13024	100	-	-	43,	100
vas-(hematit) érc	ásványi homok	3,0	10024	76,5	545	3790	43,18	100
vas-(limonit) érc	vas-(limonit) érc	3,0	10024	76,5	545	3790	43,22	100
barytérc	barytérc	3,1	9775	-	540	3874	48,16	112
vas-(hematit) érc	vas-(hematit) érc	3,5	8138	62,5	547	5000	43,13	100
vashulladék (ócskavas)	vas-(hematit) érc	4,4	6837	52,2	666	6222	48,16	112

5- táblázat

35 MeV-es lineáris gyorsitó betonvédelmének összehasonlitó adatai

(a Szovjetunió központi kerületében)

Beton adalékanyagok		A beton térfogati sulya t/m3	A védelemre felhasznált beton térfogata		A speciális nehézbeton alkalmazásával a térfelület és térfogat csökkenés		A védelem és épület ára	
darabos	aprószemcsés		m3	%	tér m2	térfogat m3	mill. rub.	%
ásványi törmelék	ásványi homok	2,3	15100	100	-	-	18676	100
vas-(hematit)érc	ásványi homok	3,0	11500	76	315	4493	19419	115
vas-(limonit)érc	vas-(limonit)érc	3,0	11500	76	315	4493	20024	119
barytérc	barytérc	3,1	11053	73	357	5040	26863	160
vas-(hematit)érc	vas-(hematit)érc	3,5	8400	56	370	5095	21027	125,5
vashulladék(ócskavas)	vas-(hematit)érc	4,4	7876	52	457	5754	28476	172

szük, ugy azt az általános következtetést lehet levonni, hogy a magreaktorok és gyorsitók biologiai védelme számára a speciális nehézbetonok alkalmazása technikailag és gazdaságilag nem kifizetődő.

Kivétel lehetséges abban az esetben, ha az épitkezés a szükséges vasérclelőhely közelében folyik.

A nehézbeton alkalmazása szükségesnek és gazdaságosnak bizonyul a védőfal épitésénél egészében véve, vagy a magreaktor és gyorsitó védőfala egyes konstruktiv elemeinél és még következő esetekben is,

mikoris a reaktor vagy a gyorsitó kis helységben van elhelyezve és felszerelés elhelyezése miatt szükséges a védőfal területének csökkentése,

mikor a kisérleti nyilások hosszát kell csökkenteni (pl. a gyorsitóban a kollimátornyilásokat,

ha a védőfal vastagsága normálbetonból az üzemeltető látószögét vagy a kisérletező látószögét (kémlelő ablakon) erősen korlátozza,

a telep fundamentumainak és a tulságosan bonyolult és drága alépitményeinek épületeit, mikor egyes esetekben a speciális nehézbeton felhasználásánál a védelem térfogatainak csökkentése egy kicsit megváltoztatja a költségvetés fentvázolt viszonyát ezen betonok felhasználásának javára.

(Ford.: Koczogh Ákosné)

x x x

FRANCIAORSZÁGI IZOTÓPSZÉTVÁLASZTÓ BERENDEZÉSEK

ATOMES, 13/ No.145, (1958.jun.), p. 217.

A természetes uránium három izotóp: 99,3 százalék uránium-238, 0,006 százalék uránium-234 és 0,7 százalék uránium-235 keveréke. Mint nukleáris üzemanyag azonban csak az U-235 jön számitásba, lévén, hogy lassu neutronok hatására csak ebben az alkotórészben keletkezik maghasadás. Ezért az atomiparban alapvető fontosságu müvelet az uránium-235-nek többé-kevésbé tiszta állapotban való kivonása a természetes urániumból vagy már kiégett tápelemekből, másrészt az uránium-fémek U-235-ben való dusitása.

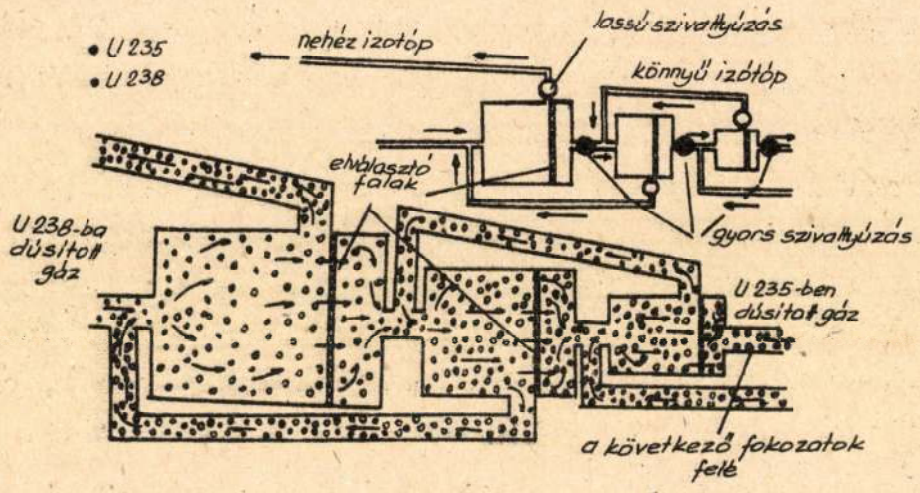
Az U-235 izotóp elválasztása nem könnyü müvelet. Tudjuk, hogy egy-egy elem valamennyi izotópjában az elektronok száma azonos, tehát az izotópok kémiai tulajdonságai is azonosak: kémiai reakció utján nem lehet őket szétválasztani. Egyedül az atommagok tömege közötti csekély különbség ad lehetőséget fizikai módszerek alkalmazására.

Az uránium 235-ös és 238-as izotópja esetében ez a különbség mindössze 1 %. A.O. Nier-nek ennek ellenére sikerült - elsőnek - néhány mikrogrammnyi U-235-öt elválasztania és bebizonyitania, hogy amidőn az urániumelemet lassu neutronokkal bombázzuk (lévén a lassu neutronok hatáskeresztmetszete a legnagyobb), csakis az uránium-235 izotóp atommagjaiban jön létre hasadás.

Nier elektromágneses módszerrel dolgozott, ezzel a módszerrel állitották elő az amerikaiak az első atombombáikhoz szükséges uránium-mennyiséget. Csak röviden ismertetjük az elektromágneses módszer elvét: az urániumot először illó vegyülettel (hexafluoriddal) keverik, mert gázközegben a molekulák könnyebben mozognak, mint folyékony vagy szilárd halmazállapotban. A hexafluoridot elektromos kisülési térbe helyezik: a kisülés az urániumatom egy elektronját átsodorja a fluor elektronjához s igy a molekulák két, ellenkező töltésü nyalábra választódnak szét. A pozitiv ion-nyaláb egy tömegspektrográf elektromágnesének két pólusa között mágneses téren halad át, mely az ionok pályáját eltériti. Itt jut érvényre a két izotóp tömege közti különbség:

ugyanis a mágneses tér az ionok pályáját többé-kevésbé tömegük és sebességük szorzata arányában téríti el: a két ionfajta két külön kollektorra kerül és ott mérhető mennyiségben felhalmozódik.

A "mérhető mennyiség" kifejezés kellő értelmezése céljából emlitjük meg, hogy Nier-nek nem kevesebb, mint 16 órára volt szüksége az első mikrogramm U-235 elválasztásához. Lawrencenek 1941-ben sikerült elválasztással óránként egy mikrogrammot előállitania. Tehát az óriási méretü elválasztóberendezések, a 75 méter hosszu elektromágnes, - melynek sarkaihoz és tekercseléséhez több ezer tonna acélra, illetve ezüstre volt szükség, - elég kis teljesitményt nyujtottak s ezért más, jobb hatásfoku módszert kellett keresni.



1. ábra

A porózus válaszfalakon át történő háromfokozatu gázdiffuzió vázlata. A fémfalakat, csapokat, szivattyukat, olajat és kenőzsirt állandóan tisztitják urániumkivonás céljából. Az ábrán fent és jobbra a kapcsolás egyszerüsitett vázlata látható

Ami a "hatásfokot" illeti, ez is viszonylagos, mert a gázdiffuziós módszer, - az egyetlen, melyet ezidőszerint ipari szinten alkalmaznak - távolról sem mondható jó hatásfokunak, amint azt a továbbiakból látni fogjuk.

Mindenekelőtt tudni kell, hogy az itt ismertetett eljárást a három atomnagyhatalom (U.S.A., Sz.U., Nagybritannia) egymástól függetlenül dolgozta ki és féltékenyen titkolta. Azt hihettük volna, hogy ha az oroszok titkolták is a dolgot, az angolok ismertethették volna velünk az eljárás lényegét, de nem igy történt. Az amerikaiak, akik annyira ösztökélték európai barátaikat az együttmüködésre, odáig nem mentek, hogy követendő példát szolgáltattak volna. A Csatornán tuli szövetségesünk ugy vélte, hogy egy régi barátok közötti megállapodás, bármennyire baráti is, nem mond ellent annak, hogy az egyik fél minden eszközzel igyekezzék megtartani azt a technikai előnyt, melyhez kedvező körülmények folytán jutott a másikkal szemben.

Ez annyit jelent, hogy a francia fizikusok, amidőn néhány évvel ezelőtt izotópelválasztó berendezést kellett tervezniök, csak néhány olyan általánosságra támaszkodhattak, amely a sajtóban látott napvilágot. Ugyszólván mindent ujra kellett kitalálniok egészen a legapróbb részletekig s egy csomó olyan problémát kellett megoldaniok, melyeket a három fentemlitett országban tudvalévőleg már megoldottak.

Ma, miután gyakorlatilag már célhoz értünk, Franciaország kezdi feloldani a teljesen felesleges titoktartást, mely az izotópelválasztó berendezések részletkérdéseit még körülveszi. A következőkben ismertetjük a francia Atomenergiaügyi Kormánybiztosság által nemrég közölt felvilágositások lényegét.

Gázdiffuziós izotópelválasztás

Amidőn gázt bocsátunk keresztül egy porózus falon, amelyben a pórusok nagysága egyenlő nagyságrendü a molekulák közepes szabad uthosszával, a molekulák átfutási sebessége, egyébként teljesen azonos feltételek mellett, forditottan arányos tömegük négyzetgyökével. Ha tehát a gáz két különböző fajta molekulából áll, a keveréknek az a hányada, amely átjutott a falon, dus lesz könnyü molekulákban, a falon innen maradó rész pedig nehéz molekulákban lesz dusabb.

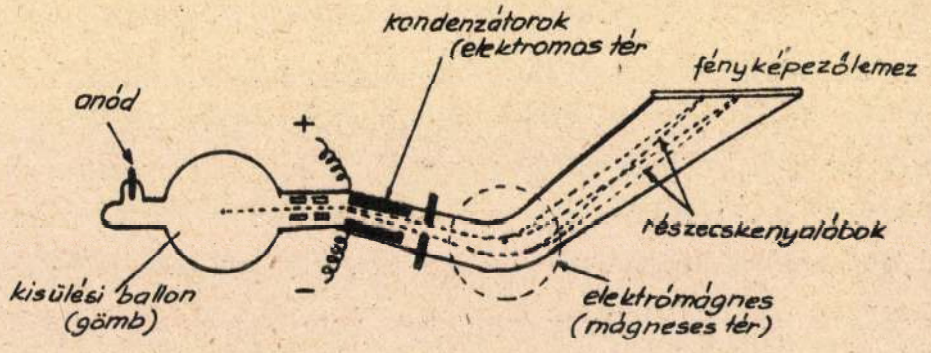
Érthető, hogy az izoláló müvelet hozama igen csekély, hiszen a kétfajta molekula (238 és 235) molekulatömege alig különbözik egymástól. Ahhoz, hogy számottevő dusitást kapjunk, meg kell ismételni a müveletet mind a dusitott, mind az U-235-ben megfogyatkozott résszel és a kapott más-más koncentrációju gázmennyiségeket ujra kezelésnek kell alávetni, miután előzőleg gondoskodtunk arról, hogy a különböző elválasztási elemekből származó, azonos koncentrációju részeket ujra összehozzuk. Igy jutunk el a gázdiffuziós kaszkádok fogalmához. Hogy 90 % uránium-235 - dusitást érjünk el, egy sorban 2500 diffuziós cellára van szükség.

A gázdiffuziónál lényeges problémát okoz az, hogy az alkalmazott gáz, az urániumhexafluorid, nehezen kezelhető. Az urániumhexafluorid az uránium egyetlen gázalaku vegyülete közönséges hőmérsékleten; miután a fluornak nincs izotópja, ebből a szempontból nem okoz nehézséget.

Az urániumhexafluorid légköri nyomás alatt, 56°-os hőmérséklet körül szublimálódik. Ebből adódik az első nehézség: a melegben kell dolgozni, gyakorlatilag kb. 65°-os hőmérsékleten és kerülni kell minden hideg helyet, ahol a termék besürüsödne; a berendezést tehát olyan övezetben kell elhelyezni, amelynek hőmérséklete állandóan 65°.

Másrészt, a hexafluorid igen hajlamos kémiai reakciókra, igyekszik fluort leadni és tetrafluoriddá redukálódni. A berendezést, főleg a porózus membránok anyagát tehát olyan anyagokból kell választani, melyek a hexafluoriddal nem lépnek kémiai reakcióba.

A membránok (hártyák) minőségének szigoru követelményeket kell kielégitenie: a pórusoknak százezredmilliméter nagyságuaknak kell lenniök, a pórusok százalékarányának az elválasztófal teljes felületéhez viszonyitva a lehető legmagasabbnak kell lennie; az elválasztófal vastagsága a követelményeknek megfelelően 1/10 milliméter, tehát vékony, hogy minél több molekula haladjon át rajta és mechanikailag elég ellenállónak is kell lennie, hogy légköri nyomáskülönbség következtében el ne szakadjon.



3. ábra

Egy kezdetben alkalmazott mágneses izotóp szétválasztó

Ezeket a feltételeket három anyag elégiti ki: a zsugoritott (frittelt) aluminiumoxid és nikkel; és a teflon.

Ahhoz, hogy ezen a gázdiffuziós láncon át folyadékot áramoltathassunk, tökéletesen tömitett kompresszorokra van szükség. Főleg a tengelyen kell tökéletes tömitettséget megvalósitani, hogy a kompresszor csapágyolaja ne juthasson be a kompresszor belsejébe.

Minthogy a villanyáramfogyasztás tulnyomó részét a kompresszorok emésztik fel, gondosan kell ügyelni ezeknek a készülékeknek teljesitményére.

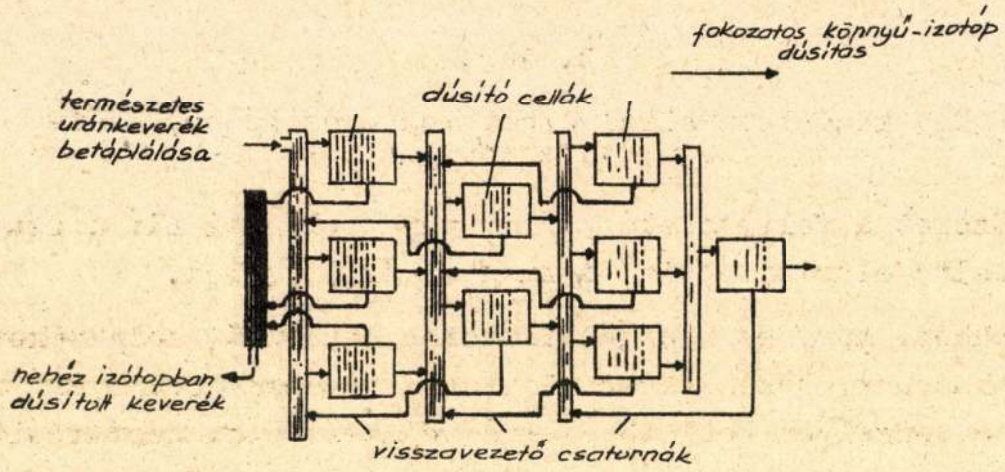
Egyéb, nehezen megoldható problémák voltak még:

olyan anyagok kutatása, melyek nem rozsdásodnak a hexafluorid hatására, nem porózusak, s igy a legnagyobb vákuumnak is ellenállnak;

egész sor teljesen speciális müszerből (tömegspektrográf, feszültségmérők, vákuumszivattyuk, szivárgásvizsgálók stb.) álló felszerelés szerkesztése;

tökéletes hegesztés a berendezés minden egyes pontján és igen gondos felületmegmunkálás.

1957. elejére a vizsgálatok már eléggé előrehaladtak ahhoz, hogy hozzáfoghattunk - egyelőre még nem urániumizotóp-szétválasztóüzem - hanem egy félipari üzem épitéséhez. Ez a kisérleti komplexum, melyet nemrég helyeztek üzembe, lényegében több diffuziós cellából áll, melyek ugy vannak csoportositva, hogy állandó áramlásu kaszkádot alkossanak. A dusitott gáz celláról-cellára halad át, közben az U-235-ben megfogyatkozott gázt visszavezetik egy előző cellába és igy visszakerül a köráramba.



2. ábra

A gázdiffuziós módszer ábrázolása: négy fokozatu "kaszkád" elrendezésben lévő kilenc készülék láncolata. Számottevő dusitás elérése céljából feltétlenül ilyen elrendezésre van szükség, mivel egy-egy fokozat szeparálási faktora igen kicsi

A müködési elvnek ez a vázlatos leirása rendkivül egyszerü. Valóságban a folyamatot igen bonyolulttá teszi az, hogy minden egyes cellában finoman kell szabályozni a koncentrációt: ehhez pedig egész sor mérőkészülék pontos müködésére van szükség. Másfajta müszerek sorozata ügyel a hőmérsékletre és a nyomásra, s végül nem kis feladat az elválasztófalak gyakori kicserélése sem.

Mindezek a nehézségek és még sok más, melyekről ilyen rövid ismertetés keretében nem tehettünk említést, arról tanuskodnak, hogy fizikusaink teljesen urrá lettek ezen részükre még ismeretlen területen.

(Ford.: Polgár Terézia)

x x x

ATOMERŐMÜ ÉPITKEZÉSEK

ATOM, N° 16, p.15 (Febr.1958)

Összefoglaló Sir John Cockroftnak, az U.K.A.E.A. kutató csoportja igazgatójának az Angol Királyi Épitészeti Intézet számára készitett értekezéséből

Számos atomerőmü épitkezés folyt 1946 óta, s költségük csupán Harwellben csaknem elérte a 15 millió fontot. Az épitkezések az angol légierő harwelli repülőterének kisérleti állomássá és a springfieldi és sellafieldi fegyvergyárak uránium és plutonium előállitásával kezdődtek meg. Azóta hatalmas diffuziós telepet létesitettek Capenhurstben és kisérleti és kutatóintézetet épitettek Aldermastonban és Dounreayben.

Az atomenergia céljait szolgáló épitkezések csupán abban különböznek a szokásostól, hogy gondoskodni kell a radioaktivitás elleni védelemről, mind az atommáglyánál, mind pedig a laboratoriumokban, ahonnan radioaktiv anyagok vagy radioaktiv hulladékok kerülnek az elvezető rendszerekbe, ill. raktárakba. Harwellben az a szokatlan probléma is felmerült, hogy 175 meglevő épületet kellett laboratóriummá, mühellyé és egyéb helyiséggé átalakitani. A légierő egyetlen épülete sem maradt kihasználatlanul. A meglevő épületekhez és hangárokhoz tehát toldaléképületeket épitettek, s igy csaknem valamennyi épitészeti stilus képviselve van, a Neo-Georgian-stilusu téglaépülettől az előregyártott lemezekből

készült szerkezetig, sőt még az u.n. South Bank stilust is képviseli egy szinház, amely nagyon jól bevált előadások, koncertek és filmvetitések céljára.

A hivatali helyiségek épitésében a 3, - 3,60 m-nyi egyablakos, egyszemélyes tipushelyiség alkalmazására tértek rá, amely megfelelő dolgozóhelyiség a beosztott kutatók részére és kétablakos dolgozóhelyiségről és megfelelő irodahelyiségekről is gondoskodtak a vezetők számára. Az irodahelyiségek csak annyiban mások, hogy falitábla van bennük és alkalmasak konferenciák tartására, matematikai levezetésekre, vagy egyszerüen a munkára és az értekezletekre emlékeztetnek. A falitábla elmaradhatatlan kellék. Épitészeti szempontból egyre fokozottabban megnyilvánult az üveg alkalmazására irányuló tendencia, s ezzel együtt a velencei üvegé is, a tulzott szoláris fütés megelőzése érdekében, azokon a napokon, amikor napsütéses az idő.

Egyik legfontosabb épület Harwellben a rádiokémiai laboratórium. Tervrajzában dominál az a tény, hogy itt a vegyészek radioaktiv oldatokkal dolgoznak. Ezek közül néhány gammasugarakat bocsát ki, - s ezért a vegyészeket ólomfallal kell védeni, amely beépült az előregyártott egymásba kapcsolódó téglafalba. Más anyagok gyors elektronokat vagy más részecskéket bocsájtanak ki. Ezek könnyen megállithatók a kisanyagréteg segitségével, de ebben az esetben más veszéllyel szemben kell védekezni. Az oldatot a vegyészek néha kicsöppentik és igy radioaktiv por keletkezhet és a tüdejükbe juthat. A laboratorium szellőzésének tehát különösen jónak kell lennie és arról kellett gondoskodni, hogy egy óra alatt a levegő 200-szor cserélődjék. Valamennyi füstelvezetőnek percenként 45 m-ig terjedő radiális ventillációja van, A laboratorium felső emeletén elhelyezett szellőzőcsövek biztositják a tiszta és az elhasznált levegő állandó cseréjét. A beáramló levegőt melegiteni és szürni kell, a kiáramló levegő pedig elektrosztatikai ülepitőberendezéseken és szürőkön keresztül távozik, hogy a radioaktiv részecskéket kivonhassák belőle.

Az épület két szárnyra oszlik, az egyikben plutoniummal - amely részecskéket bocsát ki, - a másikban pedig más anyagokkal, - melyek elektronokat és gamma-sugarakat bocsátanak ki - dolgoznak. A két szárnyat szolgálati épület köti össze az irodákkal, tanácstermekkel, öltözőkkel. A folyosókon sugárzásellenőrző müszereket szereltek fel, hogy a távozó munkások mérni tudják, hogy kezük és ruhájuk radioaktivitása meghaladja-e a megengedett szintet.

A legujabban épült plutoniummal dolgozó szárny nevezetessége a manipulációs kamra, ahol valamennyi müveletet, a radioaktivitással szembeni védekezésképpen, zárt kamrákban, kesztyüben végeznek el. Ezek a kamrák idővel erősen radioaktivvá válnak. Megtisztithatók azonban az u.n. fertőtlenitőben, ahol békaemberek végzik a tisztitást, kiket ventillált ruházatuk véd.

Az épületnek számos állandó szolgáltatása van: viz, elektromos áram, gáz, levegő, vakuum, melyeket bármelyik terembe be lehet kötni.

Az enyhe radioaktivitással szennyezett vegyi anyagok az udvarban elhelyezett szürőkbe vagy u.n. nyugtató tartályokba kerülnek. A csatornacsöveket politénből vagy rozsdamentes acélból készitették, s ezeket bitumen bevonatu cementcső boritja. Ez megkönnyiti a csövek ellenőrzését és megakadályozza, hogy a környező terület esetleges szivárgás következtében beszennyeződjék. Azért esett politénre és rozsdamentes acélra a választás, mert egyrészt jó az általános vegyi ellenállásuk, másrészt könnyen tehetők szennyeződésmentessé.

A nyugtató tartályok két tipusát alkalmazták: lágyacélt, tömör gumiboritással, az aktivabb folyadékok számára és betonboritásut belül gumibevonattal, cementtel és simitott neoprénnel a kevésbé aktiv folyadékok számára. Valamennyi tartályt bitumen bevonatu betonburkolat borit, mely elegendő ahhoz, hogy ugyanolyan védelmet biztositson, mint maga a tartály.

Amikor a tartály teljes tartalmát osztályozták, megvizsgálták és megállapitották, hogy a folyadék aktivitása a tartályra elő-

irt érték alatt van, akkor a folyadékot a főcsatornába szivatytyuzzák. Ekkor a folyadék a nehézségi erő következtében beleömlik a vegyi folyadékot osztályozó tartályba, amelyben a napi összes folyadékot gyüjtik és kezelik, és végül a Themzébe bocsátják. Ha a tartályban levő folyadék aktivitása a vártnál magasabb, tartalmát átrakják tartályvagonokba és speciális kezelés céljából az osztályozó műhelybe szállitják.

Ez a rendszer jellemzi az egész telepet, - valamennyi épületnek külön tartálya és osztályozási rendszere van a radioaktiv folyadékok számára.

Egy másik szokatlan épület a nemrégiben a kohászati laboratoriumhoz épitett szárny. Ezt azért emelték, hogy megvizsgálják azokat a kohászati mintákat, amelyeket a kisérleti reaktorokban besugároztak, s aktivitásuk eléri a 10 curiet. Ebben az esetben a legegyszerübb és legolcsóbb tipusu épületet emelték. Belül ólommal, vagy betontömbökkel védett fülkéket létesitettek, távirányitó felszereléssel, a minták láthatósága és fotografálása számára. Mivel a radioaktivitás itt szilárd testekkel és nem folyadékokkal kapcsolatos, nincsen szükség speciális szellőző berendezésre.

A kémiai meleg labor épülete a komoly ventillációval ellátott tipus másik példája, mivel itt a vegyészek radioaktiv oldatokkal dolgoznak. A magas kicserélési oszlopok elhelyezése érdekében magasra tervezték az épületet, mivel az oszlopokat a radioaktiv folyadékok különböző komponenseinek szétválasztására használják, igy atomhasadási termékeket, plutoniumot, vagy tóriumot, uránium-233-at. Az oszlopokat plasztikus falak és tömbök boritják ott, ahol erre szükség van.

A reaktorok elhelyezése

A reaktorok elhelyezésének legujabb példája a DIDO és PLUTO reaktorok számára emelt épület. Elhatároztuk, hogy ezeket a reaktorokat légmentesen záródó acélépületekbe helyezzük, második radioaktivitás elleni védelmi vonalként. Ezekből az épületekből a kidiffundálás aránya napi 0.05 %. Az acélburok 0,45 kg/cm^2 tulnyomásnak áll ellen. A belső részt szokatlanná teszi a körben

forgó daru. A köralaku épület szárnyaiban vannak az irodák és a kisérleti laboratóriumok. A két reaktor jóval a Ridgway szintje alatt fekszik, s igy bizonyos mértékben védve van.

Protonszinkrotron

Különösen szokatlan vasbetonépületet szerkesztettek a National Institute for Nuclear Sciences hatalmas protonszinkrotronjának elhelyezésére. A protonszinkrotron mágneses gyorsitópálya, magrészecskék számára, amely 6000 tonnás mágneses tömbből áll és 45,75 m-es átmérőjü. A gyorsitópálya és a sik felület között a tér egy mm-nél is kisebb. Kb. 60 m sugaru köralaku épületet terveztek, amely be tudja fogadni ezt a sulyos terhet és stabilitása igen nagy. Ha az épület elkészül, 3 m-es földréteggel fogják boritani az itt fejlesztett 7 milliárd eV energiáju részecske elleni védelem céljából. A kisérletezők számára tágas helyiségről kell gondoskodni, mert erős mágneseket fognak kezelni, hogy segitségükkel a részecskéket a kisérleti készülékekbe irányitsák. Ugyanekkor gondoskodni kell abszorbens falakról a kisérletezők védelme érdekében.

A harwelli telep fejlesztésénél az a sulyos probléma merült fel, hogy a repülőtér meglévő épületeit egybe kellett hangolni az uj épületekkel egy nyilt terület közepén a berkshire-i dombok lábánál. Sir Charles Mole tanácsára az uj épületek között nyilt, tágas, gyepes területeket létesitettek és a harwelli telepnek a környező tájba való beillesztésénél nagy szerepet játszottak a parkok és a kertek.

Az Atomenergia Hatóság ipari csoportjának épitési terveiben a méreteket tekintve más irányu, de hasonló jellegü problémák merültek fel. A hatóság egyik legnagyobb épülete Capenhurstben a gázdiffuziós telep. A diffuziós telepet az urániumban levő urán-235 koncentrációjának növelésére használják. Az épület számos egységből áll, melynek mindegyikében kis mértékben növelik az U-235 koncentrációját. Urán hexafluorid gázt kompresszorok cirkuláltatnak a soklyuku membránokon keresztül és könnyebb izotóp könnyebben jut át rajtuk. Ezek az egységek kü-

lönböző méretekben ismétlődnek a telepen. Az egység 140 F^{o}, minimális hőmérsékleten működik, az uránium hexafluoridnak gáz formájában és megfelelő nyomás alatt való tartása céljából. Igy valamennyi cellát szigetelni kellett a hőveszteség csökkentése érdekében. Ezt hatalmas, 1000 x 130 m^2 alapterületü épület foglalja magában. A betonpadlót 0,6 cm-nyi pontossággal készitették és a finom simitást gépi simitó alkalmazásával érték el. A külső falak lemezboritásuak. A windscalei plutonium atommáglya szintén egyike az első épitkezéseknek. A reaktorok léghütésesek, a levegőt 120 m magas és 13 m-es átmérőjü kéményeken át bocsátják ki. A szerkesztés későbbi fokán elhatározták, hogy a kiáramló levegő utjába szürőket helyeznek el a radioaktiv részecskék eltávozásának megakadályozására, amelyek az uránium fütőelemeinek oxidációja folytán keletkezhetnek. A szürők leemeléséhez és visszahelyezéséhez szükséges 2000 tonnás szürőgalériák és felvonóaknák későbbi beépitése a kéményeknek kissé szokatlan jelleget kölcsönöz. A szürők a kiáramló részecskék 99 százalékát felfogják és ez nagy szerencse volt számunkra a legutóbbi baleset alkalmával. Mindamellett a jövőben szebb kivitelt és a gázalaku jód ellen fokozottabb védelmet szeretnénk elérni.

Az aldermastoni atomfegyver- kutatóintézetben az épitkezés tipusa valamelyest különbözik a harwellitől, mivel itt az épitkezés csaknem az alapozásnál kezdődött. Az épületek öt fő csoportra oszlanak: radioaktivitás kutatási, elektronika-fizikai, robbanóanyag és kisérleti, metrologiai és technikai, és végül adminisztrációs, jóléti épületek és raktárak.

A fő kutató és fejlesztő laboratóriumokat ugy tervezték a kutatók számára, hogy azok munkájukat sorozatosan elhelyezett "száraz fülkékben" vagy füstfülkékben végzik, s hátulról egy folyosóról segédszemélyzet adogatja az eszközöket és radioaktiv anyagokat a fülkékbe. A kutató munkáját a müszerasztalon végzi el, amelyre ellenőrző tábla, távirányitó, stb. van szerelve. A szolgáltatások: mint elektromos kapcsolók, gáz, sürített levegő, hideg-meleg viz, desztillált viz, lecsapoló pontok, müszerek, mechanikus jelzőberendezések, mind a keze ügyében vannak. Mindezeket rendszerint az épület földszintjén

helyezik el, a ventilláció bemenete és leszivó készülék pedig az első emeleten. Fertőtlenitőkkel felszerelt öltözők, ellenőrző egységek valamennyi laboratóriumban megtalálhatók, ahol csak kutatómunka folyik.

A berendezések porfogó szegélyek nélküli felületeinek minősége meghaladja a normális klinikai követelményeket. A sarkok kivül-belül lekerekitettek, a padlók és a mennyezetek boltozatosan kapcsolódnak, s az egészet hézagmentes simitóréteg boritja. Hasonló kiképzésüek a rozsdamentes acél manipulációs kamrák és füstfülkék a védekezés első vonalaként. Valamennyi lefolyó viz a központi semlegesitő tartályba kerül, ahol a végső eltávolitás előtt ellenőrzik.

Dounreay

A legujabb, alapjaitól kezdve ujonnan épitett telep Dounreayban van. Kisérleti és prototipus reaktorok, valamint a velük kapcsolatos vegyészeti fejlesztő telepek befogadására épitették. A tájban a központi objektum hatalmas 135 láb átmérőjü gömbalaku épitmény, melyben a gyors szaporitó reaktor áll. A reaktorkisérlet célja a hasadóanyag szaporitási elvének megállapitása, például a plutonium nyerése dusitott uránium 238-ból vagy tóriumból. A reaktor legbelső része a körülbelül 60 cm átmérőjü és 60 cm magas reaktormag, melyben 60 megawattnyi hő fejlődik az U-235 vagy plutonium láncreakciója folytán. A mag körül urániumburok van, amelyet részben a neutronok kivonásával plutoniummá alakitanak át. A hőt folyékony nátrium cirkuláltatásával távolitják el olymódon, hogy a nátriumot rozsdamentes acélcsöveken keresztül a hőcserélőbe vezetik, ahol a hőt egy másik nátriumhütőkörnek adja át. Ez viszont egy vizhütőkörnek adja tovább a hőt és igy gőzt állit elő. A folyékony nátriumáram erősen radioaktiv, s ezért külső betonboritással van ellátva. Végül mindezt hatalmas gömb veszi körül a radioaktiv termékek befogadására, amelyek a reaktorban szabaddá válhatnak.

A gömböt és a csatlakozó épületeket lezárt egységnek tervezték és ezek rendkivül érdekes csoportot képeznek, inkább javitva, mint rontva a táj képét.

Az enyhén radioaktiv folyadék elvezetése a tengerbe speciális problémát jelentett, mert körülményesnek bizonyult a csővezeték lefektetése a szükségesnek mutatkozó pontig, ahol a folyadék helyes szétszórása lehetséges. Igy alagutat kellett ásni egy nem könnyen furható sziklán keresztül, amely a parttól 700 m távolságra emelkedik.

Az utóbbi évek legjelentősebb épitkezése a calder-halli atomerőmü. Ezen az állomáson két reaktort létesitettek, 11,20m átmérőjü nyomásálló tartály helyettesiti a szokásos energiaállomások kazánját. Nyolcszögletü 2,10 m vastag betontömb veszi körül a nyomódobokat. A nyolcszögletü formát részesitették előnybe a gömb alak helyett, mert ezen egyszerübb zárrészek alkalmazása válik lehetővé, a falon ferdén keresztülhaladó csövek és vezetékek számára. Mérete nem sokban különbözik a szénfütéses állomásokétól. A magas füstelvezető kémény helyett viszonylag kisebb kéményeket alkalmaztak a ventillációhoz. Nincsenek szén- és hamutároló medencéik. Az energiaállomásnak tehát elvben tiszta a környezete. A tervezésnek a négy hatalmas hütőtoronyról is kell gondoskodnia.

A gamma-sugarak és neutronok elnyelésére szolgáló, az atommáglyát körülvevő betontömb szokatlan szerkesztésü. 5.4 kg/dm^3 beton tömörségi specifikációt értek el a Winstone aggregát alkalmazásával. Néhány reaktornál baryt és furósörét aggregátként való alkalmazása nagyobb tömörséget ad a betonban s csökkenti a vastagságot. A viz/cement alacsony adagolásával, vibrációval és gőzkezelési módszerrel kerülik el a zsugorodási repedést. A tömbökön gyakran csövek hatolnak át, melyek kisérleti célokat szolgálnak, s elhelyezésük nagy gondosságot követel.

A Központi Elektromos Energia Hatóság atomerőmüvei ennél is nagyobb szabásuak. Két tervben két 20 m átmérőjü gömbben vannak a reaktorok, szemben a calder-halli 11 m átmérőjü gömbbel.

Helymegválasztás

Számos nyilvános vita folyt az atomenergia állomások telepitésére vonatkozóan. Mivel az állomások termelése 500 megawattig

terjed, fokozott mértékben szükségük van hütővizre gőz kondenzálásához, éppenugy, mint a szabályszerü erőmüveknek. A telepeket tehát nagy folyók mentén, folyótorkolatnál, vagy pedig tengerparton kell elhelyezni. Az alapozásnak szilárdnak kell lennie a reaktor nagy terhének hordozására, s nem szabad a telepnek nagyon magasan a tengerszint felett lennie. Ezekhez járul még a kormánynak az a követelménye is, hogy egyelőre ne feküdjenek tul közel a városokhoz, amig nincs nagyobb gyakorlatuk üzemeltetésükben. Aki ezeket a követelményeket térképpel a kezében figyelembe akarja venni, annak kevés választása van.

A hatóság fennállásának 11 éve folyamán három és félezer házat épitett dolgozói számára.

Energiaellátásunk jövőjére vonatkozó főbb adatok már most is világosan előttünk állanak. Valószinü, hogy 1975-ben további 120 millió tonna szénnel egyenértékü fütőanyagra lesz szükségünk, s ebből valószinüleg csak 25 millió fog a megnövekedett termelésből rendelkezésre állni. Megnövekedett energiaszükségletünk egyensulyát tehát növekvő ásványolaj-importból és atomenergiából kell fedeznünk. Ilyen körülmények között elektromosságunk nagyobb részét 1975-ben valószinüleg az atomerőmüvek fogják szolgáltatni; évi 60 millió tonna szénnek megfelelő fütőanyag importált ásványolajból fog származni, hacsak ebből akkorra ennek egy része nem lesz már elektromos távvezetékek utján nyerhető.

Megemlitjük Sir Christopher Hinton jövendölését, hogy 1975-ben a nukleáris fejlesztési költségek reálértékben számitva a jelenleginek 70 %-át fogják kitenni, s ugyanakkor az ásványolaj termelési és szállitási költségei a jelenlegihez képest valószinüleg számottevő mértékben emelkedni fognak. Igy sokkal szélesebb körben fog elterjedni az elektromos fütés, mint jelenleg, különösen, ha alkalmazzák a termikus tárolási rendszert, s az elektromosság nem csucsidőszakokban lesz levehető.

Harwellben a BEPO reaktor hőfeleslegét az épületek fütésére használták fel több éven keresztül. Hőcserélőt helyeztek a kihülőben levő levegő utjába, és a vizet 71 C^{o}-ra hevitették.

A svédek ennél sokkal merészebb célt tüztek ki a nukleáris reaktor használatára; 120 C° meleg vizzel kivánják ellátni Vasteras vidékét. A reaktor nehézviz moderátorral müködik és havi 7000 tonna szénnek megfelelő fütőegyenértéket szolgáltat. A svédeknek az a véleményük, hogy a melegvizet folyó kereskedelmi áron tudják eladni. Egy másik reaktort épitenek Stockholm uj kerületének, Fastának ellátására összesen 15 megawattos elektromosáram termeléssel. A kisérletet érdeklődés kiséri.

(Ford.: Rostás Lászlóné)

H I R E K

Atomkernenergie 1958. julius

Angliában atomhajókat épitenek. A "Swav, Hunter Wigham Richardson Ltd. amely cég tankokat és teherhajókat épit, a "Nuclear Power Plant Co"-val közös programmot inditott el atomenergia-hajtásu tankhajók gyártására.

Az angol fuziókutatási program: Harwellben azon fáradoznak, hogy a ko a kondenzátor-telep megnövelésével és a toruson végzett javitással a hőfok további emelését érik el. Abban reménykednek, hogy ezáltal legalább 10 millió C°-ot, kedvezőbb esetben 25 millió fokot érnek el. Az uj Zeta II-vel remélik, hogy négy év alatt elérik a fent leirt hőmérsékleteket, s ezeknél pozitiv energiamérleget kapnak.

Plutonium termelés Franciaországban. A francia Atomenergia Bizottság legutóbbi összejövetelén elhangzott közlemények szerint Marcoule-ben a GI reaktor naponként 36 kg plutoniumot termel. A G2 és G3 plutoniumtermelő reaktorok ennek az évnek a végéig, illetve a következő év elején indulnak be. Remélik, hogy 1959-re a plutonium termelést évi 100 kg-ra tudják emelni. Ennek az évnek a közepéig a plutonium készlet 10-12 kg. Egy atombomba előállitásához legalább 8 kg plutonium szükséges.

Az IAEO ösztöndijak. Az IAEO (Internationale Atomenergie-organisation) főigazgatója Sterling Cole, bejelentése szerint az IAEO (Nemzetközi Atomenergia Szervezet) a tagállamok tudósai kiképzésére több mint 200 ösztöndijat bocsát rendelkezésre. A 200 ingyenes helyet elsősorban a "nem atom-országok" egyetemi hallgatói és fiatal tudósainak biztositják. A pályázatot három alapfeltételhez kötik: először is megfelelő alappal és jó szakmai képesitéssel kell rendelkezni, másodszor, olyan országokból pályázhatnak, mely országokban ilyen ismeretekre szükség van, és harmadszor, olyan országokhoz kell tartozniok, ahol visszatérésük után ismeretük kamatoztatására anyagi feltételeket biztositanak.

A Szovjetunió segitsége. A Szovjetunió az IAEO rendelkezésére bocsát 20-30 szakembert tanácsadói minőségben. Ezenkivül 40-45 helyet kinál fel 5-6 évre és máris hajlandó 25 hallgató összes költségeit, beleértve az utazási költségeket is fedezni. A következő tanévben a szakemberek számára 3-6 hónapos kiképzési időt és helyet biztosit, ebből huszat teljesen ingyen.

Tizennégy ország részvétele a Genfi Atom-Kiállitáson. Az ipari és kereskedelmi jellegü "Atom a Békéért" kiállitásra, melyet

a második nemzetközi atomkonferencia ideje alatt rendeznek, tizennégy ország jelentette be részvételét: Argentina, Belgium, Németország, Franciaország, Nagy-Britannia, Hollandia, Olaszország, Lichtenstein, Ausztria, Svédország, Svájc, Szovjetunió, Magyarország és az Egyesült Államok.

Nuclear Power 1958.junius

A ZETÁN dolgozó kutatócsoport megtekinti a hasonló szovjet munkát?

Sir John Cockroft feltételesen elfogadta a Szovjet Tudományos Akadémia meghivását, hogy a ZETA kutatóbrigád 5 vagy 6 tagja Moszkvában megtekintse az ott folyó hasonló munkát. A meghivást Igor Kurcsatov akadémikus adta át, aki két éve Harwellbe látogatott. A meghivást azzal fogadták el, hogy ez csak a Genfi Konferencia után válik lehetővé. Cockroft novembert javasolta és várja a megfelelő értesitést.

Atomegyezmény Japánnal. A 10 évre szóló szerződést, mely lehetővé teszi, hogy Japán Angliában teljesitmény- és kutató-reaktorokat vásároljon a hozzávaló tápanyaggal együtt, junius 16-án irták alá Londonban. Ennek a szerződésnek alapján vásárolnak most egy 150 MW-os teljesitményreaktort a julius 31-ig ajánlatot tevő konzorciumok egyikétől. Ugyanazon a napon az Egyesült Államokkal hasonló szerződést kötöttek Japán Washingtonban levő képviselői, ebben a szerződésben azonban a Japán által a következő 10 évben vásárolható uránium-235 összmennyiségét 2700 kg-ban szabták meg.

A brit szerződés kiterjed annak a lehetőségére is, hogy Anglia segitséget nyujt Japánnak tápanyaggyártásra és az elhasznált tápanyag ujrafeldolgozására alkalmas üzemek létesitéséhez, továbbá japán szakemberek angliai továbbképzésére, valamint nem titkos müszaki adatok cseréjére is.

Tekintve a vonatkozó hosszu megbeszéléseket, érdekes megemliteni az esetleges balesetekkel kapcsolatos felelősség kérdését. Az Angol Atomenergiahatóság minden tőle telhetőt megtesz, hogy biztositsa az általa szállitott felszerelés hibátlan voltát, de a leszállitás után szavatossági kárigények nem támaszthatók a tápanyag gyártási, vagy kivitelezési hibájának tulajdonitandó balesetek esetében. A reaktorok által termelt plutónium és egyéb hasadó anyag a japán kormány rendelkezésére áll, de amig nincsen rá szükség, az Angol Atomenergiahatóság által Angliában, vagy Japánban kijelölt helyen tárolandó. A Japán által nem igényelt hasadóanyagot először Angliának kell felajánlania, ha ez nem tart rá igényt, akkor az angol kormány hozzájárulásával eladható olyan ország számára, ahol megfelelő biztositék van arra, hogy békés célra használják fel.

Dounreay-beli anyagvizsgálói reaktora elérte a kritikus állapotot. A 10 MW-os anyagvizsgálati reaktor, mely pontos mása a Harwellben müködő PLUTO-nak, üzembe került. Május 24-én Robert

Hurst igazgató dusitott uránium-tápanyagot tartalmazó rudat helyezett be, miáltal a reaktor kritikus állapotba jutott. A reaktorban először is urániumot és egyéb fémeket vizsgálnak, melyek gyors szaporitó reaktorban kerülnek felhasználásra. A vizsgálatokat először kis teljesitménnyel végzik, majd lassan emelik a terhelést, hogy minden fokozatra vonatkozólag megszerezzék a szükséges adatokat.

Ausztria első reaktora amerikai gyártmányu lesz. Jóllehet brit cégek is versengtek a megrendelésért, a Bécs melletti atomkutató központ mégis egy 5 MW-os az American Machine and Foundry vállalat által szállitandó "swimming pool" (uszómedence) tipusu reaktort vásárolt. A reaktor kiválasztását az Osztrák Atomenergiakutató Csoport gondosan mérlegelte és az AMF reaktort elsősorban bizonyos müszaki jellegzetességei és az a tény indokolta, hogy szerte a világban az amerikai vállalat széleskörü tapasztalatokra tett szert ilyen reaktortipus épitésével kapcsolatban.

Lengyelország első reaktora üzemben. A Szovjetunió segitségével és müszaki adatai alapján Lengyelország első reaktora (EWA) május 31-én lépett müködésbe Swierkben Varsó mellett. Természetes vizzel moderált és hütött, 10%-ra dusitott uránnal táplált 2 MW teljesitményü reaktorról van szó. Ez év folyamán az Atomtechnikai osztály megkezdi a második kutatási reaktor épitésével kapcsolatos kisérleti munkát. Ezt teljesen maguk a lengyelek épitik és az első megépitendő atomerőmü prototipusául szolgál, melynek befejezését 1965-re tervezik. Az erőmü természetes uránnal táplált, grafittal moderált gázhütéses tipus lesz, melynek teljesitménye vagy 50, vagy 200 MW körül mozog a jelenlegi tervek szerint.

Az EWA-t ugy tervezték, hogy tápanyagcsere nélkül 600 napig marad üzemben. A tápelemek 51 rekeszes aluminiumszerkezetben helyezkednek el, melyek közül mindegyikben 16 csatorna van és a felhasznált uránium-235 sulya 6,5 kg. A tápelemet tartalmazó magot desztillált viz veszi körül, mely moderátorul, hütőanyagul és védőrétegül szolgál. A viz átlaghőmérséklete az aktiv zónában 35 C^{o} és az urániumrudak hőmérséklete maximálisan 90 C^{o}-ra emelkedik.

A reaktortartályból a vizet zárt körben, 900 m^3/ó sebességgel két hőkicserélőbe szivattyuzzák át, melyek a hőt egy 95 m^2-nyi felületen egy második zárt körben 250 m^3/ó sebességgel áramló közönséges viznek adják át. Ebbe a második körfolyamba egy a reaktorépületen kivül levő medence is beletartozik. Az első vizkörből 150 m^3/ó sebességgel szivattyuznak desztillált vizet egy gázelszivóba, hogy a reaktor müködése közben keletkezett durranógázkeveréket kivonja. Ugyanakkor óránként 10 m^3 vizet ioncserélő szürőkön hajtanak át. Ez arra szolgál, hogy a csövek korróziójából adódó esetleges szennyeződést eltávolitsák.

A kisérleti és kutató berendezés 9 60-100 mm átmérővel vizszintes és 10 40-45 mm átmérőjü függőleges csatornából áll, valamint 3 speciális biológiai kutatásokra alkalmas csatornából, egy grafitoszlopból termikus neutronok vizsgálatára és 4 meleg fülkéből, melyeket távvezérlő manipulátorokkal láttak el. Az aktiv zóna felett három elektromágnesekkel tartott biztonsági szabályozó található. Vészjelzés esetén a rajtuk keresztülhaladó áram kikapcsolható és a reaktor fél másodperc alatt leállitható.

Nyugat-Németország angol, gázhütéses, grafittal moderált reaktort vásárol - Dr. Ing. Siegfried Balke professzor, szövetségi atomerőminiszter szerint, aki öt napot töltött Angliában, mielőtt május 18-án visszatért volna Németországba. Itt tartózkodása alatt több megbeszélést folytatott. Nagyon érdeklődött a Calder-Hall-tipusu reaktorok üzemeltetési költségei iránt, összehasonlitotta amerikai tipusokéval és tárgyalt a tórium és plutonium üzemanyag felhasználási lehetőségeiről.

Ausztráliai hütőtavakról. Megkönnyitik a nagyteljesitményü erőmüvek hütőtavainak tervezését az ausztráliai 20 MW-os erőmü tapasztalatai, ahol nagy mértékben használnak fel izotópokat. A meleg vizbe vezetett rádioaktiv jód nyomát Geiger-csővel jelzik.

Uj amerikai aluminiumötvözet atomerőmüvek céljaira. Az Egyesült Államokban, az Argonne National Laboratoriumban uj aluminiumötvözetet dolgoztak ki tápelemek tokolására, amely remélhetően csökkenti az atomerőmüvek költségeit. Az X-8001-nek nevezett aluminiumötvözet 1100-as aluminium mellett kis mennyiségben nikkelt is tartalmaz és vasat, hogy magas hőmérsékletü vizben növeljék a korrozióval szembeni ellenállást.

Gyógymód rádioaktiv sugárzás ellen. Az Amerikai Orvosok Szövetsége (American College of Physicians) évi gyülésén beszámoltak a csontvelő-injekció első sikeres alkalmazásáról; ennek segitségével védik az emberi szervezetet a nagy sugárdózisok hatásaitól.

Atombiztonsági Bizottság felállitása Angliában. Az angol Atomenergiahatóság mellett egy biztonsági bizottság fog tanácsadóként müködni a sugárvédelmi kiképzéssel kapcsolatban. A bizottság hatásköre megfelelő számu szakember, egészségügyi és biztonsági személyzet kiképzése; ezek az Atomenergiahatóság céljain kivül szükség esetén más országos érdekeket is szolgálhatnának. Már a mult év decemberében felszólitották az Atomenergiahatóságot ilyen különleges személyzet összeállitására; a személyzet utánpótlása folyamatban van.

Nuclear Power, 1958.
junius 3/6.

Ujabb fuziós tervekről. Az Atomenergia Bizottság nyilvánosságra hozta további három termonukleáris készülék tervének részleteit, amelyek készülőben vannak a los-alamosi PERHAPSOTRON-on kivül, amely ugyanolyan alapon müködik mint az angol ZETA. Az Amerikai Fizikai Társaság tavaszi összejövetelén nyilvánosságra hozták azokat a tanulmányokat, amelyek leirják a SHERWOOD programot, amelynek célja a nehéz hidrogén plazmát igen magas hőmérsékletre felheviteni.

A kaliforniai egyetem Sugárzási Laboratoriumában mágneses fal előállitásával kisérleteznek, ezt "mirror machine"-nek nevezték el. Az ionokat erős mágneses térbe lövik be, amelyet egy hosszu, egyenes csövet körülvevő két tekercs állit elő. Az ionok kezdetben a térre csaknem pontosan merőleges spirálisokban keringenek. Azután megnövelik a tekercsekben keringő áramot és a most már erősebb mágneses tér a tekercsek végén mágneses tükörként müködik, ugy, hogy visszaveri a plazma részecskéit. A cél a plazmát középre szoritani, mig a fuzió létre nem jön.

A princetoni egyetem STELLARATOR-a "mágneses szivattyuzást" alkalmaz; a gázt rendkivül erősen változó mágneses térbe helyezik. Arra a megállapitásra jutottak, hogy a plazmának az a tendenciája, hogy a falak felé sodródjék, nagy mértékben kiküszöbölhető azzal, ha a torust nyolcas alakura hajlitják. Azt is vizsgálják, nem lehetne-e magát a mágneses teret kedvezően kialakitani.

Az oak-ridgei laboratóriumban folyó munka a legujabb jelentés szerint arra irányul, hogy forró deutérium molekula-ionokat lőjjenek közvetlenül a plazmába nagyfeszültségü elektromos iv segitségével. A molekula-ionok deutérium ionokra (deuteronokra) és deuterium atomokra bomlanak szét. Az atomok kiszöknek a falon, de a forró ionok kisebb pályákra fogódnak be a plazmát hevitő mágneses térben. Ez nem uj elgondolás, és csupán azon mulik, hogy jó hatásfokkal disszociálnak-e a molekula-ionok. Kedvező előhaladást értek el a legujabban kifejlesztett nagy áramerősségü nagy vákuumban létrehozott ivvel. Ezt a módszert folyamatos belövéssel a kaliforniai egyetem sugárzási laboratoriumában használatos tipusu egyenáramu "tükröző" tekercsek segitségével alkalmazták.

Nuclear Power, 1958, junius 3/6

Ujabb kisérletek a ZETA-val. Harwellben a legutóbb lefolytatott kisérletek igazolták azt a tényt, hogy a megfigyelt neutronok többsége - bár fuzióból származik - nem termonukleáris eredetü. Amikor Dr.B.F.J. Schonland, az AERE igazgatója ezt Londonban május 16-án bejelentette, elmondot-

ta, hogy Rose és Taylor fizikusok megmérték a neutronok energiáját ködkamrával. Azt találták, hogy a neutronok nagy többsége nagy energiáju (20 keV) deuteronok fuziója során keletkezik, s ezek lassu neutronok, ennélfogva nem igazán termonukleárisak. Dr. Schonland szerint még mindig nem világos, hogyan jutottak a deuteronok ilyen nagy energiához, amelyek néha 10-szer nagyobbak, mint amekkorákat várni lehetne, ha tisztán ellenállás-fütésről van szó, de ugy látszik, hogy ezek a kezdeti impulzusokkal függenek össze. Emlékeztetett arra, hogy a korábbi kisérletek során a neutrontermelés kb. 20-szor magasabb volt, mint amennyi termonukleáris eredetü neutront várni lehetett volna. Az igazgató azt mondotta, hogy ez a megállapitás nem csökkentette a korábbi eredmények jelentőségét amellett, hogy nagy értékünek bizonyult. Semmi ok sincs kételkedni benne, hogy ha a ZETA-ban a mostaninál 100-szor hosszabb impulzusokat alkalmaznak, ez a deuteronoknak időt ad arra, hogy termikus egyensulyba jussanak és igy ideális termonukleáris viszonyok jönnek létre.

Dr.P.Thonemann, a harwelli CTR osztály vezetője azt mondotta, hogy a most végbemenő változtatás a ZETA-n 200 000 amperről egy millió amperre növeli az áramot és az impulzusok ideje néhány ezred másodpercről 1/10 mp-re emelkedik, s igy 10 millió fok szpektroszkopikusan mért hőmérséklet várható s ekkor valóban termonukleáris eredményeket nyernénk. Ezzel párhuzamosan más kisérletsorozatokat is terveznek, melyekhez sokkal szerényebb kisérleti berendezés szükséges.

Megkezdték a Savannah-nak, a világ első atommeghajtásu utasszállitó hajójának épitését. Camdenben május 22.-én, az amerikai országos tengerésznapon a New York Shipbuilding Corporation megkezdte ennek az atommeghajtásu hajónak épitését. A hajót az amerikai Tengerészeti Igazgatóság és az Atomenergia Bizottság együttes irányitásával konstruálták és vizrebocsátását jövőre, első utját 1960-ra tervezik. 60 utason kivül 10 000 tonnányi rakományt fog szállitani. A hajó vizkiszoritása 21 000 tonna, teljesitménye 20 000 lóerő tengelyen. 15 millió fontsterlingbe kerül, amelyből a Babcock & Wilcox-féle nagynyomásu vizzel hütött reaktor kb. 10 millió fontsterlinget tesz ki.

Nuclear Power, June 1958 3/6

Az Egyesült Államok és Kanada uránium-eladásai. Az Egyesült Államok és Kanada kormányai kijelentették, hogy lehetővé vált urániumérc és koncentrátumok vásárlása békés célokra hazai, valamint tengerentuli fogyasztók számára. Minden eladást az US Atomic Energy Commission /KA USAEC/ vagy a kanadai Atomic Energy Control Board (AECB) engedélyéhez kötnek, de ugy látszik, hogy bármilyen mennyiségben engedélyezik mindazoknak az országoknak, amelyek kétoldali szerződést

kötöttek az Egyesült Államokkal vagy Kanadával az atomenergia békés felhasználására. 100 kg-ig terjedő mennyiségben közönséges uránium eladható bárkinek kutatási célokra, de egy ország sem kaphat többet 1000 kg-nál hacsak nincs meg kétoldali szerződése.

Az USAEC közleménye szerint lépések történtek arra, hogy az Egyesült Államok ipara a mindinkább növekvő külföldi és hazai piacokért folyó versengésben résztvehessen nukleáris tápanyagaival. Feltételezhető, hogy a már most müködésben levő 18 urániumfeldolgozó üzem és azok, amelyeket még épitenek vagy terveznek, megfelelő mennyiségü koncentrátumot fog termelni ahhoz, hogy kielégitse az Atombizottság igényeit és a növekvő kereskedelmi igényeket. Tervbevették az AEC részére megegyezésen felüli urániummennyiség felszabaditását is. A plutonium, U-233, U-235 mint lehetséges bombaanyagok továbbra is csak kormányok rendelkezésére állnak és nem adhatók el közvetlenül a magánpiacnak. Ausztrália, Belgium, Kanada, Nyugat-Németország, Franciaország, Olaszország, Hollandia, Norvégia, Spanyolország, Svájc, Dél-Afrika és az Egyesült Királyság azok az országok, amelyek egyezményt kötöttek az Egyesült Államokkal, s igy bármilyen mennyiségü urániumot kaphatnak.

Gordon Churchill kanadai közlekedési és kereskedelmügyi miniszter elmondotta, hogy a magánpiac részére történő eladások csak a kormány szervének, az Eldorado Mining and Refining igényeinek kielégitése után engedélyezhetők, s ha ennek már a szerződésen felüli urániumkészlete van. Jelenleg minden urán az Eldoratonak van lekötve, amelynek szerződése van az UKAEA-val és az USAEC-val.

Az amerikai, kanadai és délafrikai termelőknek 1960-ig szóló szerződéseik vannak; ezeket nagyon előnyös feltételekkel kötöttek akkor, amikor még az uránium-lelőhelyek biztositása volt a nyugati kormányok legfőbb gondja. Ha a szerződések lejárnak, szinte bizonyosra vehető, hogy az árak a kereslet befolyásolását szolgáló tényezőkké válnak. A három nagy nyugati termelő közül a második Dél-Afrika, és ennek termelését most vitatja meg a bányászati miniszter és az atomerőfejlesztési hatóság egyesitett angol, kanadai és amerikai küldöttsége.

Atompraxis, 1958.junius.

A "röntgen"-nek a Radiologiai Egységek Nemzetközi Bizottsága ülésén (1953-ban) javasolt meghatározásáról.

A "röntgen" egységet először 1928-ban Stockholmban definiálták, a következőképpen: A röntgensugarak nemzetközi egysége az a röntgensugármennyiség, mely ionizációs kamrában 0 C° hőmérsékletü, 760 Hg mm nyomásu, 1 köbcentiméternyi levegőben, az összes szekunder-elektronokat számitásba véve - a háttéreffektust kikapcsolva - olyan vezetőképességet hoz létre, amely - telitési árammal mérve - éppen egy elektroszta-

tikus töltésegységnek felel meg.

Az 1937. évi Chicagoi Konferencia a következő meghatározást szögezte le: 1 röntgen az a röntgen vagy gammasugármennyiség, mely 0,001293 gramm levegőben akkora korpuszkuláris sugárzást hoz létre, amely levegőben 1 el.sztat. egységnyi - pozitiv vagy negativ - elektromos töltést kelt ionizáció során. Az 1953. évi értekezleten tett javaslat megtartja a csikágói definiciót, csak a "sugármennyiség"-et próbálja közelebbről meghatározni. Ugyanis, ha a csikágói meghatározást összehasonlitjuk a számos országban némileg még módositott definiciókkal, azt látjuk, hogy egyértelmü, helytálló meghatározás még mindig nem született. Ezért javasolják a röntgennek nemzetközi alapon ujból való meghatározását, melyben kifogástalan, világos módon kellene tisztázni az alábbi pontokat:

1) Mit mérünk röntgennel: a sugárzás ionizálóképességét, az ionizáció mennyiségét, avagy energiamennyiséget?

2) Ha az energia mennyiségét mérjük, mely energiáét:

   a) azét az energiáét, melyre a besugárzott tárgy szert tesz,

   b) a korpuszkuláris sugárzás keletkezéséhez felhasználódott energiáét, avagy

   c) azét az energiáét, mely az ionizációs, illetve gerjesztési folyamatok közben elnyelődik?

3) Abszolut mennyiséget mérünk, avagy tömegre, térfogatra vagy felületre vonatkoztatjuk a mennyiséget?

4) Ha tömegre, vagy térfogatra vonatkoztatunk, melyekre:

   a) arra a besugárzott térfogatra, melyen belül korpuszkuláris sugárzás létrejött, avagy

   b) arra a térfogatra, melyben az ionizáció illetve gerjesztés végbement?

5) A lerögzitett definicióra vonatkozó összefüggéseket matematikailag kell felállitani s az alkalmazott állandókat egyértelmüen kell megadni.

(Eredeti cikk megjelent: Atomnaja Energija, III/9, 238 (1957)

Uj urániumkutató módszert dolgozott ki két amerikai fizikus, M.L. Jensen (Yale-i Egyetem) és E.Grutt (Amerikai Atomenergiabizottság). Az urániumlelőhelyek felkutatására szolgáló uj módszer a talajból kiáramló kénhidrogén vizsgálatán alapul: ugyanis, ha ezt a gázt tömegspektrográffal vizsgáljuk, megállapithatjuk, hogy áthaladt-e rádióaktiv területeken. Igy könnyebben, és nagyobb pontossággal mérhető a rádioaktiv rétegek által kibocsátott sugárzás erőssége, mint

Geiger-Müller számlálóval, főleg ha mélyen fekvő rétegekről van szó.

Besugárzásos gumivulkanizálási eljárás irányában végzett kutatásokat a Goodrich cég. (Az eddig alkalmazott eljárást 1843-ban Goodyear találta fel: a természetes gumihoz kevés, 2-5 % ként kevernek s a keveréket 100-140 C°-ra hevitik; a guminak a kénkloriddal létrejött reakciója következtében a természetes gumi oldhatatlanná válik, magas hőmérsékletnek és mechanikai behatásoknak erősen ellenáll).

Minthogy müanyagoknál már kidolgoztak sugárzással történő átültető és rácsmódszereket, logikusnak látszott, hogy hasonló eljárásokkal kisérletezzenek a guminál is. A Goodrich-gyár laboratoriumában négy részből álló, egyenként 450 gramm rádioaktiv kobalt-60-at tartalmazó sugárforrást készitettek, s azt öt tonna sulyu ólomágyban helyezték el. Ezzel a forrással sugároztak be számos gumi-pigment kombinációt s ugy látszik, sikerült iparban alkalmazható módszert kidolgozni. - Az automatikus gumivulkanizálás elve egyszerü: A gumiabroncsot egy vizzel töltött, 5 méter mély tartály alján elhelyezett, többrészes sugárforrás fölött lassan forgó fém öntőmintába helyezik. A sugárzás megváltoztatja a gumi molekulaszerkezetét és olyan tulajdonságokat kölcsönöz a guminak, amilyeneket eddig vulkanizálással értek el.

Miután a gumiabroncsot kiemelték a tartályból, megvizsgálják, nem kapott-e rádioaktiv "szennyezést"; ilyen esetben különleges eljárással "lemossák" az abroncsot.

Remélik, hogy az automatikus vulkanizálás, amely amellett, hogy jóval gyorsabb, mint az eddigi eljárás és sem hevitést, sem vegyszerekkel való kezelést nem igényel, - ellenállóbbakká teszi az abroncsokat és élettartamukat növeli.

Die Atomwirtschaft, 1958.március

A Német Szövetségi Köztársaság pályázati felhivást adott ki az első két nagyteljesitményü atomerőmü épitésére; a kivánt teljesitmény 200-250 elektromos MW. A pályázatokon angol és amerikai cégek vesznek részt német partnereikkel. Mindkét pályázat felől 1958. májusáig döntenek.

Olaszországban a SENN és az AGIP Nucleare után most az EDISONVOLTA felügyelete alatt álló SELNI, Milano, is bejelentette, hogy a Westinghouse Electric Co.-val megállapodást kötött egy nagyteljesitményü atomerőmü épitésére nézve. Az atomerőművet Észak-Olaszországban állitják fel a Tirréni tenger partján; reaktora nagynyomásu vizzel müködik, teljesitménye 134 el. MW. Az erőmü költségeit összesen 27 milliárd lirára (180 millió német márka), azaz kilowattonként 300 dollárra becsülik. A reaktor üzemanyaga 2,6 % U-235-ra dusitott uránium-

oxid lesz, melyet az olasz-amerikai atomerőmü-megállapodás keretében szállitanak Olaszországnak. - Kétféle megoldás jöhet számitásba: 147 MW bruttoteljesitmény (netto 138 MW) telitett gőzzel, vagy 236 MW brutto-teljesitmény (netto 225 MW) a hagyományos tulhevitővel. - A végleges megállapodást az olasz engedélyek kiadása után fogják rögziteni.

A Pisai Egyetem is kap egy atomkutatócentrumot - Pisa és Livorno között, San Pietro in Grado közelében. A kutatóközpontban felállitandó 3000 - 5000 KW teljesitményü "swimming pool" (uszómedence) tipusu reaktor épitésére nézve most tárgyalnak amerikai cégekkel. A reaktor mellett laboratoriumokat és kiképzési célokra szolgáló épületeket létesitenek. A kutatóközpont egyben a livornoi Hajózási Akadémia rendelkezésére is fog állni.

Az Atomic Energy of Canada - a NPD kisérleti atomerőmü után - most egy 200 MW atomerőmü felállitását tervezi. Programm szerint az erőmü reaktorának üzemanyaga dusitatlan uránium-oxid lesz keramikus gömbök alakjában, moderátora nehézviz; kb. 3 1/2 - 4 év alatt készül el. A kivitelezést főleg kanadai iparvállalatok, a kisérleti vizsgálatokat a Chalk River-i reaktorállomás végzi. Igyekeznek 0,8 %-os kiégést elérni, igy az évi üzemanyagszükséglet csak 30 tonna urániumoxid lenne.

A svédországi AB Atomenergi, mely a svéd Állami Elektromosmüvek második atomerőmüvét, az EVA hőerőmüvet tervezi, az ASEA-val és a Nydqvist & Holm AB-vel együttmüködve kidolgozza az erőmü számára legjobban megfelelő reaktorkonstrukciót. Az első tervek szerint nehézvizzel moderált és nehézvizzel vagy gázzal hütött, természetes urániumreaktor jött szóba.

Az USAEC engedélyt adott a Yankee-Atomic Electric Co.-nak egy 134 000 el. kW teljesitményü viznyomás-reaktoros atomerőmü épitésére Rowe-ban (Massachusetts).

Üzemanyaga 25 tonna 2,7 % U-235-re dusitott uránium (a tápelemek acéltokokban). Az erőmü költségvetése kezdeti becslés szerint 35 millió dollár volt, ezt azonban a mai számitások szerint jóval tul fogják lépni s az USAEC 5 millió dollárral járul hozzá az épitési költségek pótlásához. Ennek ellenére kilowattóránként csak 12-15 tized centes áramköltségekkel számolnak. A reaktor 38 m átmérőjü, 1800 tonna sulyu; gázmentesen tömitett acélgömb-burkolatának elkészitésére a Chicago Bridge & Iron Co. kapott megbizást, ára 1,5 millió dollár.

Ez év januárjában került először kritikus állapotba az a nulla-energiáju reaktor, mely a Yankee Atomic Electric Co. megbizásából épitendő atomerőmü viznyomásreaktorának kisérleti készülékéül szolgál.

Februárban került először kritikus állapotba a "Savannah" nevü első kereskedelmi atomhajtásu hajó viznyomásreaktorának kikisérletezésére szolgáló,nulla energiáju reaktor.

Az USA hadserege részére APPR tipusu, szállitható atomerőmü épitését engedélyezték Alaszkában. Az erőmü kis viznyomásreaktorát 10,5 millió kcal/óra gőz és 1700 kW villamosenergia termelésére tervezik; a gőzt fütésre forditják. Ez a reaktor továbbfejlesztett alakja egy a hadsereg részére már korábban épitett, 2 el. MW teljesitményü reaktornak.

További szállitható kis atomerőmüvek kidolgozására ad megbizást az USA hadsereg, azzal a kikötéssel, hogy a reaktorok elektromos teljesitménye legfeljebb 2 MW, sulyuk és terjedelmük igen kicsi legyen. Huszonnyolc ajánlattevő közül négy vállalat nyerte el a megbizást (General Electric Co. stb.)

Epitermikus tóriumreaktor kidolgozására kötött szerződés a 15 résztvevő cégből álló Southwest Atomic Energy Associates a North Americal Aviation-nel. A megállapodás 5,3 millió dollárt biztosit egy modern konstrukcióju epitermikus reaktor kidolgozására, melynek üzemanyaga U-233, hütőanyaga nátrium s moderátora - amennyiben lesz - berillium vagy grafit. A négy évre terjedő munkálatok végén megpróbálják kritikussá tenni a reaktort,s amennyiben eredményes lesz, kisérleti atomerőmüvet is épitenek.

Az Egyesült Államokban müködő kisebb vizforraló reaktorok közül előbb az EBWR, s ujabban a DBWR (Development Boiling Water Reactor, Vallecitosban) is jóval nagyobb teljesitményt nyujtott, mint a terv szerinti: 20000 termikus kW helyett 30000 term. kW, amely 6500 elektromos kW elérését biztositja (a reaktor generátora 5000 kW-ot ad). A teljesitménytöbbletet mindennemü konstrukcióváltozás és üzemanyagpótlás nélkül érték el.

Az Amerikai Gáz- és Elektromos Társaság vezetése alatt álló East Central Nuclear Group a floridai nehézvizreaktor-tervben való részvétele mellett külön tervet is kidolgoz olyan természetes uránium-nehézvizreaktor épitésére, amelynél az alacsony nyomásu gőzt a turbinából a kondenzált vizzel együtt vezetik ki, majd - tulhevitett gőz előállitása céljából - visszavezetik a reaktorba. A tervet a Nuclear Development Corp. of America dolgozza ki.

Az ipari célokra szolgáló anyagvizsgáló reaktorok számát 22 éven belül az USAEC 17-re szándékszik növelni. Ebből 1962-ig négy az USAEC katonai és civil reaktorfejlesztési programmjához szükséges. Egy vizsgáló reaktor végezheti azokat a

besugárzásokat, melyek hat teljesitményreaktor épitéséhez szükségesek. Később, ha majd csökkenni fog a kivánatos vizsgálatok száma, egy vizsgáló reaktor 20 teljesitményreaktort is ki fog tudni elégiteni.

Szerves hütőanyagok lehetőséget adnak arra, hogy a reaktorok hütő- és moderátorrendszerében kisebb legyen a nyomás; ezáltal egyszerü és olcsóbb lesz a reaktor. A MONSANTO CHEMICALS Co., St. Louis, eddigi vizsgálatai alapján legjobban megfelel a fenti céloknak a monoizopropyldifenil és difenil. A szerves folyadékok nem okoznak rozsdásodást és - a viz mellett - egyedül ezek képesek a neutronokat lefékezni. Besugárzás alatt változásokat szenvednek ugyan, de a keletkezett tisztátlanságok desztilláció utján könnyen eltávolithatók.

Ausztria leállitotta sulypát-behozatalát, mert Graz közelében kb. 100 000 tonna sulypáttartalékot tartalmazó régi tárnát fedeztek fel, melyet rövidesen ujra üzembehelyeznek. Eddig évente kb. 8000 tonnát importáltak, melyet többek között reaktorbetonnak használtak fel.

A bóracél -magas neutronelnyelési keresztmetszete miatt - igen fontos a reaktoroknál; eddig azonban, ha magasabb bórtartalmu volt az acél, hideg, illetve meleg hatására olyan törékennyé vált, hogy nem lehetett feldolgozni. Most azonban sikerült a bórtartalom szerint megválasztott mennyiségü aluminium hozzáadásával melegen sajtolható, 4 % B tartalmu acélokat és önthető acélokat 6 % bórtartalommal előállitani. Rudak, csövek és lemezek alakjában szállitják.

Niobium-ötvözeteknek reaktorszerkezeti anyagoknál való alkalmazásán dolgozik az amerikai DUPONT konszern. Remélik, hogy ezek az ötvözetek a reaktor kritikus szerkezeti részeiben - pld. turbinalapátoknál - 1000 C° hőmérsékletet is ki fognak birni. Az eddig elért hőmérsékleti maximum 900 C°. Az ötvözethez szükséges niobiumot nagy vákuumban elektronokkal bombázva megolvasztják, ezáltal a szennyezések kiválasztódnak.

Kórházi fehérnemü, müszerek sterilizálása gamma-sugarakkal.

Dr.Seligmann (Harwell) kutatásai nyomán, valamint az USA-ban folyó hasonló vizsgálatok alapján ugy látszik, hogy igen kis gamma-dózisokkal történő, hosszas besugárzással a kórházi fehérnemü és sebészmüszerek - főleg a ritkán használatosak olcsóbban sterilizálhatók, mint a szokásos gőzben való fertőtlenitéssel, s emellett a fehérnemü sokkal kevésbé rongálódik.

Három évig és 8 hónapig sugározták be az amerikai MTR reaktorban azt a Co-59-et, melyből az Argonne-i Rákkutató Kórháznak juttatott kobalt-60 forrást nyerték. A forrás aktivitása 2600 Curie, specifikus aktivitása 226 C/gramm. Eddig a legmagasabb specifikus aktivitás, melyet az AEC elő tudott állitani, grammonként 100 C volt.

Atomkernenergie 3/1., 1958.jan.

Német atomtervek. A német teljesitményreaktor-épitési programm első szakasza összesen 500 MW elektromos teljesitményt irányoz elő. Ennek keretében négy terven dolgoznak.

1.) Egy gázhütésü, grafittal moderált, természetes uránium-reaktor, teljesitménye: 100 MW. - Épiti a Babcock & Wilcox A.G. Oberhausen.

2.) Egy nehézvizzel moderált és hütött, szintén 100 MW teljesitményü, természetes urániumreaktor. - Épiti az AEG.

3.) Egy természetes vizzel hütött és moderált reaktor Erlangenben, enyhén dusitott urániummal, el. teljesitmény: 100 MW. Épiti a Siemens Schuckert Müvek.

4.) Egy 15 MW el. teljesitményü (magas hőmérsékletü) kisérleti teljesitményreaktor, gázhütéssel és dusitott urániummal. Épitik közösen a BBC, Mannheim és a KRUPP Müvek, Essen. Ezeket a reaktorterveket 500 MW elektr. teljesitményre fogják kiegésziteni, sőt ezen tulmenően is épülnek még reaktorok összesen 1000 MW teljesitményig. Az 500 MW-os programm anyagszükséglete a következő:

400 tonna	term. uránium
40 "	enyhén dusitott (1-1,5 %) uránium
300 kg	20 %-ra dusitott uránium
2000 tonna	grafit
150 tonna	nehézviz
50-60 tonna	cirkónium
50 tonna	tórium.

E szükségleteket a következőképpen szándékoznak fedezni:

a.) Hazai uránium felkutatása és feldolgozása terén minden lehetőséget kihasználnak.

b.) Az uránium további feldolgozására megvannak a technikai előfeltételek (urániumanyag, urániumoxid és uránium-karbid), ezeket tovább kell fejleszteni.

c.) Dusitott urániumot az USA-ból kell importálni; saját izotóp-elválasztóberendezés felállitásáról egyelőre nics szó.

d) Évi 10 tonna tóriumtermelést irányoznak elő, melyet egy urániumérc-feldolgozóüzem fog előállitani.

e) Évi hat-nyolc tonna nehézviz, melyet a Nehézvizkisérleti Üzem állit elő, nem elegendő, a pótlandó mennyiséget az USA-ból szerzik be. Ezenfelül tervbe van véve két más eljárással dolgozó kisérleti berendezés felállitása és ha már kialakul a jövőbeli szükséglet, egy nagyobb berendezés épitése.

f) Grafit elegendő mennyiségben áll rendelkezésre a Szövetségi Köztársaságban. Nagy tisztaságu grafitot már exportálnak is.

g) Cirkóniumban az ország évi termelése elérheti a 25 tonnát. Folyamatban van reaktorokhoz szükséges különleges acélok kidolgozása.

h) A reaktorok tápelemeit az országban állitják elő, erre a technikai feltételek adva vannak. Elhasznált elemek ujrafeldolgozása eleinte az OEEC keretében fog történni, későbbre tervbe vették évi 300-500 tonna kapacitásu feldolgozóüzem létesitését.

i) Anyagvizsgálati célokra egyelőre elegendő a Stetternich bei Julich-i és a karlsruhei reaktor. Az EURATOM-közösség keretében mielőbb felállitanak (valószinüleg a Saarvidéken) egy amerikai ETR-reaktort.

Különleges figyelmet forditanak a biztonsági és helymegválasztási problémákra, ujfajta elektronikus ellenőrző készülékek fejlesztésére, sugárvédelemre stb.

A német reaktorprogramm második részét képezi

1) mint elsőrendü feladat: a plutoniumtechnológia fejlesztése; tervbe vették egy erre a célra berendezendő intézet létesitését,

2) a hasadóanyagoknak energiatermelésen kivüli hasznositása,

3) előkészület tenyészreaktorok, gázturbinás reaktorok, homogén reaktorok épitésére, mellyel külön fejlesztési csoport fog foglalkozni.

Ütemezés:

A. Reaktorok.

Az épitésnek 1965-re kell befejeződnie. Ennek megfelelően kell a szállitó iparvállalatoknak a szükséges uj előállitóberendezésekről gondoskodniok.

B. Uránium

1958. tavaszán: urániumfeldolgozó üzem létesitése

1959. végétől kezdve: évi 150 tonna urániumkoncentrátum folyamatos szállitása.

1959: 60 kg UF_6 (20 %-ra dusitott uránium) szállitása.

1960 eleje: az urániumfeldolgozó üzem megkezdi termelését.

1961: dusitott uránium kiegészitő szállitása.

C. Nehézviz

1958: 25 tonna előállitása

1959: további 15 tonna előállitása

1961: további 100 tonna "

D. Grafit

1961: 2000 kg reaktor-grafit szállitása

E. Tápelemek

1958: évi 150 tonna kapacitásu gyártóüzem épitésének megkezdése;

1958. vége: évi 25 tonna kapacitásu cirkóniumfeldolgozó üzem épitésének megkezdése.

1960: Mindkét üzem megkezdi a termelést.

F. A biztonsági problémák megoldását, a plutóniumintézet épitését és a tökéletesitett reaktortipusok fejlesztését lehetőleg azonnal el kell kezdeni.

A programm kivitelezésének költségvetése 1965-ig a következő összeget tartalmazza:

4 atomerőmü	600-800 millió DM
urániumtermelés	100 "
cirkóniumberendezés	5 "
évi 150 tonnát termelő tápelemüzem	20 "
grafit (a berendezések megvannak)	-
nehézvizberendezés (évi 50 tonna)	50 "
tápelemfeldolgozó berendezés	120 "
ETR reaktor (az Euratom finanszirozza)	-
biztonság, plutónium, technológia, korszerü reaktorok tervezése	800 "
Euratom-hozzájárulás	500 "
	2200-2400 millió DM

Az az első jól körülhatárolt atomprogramm, amely szerény ugyan, de meg fogja mutatni, hogyan lehet a programmot időben kivitelezi. A jelenlegi német pénzügyminiszter határozottan az atomprogrammfejlesztés mellé állt, a jövő évi költségvetésben az atomminisztérium már 235 millió márkával szerepel s igy a programm pénzügyi tekintetben is biztositottnak látszik.

Amerikai reaktorfejlesztési programm. Az AEC 1958. évi 2,32 milliárd dolláros atomenergiaköltségvetésének tárgyalása folyamán csökkentették a detroiti szaporitó reaktorra szánt hozzájárulás összegét s valószinü, hogy ezzel a tervet fel is adják.- Ugyanakkor ... Arcoban a reaktortelepen egy Calder-Hall-tipusu, 40 MW-os reaktor épitését határozták el.

Az Atomic Industrial Forum mult év októberében tartott 4-ik évi konferenciáján New-Yorkban a teljesitményreaktorok fejlesztése állt az előadások előterében. Egyelőre azt állapitották meg, hogy az USA-ban minden tervezés vagy épités alatt álló reaktorrendszernél az összköltségek lényegesen, sokszor kétszeresére emelkedtek, ellentétben azzal a várakozással, hogy a reaktorépités terén szerzett egyre több tapasztalat következtében csökkenni fognak a költségek. Ezt általában azzal magyarázzák, hogy az első költségvetéseket fizikusok, vegyészek készitették s a gyakorlat, a mérnökök költségvetése, mást eredményezett. Ezenkivül az anyag és berendezés ára is növekedik, évente 5-10 %-kal. Remélik azonban, hogy a következő 10 év folyamán 15-35 %-kal csökkenni fog a reaktorok tőkebefektetése, egyrészt, mert nagyobb atomerőmüvek épülnek, másrészt, mert jobban megismerik a reaktor-folyamatokat.

Az árak emelkedésének fő okául azt tartják, hogy a szállitóipar tul alacsonyan adta meg a költségeket. Ipari körök becslése szerint a reaktorba beépitett minden egyes dollárra 80 cent esik a felszerelés minden darabjával kapcsolatos fejlesztési munkák miatt. Ennek felismerése és a reaktorpiac egyelőre még korlátozott volta vezetett arra, hogy egyes cégek visszavonulnak a reaktorépitéstől, vagy csökkentik reaktorrészlegeiket s inkább a szállitó szerepét töltik be, reaktorspecialistáikat elbocsátják. A reaktorfejlesztés egyre inkább néhány nagy cég, mint a Babcock & Wilcox, a General Electric Co., a North American Aviation, a Nuclear Development Associates, a Westinghouse privilégiumává válik.

Ehhez járul az USA-ban, bár 15 év óta müködnek reaktorok, nincs a reaktorprogrammnak világos irányvonala. Épp ezért Davis, az AEC reaktorrészlegének vezetője, a programm sulypontját egy néhány éven belül gazdaságosan müködő reaktortipus kifejlesztésére kivánja helyezni s javasolja, hogy az ipar szoritkozzék közönséges vizzel moderált - viznyomás vagy vizforralótipusu - reaktorok épitésére. Példaképül áll e tekintetben az angolok egy vágányon haladó programmja, a Calder-Hall tipus, mely mint exportált tipus is jól bevált.

Az AEC 1956/57.évi pénzügyi jelentése szerint

a kiadások közel 2 milliárd dollárra rugtak s a következőképpen oszlottak meg:

hasadóanyag előállitása	787	millió	dollár
kiindulási anyagok beszerzése	402	"	"
fegyverek kidolgozása és előállitása	337	"	"
reaktorfejlesztési programmra	276	"	"

kémiai, fizikai és metallurgiai kutató munkára	59	millió dollár
orvosi és biologiai kutatómunkára, főleg rákkutatásra	33	" "
igazgatás, kiképzés, valamint hozzájárulás anyagoknak a magánipar és külföld részére történő eladásánál.	74	" "

A jelentés szerint 4,488.000 dollár értékben adtak el nehézvizet Kanadának, Franciaországnak, Nagybritanniának, Belgiumnak és amerikai cégeknek. Reaktorüzemanyag eladásából 2,1[illegible] 2,198.000 dollár, radioizotopok eladásából 2,9 millió dollár volt az AEC bevétele.

A reaktorfejlesztési programm költségvetése szerint teljesitményreaktorok kisérleti müveire 56 millió dollárt, kutatóberendezésekre 1,499.000 dollárt, a hadsereg részére szolgáló reaktorokra 2,956.000 dollárt, egy repülőgépmeghajtó reaktorra 86 millió dollárt, hajóreaktorokra 99 millió dollárt irányoznak elő. A fennmaradó 28 millió dollár egyéb reaktorprogrammokra oszlik meg.

A Windscale-i reaktorbalesettel kapcsolatban a londoni hivatalos közlemény nem tett említést arról a sajtóban részletesen tárgyalt feltevésről, mely szerint a balesetet a windscalei plutoniumreaktorral végzett speciális hidrogénbombakisérlet okozta volna. A hivatalos közlemény szerint a baleset a Wigner-effektusra vezethető vissza, illetve ezzel kapcsolatosan az "üzemeltető személyzet megitélési hibájára" és "a felszerelés hiányosságaira". Különösen hangsulyozza a londoni hivatalos közlemény, hogy ilyen balesetek a Calder Hall reaktoroknál nem fordulhatnak elő.

x x x

Kiadvány száma: J-IX/60
Alak A/4 Ivszám: 23.5
Megjelent 200 pld-ban
Megjelenés ideje: 1958.szeptember
Kiadásért felelős: az ÉM. Dokumentációs és Nyomtatványellátó Vállalat igazgatója
Készült:
az É.M. Dokumentációs és Nyomtatványellátó Vállalat sokszorositó üzemében
Tsz.: 137

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

309.024

ATOMTECHNIKAI TÁJÉKOZTATÓ

1. ÉVF. 4. SZÁM 1958. NOVEMBER

AZ ORSZÁGOS ATOMENERGIA BIZOTTSÁG
MEGBÍZÁSÁBÓL KIADJA A
M.T.A. KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZETE
DOKUMENTÁCIÓS OSZTÁLYA

ATOMTECHNIKAI TÁJÉKOZTATÓ

1. ÉVF. 4. SZÁM 1958. NOVEMBER

AZ ORSZÁGOS ATOMENERGIA BIZOTTSÁG
MEGBIZÁSÁBÓL KIADJA A
M.T.A. KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓINTÉZETE
DOKUMENTÁCIÓS OSZTÁLYA

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

Szerkesztette, forditotta, lektorálta és kiadta:

a

Magyar Tudományos Akadémia

Központi Fizikai Kutató Intézete
Dokumentációs Osztálya

Felelős kiadó:
Fóti Ernő

Lektorok:

Barlai Katalin és Illy József

Készült:

a M.T.A.Központi Fizikai Kutató Intézet Romayor-sokszorositógépén.
Kézirat beérkezett: 1958.nov.17.
Példányszám: 200

Bevezetés

Tájékoztatónk legujabb számát az Atomenergia Békés Felhasználása II. Nemzetközi Konferenciája /Genf, 1958.szept. 1-13./ anyagából állitottuk össze.

A cikkek tulnyomó része az atomenergia jövőjével, az egyes országok atomenergiaprogramjával foglalkozó G/2-es számu általános ülésen elhangzott előadások és az ezeket követő vita anyagának forditásai, ill. - néhány cikknél - kivonatai.

A két utolsó cikk a nukleáris technikai oktatás kérdéseivel, ill. a reaktorok üzemeltetésének sugáregészségügyi kérdéseivel foglalkozó általános ülések jegyzőkönyve.

Budapest, 1958. november 25-én.

A Szerkesztőség

TARTALOMJEGYZÉK

Oldal

Az atomenergetika jövője a Szovjetunióban
- V.S.Jemeljanov 1

A Brit Egyesült Királyság atomenergiafejlesztési programja.
- W.Strath 14

Az atomenergia fejlesztésének főbb irányvonalai az Egyesült Államokban.
- W.K.Davis, U.M.Stabler 35

A kanadai atomenergiaprogram
- W.B.Lewis 62

Az atomenergia és Franciaország energiaellátási problémái.
- P.Ailleret 69

A lengyel atomenergiaprogram célkitüzései
- S.Andrzejevski 78

Az atomenergia felhasználására vonatkozó kilátások a Román Népköztársaságban 94

A svéd atomenergiaprogram
- G.Cederwall 97

Az atomenergia kérdése Hollandiában 103

A G/2. általános ülés jegyzőkönyve 110

A G/5. általános ülés jegyzőkönyve 139

A G/23.a. általános ülés jegyzőkönyve 167

Hirek 201

AZ ATOMENERGETIKA JÖVŐJE A SZOVJETUNIÓBAN

V.S. Jemeljanov

A II.Genfi Konferencia A/CONF. 15/P/2027 cikk

A tudomány és a technika fejlődése az első genfi konferencia óta nagy mértékben kiszélesitette elképzeléseinket az energetika továbbfejlesztésének a közeljövő energiaszükséglete kielégitésének és a jövő sokatigérő energiaforrásainak lehetőségei tekintetében.

Az elmult három év az atomenergetika területén hatalmas fejlődést mutat. Ez alatt az idő alatt komoly munka folyt a magfizika minden ágában és mind a reaktorfizikának, mind az atomerőmüvek üzemi tapasztalatainak problémáira fényt vetettek. Mig az első konferencián az atomenergia ipari célra való felhasználásának tapasztalatairól csak a szovjet tudósok beszámolói alapján lehetett képet alkotni, a mostani konferencián hasonló témáju előadásokat tartottak Anglia, az Amerikai Egyesült Államok, Franciaország és más országok tudósai is.

Az első konferencia óta nemcsak a nehéz magok hasadási energiájának felhasználása területén értek el nagy haladást, hanem jelentős lépések történtek a könnyü magok fuziójának energiaforrásként való felhasználása felé is.

Ebben a periódusban számos országban nagyszabásu készülékeket szerkesztettek a magfuzió tanulmányozására és erre a konferenciára a termonukleáris energiatermelés problémaköréből számos előadást nyujtottak be, mig az első konferencián egyetlen beszámoló sem hangzott el erről a témáról.

A két konferencia közt eltelt idő alatt alakult ki a fizika uj ága: a forró plazma fizikája.

Mielőtt áttérnénk az atomenergetikai kutatásaink programjának ismertetésére, engedjék meg, hogy röviden beszéljek azokról a körülményekről, melyek a Szovjetunióban megszabják az atomenergetika fejlődésének irányát.

Országunk bővében van a különböző szerves fütőanyagoknak és hasonló módon tekintélyes vizienergia-kapacitással is rendelkezik.

A Szovjetunióban rendszeresen folytatott geológiai vizsgálatok számos uj szén- kőolaj- és gázlelőhelyet fedeztek fel, főként a Szovjetunió keleti részén.

A Szovjetunió teljes tényleges szénkészletét 1957 januárjára vonatkozóan 300 000 millió tonnára, a valószinü tartalékot 7 400 000 millió tonnára becsülik.

A geológiai kutatás eredményeként a Szovjetunióban hatalmas kőolajmezőket tártak fel és értékeltek ki. 1946-tól 1951-ig az ismert kőolajtartalék majdnem kétszeresére nőtt, és a következő öt év alatt - 1956 januárjáig - további két és félszeresére.

Az ismert földgáztartalék 1 860 000 millió köbméter; feltételezhető földgáztartalékot a Szovjetunió egész területére vonatkozóan 13 000 000 millió köbméterre becsülik.

Ami a vizienergiatartalékot illeti, ha csak a relative nagy vizbőségü sokatigérő vizienergiaforrásokat vesszük figyelembe, akkor ezt évi 1 200 000 millió KW-órára becsülik, amely 137 millió KW átlagos kapacitással egyenlő.

Igy, ami a Szovjetunió egész energiaszükségletét illeti, azt a meglevő hatalmas szerves fütőanyag- és vizienergiakészlet elég hosszu időre fedezni tudná. Az ország európai részének némely körzetében azonban, ahol iparunk tekintélyes része összpontosul, az energiakészlet viszonylag korlátozott.

Az ipar és a mezőgazdaság gyors fejlődési irama mellett fellépő energiaszükségletet ezek csak a közeli évtizedekben tudják kielégiteni. Igy az atomenergia felhasználása ezeken a területeken már jelenleg is gazdaságos.

De vannak még más meggondolások is, melyek figyelmünket az anyag atomjaiban rejlő uj energiaforrásra forditotta.. A szén, az olaj, az agyagpala és a földgáz nemcsak üzemanyagok, hanem a vegyipar számos ágának fő nyersanyagai is. Ezeknek a fütőanyagoknak elégetésével csökkentjük a gyorsan fejlődő vegyipar nyersanyagkészletét.

Milyen intézkedéseket tesznek országunkban az atomenergia szabályozott felszabaditásának gyakorlati megvalósitására? Az elmult években ezen a téren számos tudományos és technikai-technológiai problémát tanulmányoztak. Széleskörü munkát végeztek azzal a céllal, hogy különböző tipusu, nagy hőelvezetésü és hosszu élettartamu fütőelemeket fejlesszenek ki. Emellett az előállitásukhoz szükséges nyersanyagokat is rendszeres vizsgálat alá vetették. A különböző hőkicserélő rendszerek paramétereit speciális berendezésekkel határozták meg. A különböző tipusu reaktorok fizikáját tovább tanulmányozzák.

Mint ismeretes, a Szovjetunió első atomerőműve több mint négy éve hibamentesen dolgozik. Üzemeltetése meglehetőkényelmesnek és egyszerünek bizonyult. Az ezen idő alatt szerzett tapasztalatok az erőmü konstrukciójának és egységeinek nagyfoku megbizhatóságát mutatták.

Biológiai védőberendezés és speciális szabályozó berendezés biztositja az atomerőmü müködésekor, mind magának a kezelő személyzetnek, mind pedig a környező lakosságnak a teljes biztonságát.

Biológiai védelem és biztonságos munkafeltétel biztositása problémájának valamennyi tervünknél különösen nagy figyelmet szentelünk.

Az első atomerőmü müködésével kapcsolatos tapasztalatok részletesebb leirása rendelkezésre áll egy erre a konferenciára beküldött cikkben.

Az első atomreaktorral kapcsolatos tapasztalatok és a rendszeres vizsgálatok eredményeként elegendő ismeret birtokába jutottunk ahhoz, hogy a következő lépést megtehessük: természetes és dusitott uránt alkalmazó nagy ipari atomerőmüveket épithessünk.

Ezen erőmüvek épitésének és üzemeltetésének tapasztalatai képessé tesznek majd bennünket arra, hogy országunkban az atomenergia fejlesztésében a legjobb irányvonalakat válasszuk.

Az atomerőmüvek müködésének gazdaságosságát a fütőelem árán kivül, főként a következő tényezők határozzák meg:

1/ A fütőelem elégetési foka, azaz a fütőelem élettartama.

Az atomerőmünél nyert elektromos energia költsége az elégetési fokának és a szaporitási tényezőnek növekedésével rohamosan csökken.

Ezt a költségcsökkenést a fütőelem előállitási költsége és reprocesszálás költsége csökkenésének köszönhetjük.

2/ Az elektromos energia költségét nagy mértékben befolyásolják a gőz paraméterei: hőmérséklete és nyomása. A nagy gőzparaméterekre való áttéréssel ugyanugy lehet tekintélyes mértékben csökkenteni a nukleáris eredetü elektromos energiája költségét, mint a szokványos erőmüvek esetében.

Ezek a tényezők teszik szükségessé azt, hogy megbizhatóan müködő fütőelemekkel s előállitásukra nyersanyagokkal rendelkezzünk. Ezeknek az elemeknek erős neutronfluxus közepette hosszu ideig kell nagy hőmérsékletnek ellenállniok.

Hosszantartó kisérleteket végeztünk, hogy tanulmányozzunk számos fémet és ötvözetet; olyan körülmények között próbáltuk ki őket, melyek hasonlóak az ipari atomreaktor üzemeltetési körülményeihez. Ezekből az anyagokból azután fütőelemeket gyártottunk, s szintén kipróbáltuk őket laboratóriumi méretekben, majd reaktorokban is az ipari reaktorok üzemi körülményeinek megfelelő körülmények közt.

Ezáltal képesekké váltunk arra, hogy a lehető legjobb fütőelemet válasszuk ki a nagyszámu megvizsgált fütőelem közül.

Általánosan ismert tény, hogy a fütőelem ellenálló képességét növelni lehet azáltal, hogy nem tiszta urániumot használunk, hanem az urániumnak valamilyen más fémmel, vagy uránoxiddal való ötvözetét, és ha a tokozásra hőálló acélt alkalmazunk.

Ebben az esetben azonban szükséges, hogy a természetes uránt vagy uránium 235-tel vagy plutoniummal dusitsuk.

Ez egyrészt növelni fogja az uránium elégetési fokát, másrészt azonban emeli a fütőelem árát.

Az első szovjet atomerőmütelep tapasztalatai rámutattak annak gyakorlati lehetőségére, hogy 25 kg/tonna uránium elégési szintet érjünk el.

A tervezés vagy épités alatt álló atomerőmütelepeink többségét, az első atomerőmühöz hasonlóan közönséges vizzel hütött reaktorokkal szerelik fel.

A közönséges viz nemcsak mint moderátor jó, hanem mint hütőfolyadék is, melynek radioaktivitása gyakorlatilag

veszélytelennek vehető, mivel az aktivált magok igen rövid élettartamuak.

A közönséges viznek más előnyei is nagy fontosságuak.

Most a voronyezsi kerületben épitenek 420 000 kW kapacitásu atomenergiatelepet. Két viznyomásos tipusu reaktora lesz. Hütőfolyadékként ez a reaktor 100 atm. nyomás alatti vizet használ. Ez a viz a gőzfejlesztőkön áthaladva, biztositani fogja 29 atm. nyomásu telitett gőz előállitását, ami ezután a turbinákba kerül.

A reaktorban fütőelemeket, 1.5 %-ra dusitott uránoxidot alkalmaznak cirkóniumboritással.

Az ezen reaktorokban alkalmazandó fütőelemeken már minden szükséges vizsgálatot elvégeztünk az országban müködő reaktorok valamelyikében.

A második ugyanilyen tipusu atomerőművet Leningrád környékén fogják felépiteni.

Reméljük, hogy a fentebbi tipusu reaktorokkal szerzett tapasztalataink felhasználásával szerkesztendő uj reaktorainkban a fejlődő gőzt közvetlenül a turbinákba tudjuk vezetni.

Ebben az esetben a közbeiktatott gőzfejlesztők és egy sor segédberendezés feleslegesekké válnak.

A vizforraló reaktorokba való átállás céljából jelenleg egy 50 000 kW elektromos teljesitményü reaktort épitenek a Volga mentén az uljanovszki kerületben. Ennek a reaktornak fütőeleme hasonló konstrukcióju a voronyezsi és leningrádi reaktorok fütőeleméhez.

A Volga mentén különböző tipusu kisérleti teljesitményreaktorok épülnek. Ebben a központban a reaktorokat a teljes terhelés feltételei mellett fogják kipróbálni. Ennek a telepnek az a célja, hogy a különböző tipusu reaktorokat üzemelte-

tés közben próbálja ki. Igy egy nagy központot hoznak létre, a Volga térségében, hogy tudományos és technikai kisérleteket végezzenek a nukleáris energetika területén.

A 400 000 kW teljesitményü urali atomerőművet is azon elv alapján épitik, hogy magában az atomreaktorban fejlesszék a gőzt.

Ezen erőmü reaktorai az első atomerőmünél alkalmazott reaktortipusnak tovább fejlesztett változata.

A bjelojarszki atomerőmünek négy reaktora lesz ; mindegyik 100 000 kW teljesitményü turbinával kapcsolva fog müködni.

A turbinát a reaktorból közvetlenül kilépő 480-500 C° hőmérsékletü és 90 atm. nyomásu gőz táplálja. Az atomerőmü reaktorainak fütőeleme ugyanazon tipusu, mint az első atomerőmünél, azzal a különbséggel, hogy 1,7 m helyett 6 m hosszu. Most ért véget a gőz fejlesztésének és tulhevitésének kisérleti vizsgálata. A reaktor inditó és leállitó rendszere is elkészült.

Ezeket a vizsgálatokat az első atomerőmübe beépitett speciális kisérleti csatornákban végezték el, melyek a nagy teljesitményü reaktorok fő áramlási rendszerének modelljei voltak. Befejezték a korrozióterméket, az oldott sók és a viz radioaktivitásának vizsgálatát is. A fütőelemek tervezése kiküszöböli ezekben a reaktorokban a hasadási termékeknek a hütőfolyadékba való áthatolását.

Ama szándékunk, hogy elkerüljük a fütőelemek költséges előállitását és drága reprocesszálását, arra késztetett bennünket, hogy homogen atomreaktorok gazdasági és üzemeltetési tényezői vizsgálata céljából kisérleteket végezzünk. Ilyen céllal épitünk a Volga mentén egy nehéz vizben oldott, vagy szuszpendált urániummal müködő reaktort. A kisérletek

azt mutatták, hogy az urániumszuszpenzió vizben eléggé stabil. Az épités alatt álló reaktorban 50 atm. nyomáson forralják a vizet. A reaktormagban urániumoxidot fognak szuszpendálni. A szóbanforgó reaktor hőteljesitménye 35 000 kW lesz. Ezt a reaktort a "vizforraló" reaktorok stabilitása meghatározására fogják felhasználni; ez a tipusu reaktor segithet a tóriumciklus hatásfokának meghatározásában is. A folyékony nátriumhütésü reaktorok gyakorlati alkalmazhatóságát egy 50 000 kW-os elektromos teljesitményü reaktor segitségével fogják megvizsgálni. Ezt a reaktort is a Volga térségében épitik.

A reaktort nagy paraméterü, /90 atm. nyomásu és 500 C° hőfoku/ gőz kinyerésére tervezték. Ugyanekkor a reaktormagon belül a hütőfolyadék maximális nyomása nem fogja meghaladni a 8 atm. nyomást; ez fontos előny a vizzel hütött reaktorral szemben. Ennél az erőmünél, éppugy mint a többi nátriumhütésü teljesitményreaktornál a viz végzi a tényleges munkát s hogy kiküszöböljék a radioaktiv nátriumnak a vizzel való nukleáris kölcsönhatását, közbenső hütőkört alkalmaznak.

Széleskörü munkát végzünk a gyorsreaktorokkal kapcsolatban is. A végrehajtott kisérletsorozat azt mutatja, hogy a szaporitási tényező gyorsreaktorokban biztosan meghaladja az egységet. Igy az a nukleáris nyersanyag, elsősorban az U-238, melyet termikus reaktorokkal dolgozó atomerőmü esetében hulladéknak tekintenek, teljesen felujitható és felhasználható energiaelőállitásra, gyorsreaktorral müködő atomerőmüvek esetében.

A szaporitóreaktorokkal kapcsolatban ma a legnagyobb figyelmet az alapvető technikai problémák boncolgatására forditják, beleértve a nagy specifikus hőkivonás problémáját /1 kg-ból 1000 kW-os nagyságrendben/ a nagy elégetési tényező /20-30 % vagy magasabb elérését/ hatásos módszerek kidolgozását a besugárzott fütőelemek reprocesszálására és egyéb speciális fizikai problémákat. Meg kell jegyeznünk, hogy a gyors neutronhasadás valószinüségének igen nagy értéke viszonylag nagy

szabadságot enged meg a szerkezeti és más, a reaktorhoz szükséges anyagok megválasztásánál, s ezáltal megkönnyiti a felvetett technikai problémák megoldását. A Szovjetunió első zéro-energiáju gyorsreaktora 1955 áprilisában indult meg.

Nem egészen egy év mulva - 1956 februárjában - inditottunk meg egy 100 kW termikus teljesitményü gyorsreaktort. Ez a reaktor plutoniumfütésü és higanyhütésü. 1958-ban egy 5000 kW teljesitményü kisérleti gyorsreaktort inditottak meg a Szovjetunióban. Ez a plutonium magjával és nátrium hütésével több fő paraméterében megközeliti a közcélokra termelő gyorsreaktorokat. A mag középpontjában a gyorsneutron-fluxus eléri a 10^{15} neutron $cm^{-2}.sec^{-1}$ értéket.

A nátrium hőmérséklete a kimenetnél 500 C^{o}. Ezt a reaktort a gyorsreaktorokkal kapcsolatos hőtechnikai és fizikai kutatásoknál, valamint a szerkezeti anyagok kipróbálásánál fogják alkalmazni.

E reaktor üzemeltetésénél nyert tapasztalatok és a kapott eredmények képessé tesznek bennünket arra, hogy a jelenleg kifejlesztés alatt álló polgári célokra készülő két atomerőmü gyorsreaktorainak tervezéséhez még több jellemző adatot nyerjünk. Az egyik 50 000 kW elektromos teljesitményü reaktort a Volga térségében épitik fel, mihelyt a szükséges kisérleti adatok birtokába jutunk.

A második erőmüvet - 250 000 kW elektromos teljesitménnyel - később épitik. Ennek a reaktornak épitési helyét még nem állapitották meg. A gyorsreaktorok szovjetunióbeli fejlesztésével kapcsolatos kérdéseit egy, a konferenciára beküldött cikk tárgyalja.

Vizsgálatokat végeztünk a tórium-ciklus alkalmazásával kapcsolatban is, ennek bevezetése céljából.

Az épitésre tervezett reaktorok tanulmányozása és fejlesztése mellett országunkban vizsgálatok folynak folyékony-fémes, szerves és más tipusu hütőközeggel müködő reaktorokkal kapcsolatban.

A fütőelemek stabilitásának tanulmányozására egy 50.000 kW teljesitményü, közepes energiáju neutronokkal dolgozó kisérleti reaktort épitenek a Szovjetunióban. Ennél a reaktortipusnál nagyobb a neutronfluxus egy kW teljesitményre eső értéke, mint a termikus reaktoroknál. Az épités alatti intermedier reaktor neutronfluxusa 2.10^{15} neutron.cm^{-2}.sec^{-1} felett lesz.

Ezek az erőfeszitések lehetővé teszik, hogy az anyagok kipróbálásának idejét lényegesen csökkentsük és a kisérleti munkát rendkivüli mértékben meggyorsitsuk. E reaktort egyidejüleg magfizikai kutatásokra is, többek között a transzplutoniumelemek tanulmányozására is fel fogjuk használni.

Nagyobb, helyhez kötött erőmüvek épitési munkálatai mellett kiterjedt munka folyik kisebb méretü, szállitható erőmüvek kifejlesztése érdekében is.

Máris befejezés előtt áll ilyen 2000 kW elektromos teljesitményü szállitható nukleáris áramfejlesztő berendezés épitése. Viznyomásos reaktorát 1 m átmérőjü és 2.2 m magasságu tartályba épitik be. 120 atm. nyomásu közönséges viz szolgál hütőközeg és moderátor gyanánt. A második körbe 20 atm. nyomásu és 280 C° hőmérsékletü gőzzel müködő turbinát épitenek be.

A folyó év végével ilyen tipusu áramfejlesztő berendezést helyeznek el az első atomerőmü területén, kipróbálás céljából.

Számitásaink szerint lehetséges olyan berilliumoxid-, vagy grafit-moderátoru kerámikus fütőelemekkel fütött gázhüté-

sü /nitrogén vagy hélium/ reaktort tervezni, mely a gázt 700 C°-ra heviti. Az ilyen reaktor sok szempontból igen előnyös. Nevezetesen a kerámikus fütőelemek alkalmazása erősen növeli a fütőelemek elégésének fokát; továbbá: a hütőanyag nagy hőmérséklete sokkal gazdaságosabbá teszi a termikus ciklust és lehetővé teszi gázturbina-ciklus alkalmazását, anélkül, hogy szükség lenne egy átmeneti szekunder körre.

A szállitható áramfejlesztő berendezéseket az ország uj ipari településein alkalmazzák majd, ahol még nincsen áramfejlesztő telep. Azt hisszük, hogy ilyen berendezések számos más országot is érdekelhetnek.

Ha üzembe helyezzük a felsorolt és a többi atomerőművet, és teljesitjük kisérleti programunkat, akkor mind épités, mind üzemeltetés terén számos tapasztalatot szerzünk és igy megbizható ismeretekkel fogunk rendelkezni az egyes atomerőmütipusok müszaki és gazdaságossági jellemzőiről.

A kapott adatok alapján módunkban lesz kiválasztani azt az atomerőmü-tipust, mely legjobban megfelel ipari célra és egyuttal meg tudjuk azt is állapitani, hogy a Szovjetunióban milyen mértékü atomenergiaipar megteremtése látszik célszerünek a közeljövőben.

Az atomenergetika megindulása óta a Szovjetunióban nagy érdeklődéssel fordultak a termonukleáris reakciók szabályozásának problémája felé.

Ismeretes, hogy a szovjet kormány kezdeményező lépést tett ezen a téren azáltal, hogy ismertette az idevonatkozó kutatások eredményét. 1956-ban a Brit Atomenergia Központban Harwellben I.V. Kurcsatov akadémikus beszámolt kutatóinknak a gázkisülések során elérhető termonukleáris reakciók lehetőségét vizsgáló munkáiról. Ez a beszámoló felhivta a világ fizikusainak figyelmét erre a problémára és más

országokban is serkentette az ilyen irányu munkák megindulását.

A Szovjetunióban a magfuziót igen behatóan tanulmányozzák.

Erről a munkáról fogalmat alkothatunk magunknak a szovjet fizikusok által a konferenciára beterjesztett beszámolókból és az ilyen tárgyu tanulmányoknak a konferencia alkalmából történt gyüjteményes kiadásából. Ezekben a tanulmányokban ismertetik a Szovjetunió kutatói által a magfuzió problémájával kapcsolatban végzett mintegy 100 vizsgálat eredményét.

Ezek a vizsgálatok laboratóriumi berendezések segitségével folynak. Igen nagy teljesitményü kisérleti berendezések épültek, ezek közül az egyik teljesen hasonló a brit ZETA-hoz. Ez a gép kisebb laboratoriumi berendezéseink javitott változata.

Általánosan ismert megfontolások alapján arra következtetünk, hogy az első termonukleáris reaktorok valószinüleg deuterium-tricium keveréket, mig a későbbi tipusok tiszta deutériumot fognak alkalmazni.

Deutérium-tricium-keverék esetében a fuziós reakció keltéséhez a keveréket 80 - 100 millió C^{o}-ra kell felhevitení. A müszaki fejlődés mai állása szerint lehetségesnek látszik az egy köbméter plazmára eső egy millió kW-os energiafejlesztés. Ez az energiasürüség nagyobb mint az eddigi erőmüvek bármelyikéé, beleértve az atomreaktorokat és a sugárhajtásu berendezéseket is. Igy elvben lehetővé válik olyan deuterium-tricium reaktorok kifejlesztése, melyek elég kompaktak és alkalmasak például hajókba való beszerelésre.

Véleményünk szerint a tiszta deuterium-reaktorok müszaki megvalósitásának problémáját később oldják meg, mint a deuterium-tricium reaktorokét.

Szovjet atomerőművek

Hely	Tipus	Db	Reaktorok	Állapot	Megjegyzés
Moszkva /Obninszk/	grafit moderátorú közönséges vizhütésü	1	5 MWe	1954	első atomerőmü
Voronyezs	viznyomásos PWR	2	210 MWe	épités alatt	reaktoronként 3 turbina
Leningrad	viznyomásos PWR	2	210 MWe	épités alatt	L. fentebbit
Szibéria	grafit moderátorú közönséges vizhütésü	6	100 MWe	1958. szept. 1.sz.	természetes urán
Ural /Bjelojarszk	grafit moderátorú közönséges vizhütésü	4	100 MWe	épités alatt	Az első erőmü fejlesztése atom tulhevitéssel
Volga Központ Uljanovszk	közvetlen vizforraló reaktor BWR	1	50 MWe	épités alatt	hasonló elemek mint a PWR-nél
Volga Központ	nátrium grafit	1	50 MWe	tervezés alatt	
Volga Központ	gyors	1	50 MWe	tervezés alatt	BN-50 tipusu
nincs még a helye kiválasztva	gyors	1	250 MWe	tervezés alatt	BN-250 tipusu
nem adták meg	intermedier	1	50 MWe	épités alatt	2 x 10^{15} fluxusu
Moszkva /Obninszk/	viznyomásos	1	2 MWe	1958.dec. kész	hordozható erőmü
Volga Központ	homogen	1	35 MWe	épités alatt	D_2O-oxid forrővizes ciklus

Folyékony fém tápelemü és szerves hütésü tipusokat is terveztek és megfontolás alatt áll egy nagy hőmérsékletü, gázhütésü, kerámia elemekkel és nitrogen vagy hidrogen hütéssel dolgozó reaktor épitése is.

/Nuclear Power, October 1958./

A könnyü magok fuziójának felhasználása lehetővé teszi, hogy az oceánok vizében rejlő óriási erőforrást az emberiség rendelkezésére bocsássuk, s ezzel a világ energiaszükségletének ellátásához millió évekre biztositsuk a nyersanyagot, még ha az energiafogyasztás szintje a mainak ezerszeresére emelkedik is.

Még egy előnyös körülményt kell hangsulyoznunk a termonukleáris reaktorokkal kapcsolatban. Ezek müködése tudvalevően sokkal kisebb mennyiségü radioaktiv termék keletésével jár, mint a nehéz magok hasadását felhasználó magreaktoroké. Ez lényegesen megkönnyiti a biztonsági problémák megoldását is.

A termonukleáris reaktorok megvalósitása azonban még igen sok kitartó, állhatatos és szorgalmas munkát kiván fizikusoktól és mérnököktől egyaránt.

Gyakorlati fontosságot tulajdonitunk eme folyamatok vizsgálatának és ezzel meg akarjuk fejteni a természet egy további titkát - annak a titkát, hogy miként lehet szabályozni azokat az energiafolyamatokat, melyeknek Földtekénk egész élő- és növényvilága létezését köszönheti.

Hisszük, hogy a nehéz magok hasadásával való energiatermelés széleskörü alkalmazását követni fogja a könnyü magok fuziója révén történő energiatermelés még szélesebb körben való felhasználásának korszaka.

- - -

Forditotta: Koczogh Ákosné és Kovács Jenőné

A BRIT EGYESÜLT KIRÁLYSÁG ATOMENERGIAFEJLESZTÉSI PROGRAMJA

W. Strath

II.Genfi Konferencia A/CONF.15/P/262. cikk

1./ Az atomenergia és a brit közgazdaság

A háboru óta Anglia legfőbb problémája a közgazdaság terén az volt, hogy fenn tudja tartani az ország termelési szintjének rohamos emelkedését anélkül, hogy ez fizetési mérlegében nehézségeket okozna. Ez a probléma részben abból adódott, hogy meg kellett birkóznia az országon belül mutatkozó inflációs tendenciával, másrészt onnan eredt, hogy élelmiszer, üzemanyag és nyersanyag behozatalát csupán a kivitelből származó jövedelemből kellett fedeznie anélkül, hogy ebben a tekintetben igen jelentékeny külföldi befektetéseiből eredő jövedelemre támaszkodhatott volna. Ezeket ugyanis a háboru folyamán már jórészt felhasználta. Ezt a nehézséget még csak fokozta a hazai üzemanyagforrások termelésének emelésével járó nagy költségtöbblet. A termelési szint emelkedésével energiaszükségletünk annyira megnőtt, hogy egy részét importálnunk kellett.

1.1 Az Angliában jelentkező szénhiány és a növekvő energiaszükséglet

A 19.században a széntermelés elég rohamosan emelkedett ahhoz, hogy ne csak a növekvő általános termelési szinttel tartson lépést, de nagy mértékben ahhoz is hozzájárult, hogy az ország külkereskedelmi mérlege aktivvá váljék. Ez tette lehetővé, hogy Anglia külföldi befektetések költségét fedezni tudja. A századforduló óta ez a hitelező szerep csökkent, mig végül forditott helyzet állt elő. 1913-ban Anglia széntermelése 289 millió tonnás maximumot ért el. Tiz évvel később az exportált és széntárolókban elfekvő szénmennyiség

100 millió tonnára rugott. 1936-ban, jóllehet a szénkivitel még mindig kb. 46 millió tonnát tett ki, a különböző fajta tüzelőanyagok behozatalának értéke először multa felül a kivitel értékét. 1941-ben Anglia határozottan tüzelőanyag-importálóvá vált. 1957-ben a 246 millió tonna szénnel egyenértékü tüzelőanyagfogyasztásból kb. 20 millió tonna szénnek megfelelő tüzelőanyag behozatalra került. Az utóbbi 4 évben, 1954-57 között, a netto tüzelőanyagbehozatal értéke átlagban évi 250.000 fontot tett ki.

Az Egyesült Királyság ipari termelésének további emelkedése az ország energiatermelésének csekély, vagy semmilyen növekedésével párosulva igen nagy terhet jelentene a fizetési mérlegben. Becslések szerint, amennyiben az ipari termelés 1975-ig évente átlagban kb. 3 - 3.5 %-kal emelkedik, Anglia energia-szükséglete 1965-re 290/300 millió és 1975-ben évi 375 millió tonna szénnek megfelelő energiára emelkedik.

Ezek a távlati becslések természetszerüleg pontatlanok, de ha az ország ipari termelése olyan mértékben emelkedik, amennyire reméljük, a növekedéssel járó energiaszükséglet fedezéséről gondoskodnunk kell. Természetesen ebben a felfelé törő irányzatban lehet némi rövid ideig tartó visszaesés is, amint ez igy is volt az utóbbi három évben, amikor a termelési szint nem emelkedett. De bizunk abban, hogy ez csak átmeneti jelenség és termelésünk emelkedése és vele együtt energiaszükségletünk növekedése folytatódni fog, és folytatódnia is kell, ha Anglia továbbra is fejlett ipari országként kiván szerepelni és népének életszinvonalát emelni akarja.

A széntermelés emelésére irányuló, folyamatban levő beruházási terv a bányákkal kapcsolatban 860 millió font beruházást irányoz elő. A kiadásokból jelentős részt forditanak uj aknák mélyitésére, hogy helyettesitsék azokat, melyekben minden gazdaságosan kitermelhető eret már kibányász-

tak. E terv szerint azonban a széntermelést az 1957. évi 224 millió tonnáról 1965-ben csak 240 millió tonnára sikerül majd emelni. Ez azt jelenti, hogy a széntermelés emelkedése az energiaszükséglet emelkedésének egyharmad részét tudja majd fedezni. Még akkor is, ha 1965. után is hasonló mértékben emelné a szénbányászatra fordítandó beruházások összegét, a termelt szénmennyiség az 1975-ig várható energiaszükségletnövekedésnek alig egyötödét tudná fedezni. Az Egyesült Királyság gyakorlatilag semmiféle hazai olajforrással nem rendelkezik és nemigen találhatók az országban vizierőmü létesitésére alkalmas helyek sem.

Jóllehet igaz az, hogy bizonyos szénmegtakaritást elérhetünk és el is érünk a kazánok és egyéb szilárd tüzelőanyagot égető berendezések termikus hatásfokának emelésével, ezek a megtakaritások mégsem járulhatnak hozzá komoly mértékben az energiahiány megoldásához. Tehát még akkor is, ha a széntermelés a terveknek megfelelően emelkedik, 1975-ben energiaszükségletünk egyharmadát behozatallal kell fedeznünk.

Az energiaszükséglet emelkedésének tulnyomó része /a motorok üzemanyagát kivéve/ az elkövetkező husz évben a villamosenergia terén fog mutatkozni. 1957-ben villamosenergia fejlesztésére 50 millió tonna szén, vagy szénnel egyenértékü üzemanyagot forditottak. Arra számitanak, hogy 1965-ben 70 millió tonna szénnek megfelelő üzemanyagra lesz szükség, mig 1975-ben ez a szám előreláthatólag 100-110 millió tonnára emelkedik. Az atomenergia felhasználása nélkül, gyakorlatilag ezt az egész 50-60 millió tonnányi többletet behozatalból kellene fedezni.

1.2 A behozatali költségek alakulása

Az elkövetkező tiz évben várható, rohamosan emelkedő energiahiány, valamint a szén- és olajbehozatal nagy költsége és bizonytalansága indokolja annak szükségességét, hogy uj energiaforrásra tegyünk szert. Ez az uj erőforrás nukleá-

ris energia által fejlesztett villamosenergia, melynek üzemanyagát javarészt az államközösség országaiból importálhatjuk. Sőt, mitöbb: az urániumért kifizetett vételár, az abból kitermelt hőt véve alapul, sokkal kisebb megterhelést jelent fizetési mérlegünkben, mint a szén vételára. Pl. egy tonna uránium, ami legfeljebb 10.000 fontba kerül, 3000 megawattnapos hőtermelést jelentő elégetés után már az első atomerőművekben elért 27 %-os termikus hatásfokkal számolva, 810 megawattnapnyi elektromos energiát szolgáltat. Ha az importált szén ára, mondjuk, tonnánként 7 fontot tesz ki, akkor egy tonna uránium áráért kb. 1400 tonna szén vásárolható: még a 34 % termikus hatásfokkal elégetett 1400 tonnányi, nagy kalóriaértékü szén is csak 145 meggawattnapnyi elektromos energiát jelent, mig az ugyanennyi valutáért vásárolt urániumból 810 megawattnap nyerhető. Látjuk tehát, hogy importált tüzelőanyagokból termelhető elektromos energiák alapján számolva az uránium ára a szén árának csak mintegy 18%-a. Ez a számitás nem veszi figyelembe azt a visszatérülést, amelyet az uránium besugároztatásával termelt plutonium jelent, mely más erőművekben importált üzemanyag helyettesitésére is felhasználható. Ha a termelt plutoniumot is számitásba vesszük, akkor egy tonna importált urániumból mintegy 10.000 megawattnappal egyenértékü hőenergiát állithatunk elő. Ilyen alapon számolva az uránium ára az importált szén árának csupán 5%-át teszi ki. Mivel a reaktor első töltéséhez és a kezdeti tartalék céljaira nagymennyiségü urániumra van szükség, az urániumbehozatal nem oszlik meg egyenletesen a reaktor egész élettartamán át. Igy a fizetési mérlegben az urániumbehozatal eleinte nagyobb megterhelést fog jelenteni, mint amennyit fent kimutattunk, de az idők folyamán kétségkivül megmutatkozik majd az uránium olcsóbb behozatali árának minden előnye.

1.3 Az atomenergetika helyzete az Egyesült Királyságban

Azt a tudományos és müszaki fejlődést, mely lehetővé tette Angliában atomenergiafejlesztési program kidolgozását, korábban több tanulmányban ismertettük, többek között az 1955. évi Genfi Konferencián is. Anglia ipari felkészültsége ugyancsak kedvezett ilyen program megvalósitásának. Elektromos nehéziparunk, mely néhány müszakilag és pénzügyileg jól megalapozott nagyvállalatból áll, máris eléggé fejlett volt ahhoz, hogy mind a növekvő hazai villamosenergiaszükségletet, mind a mindinkább fejlődő kiviteli igényeket ki tudja elégiteni; ezen tulmenően, ezek közül az ipari vállalatok közül jó-egynéhány hasznos tapasztalatra tett szert az Atomenergiahivatal magreaktorainak épitése alkalmával Windscale-ben, Calder Hall-ban és másutt.

Hamarosan nyilvánvalóvá vált, amikor a Calder Hall-i tipusu elektromos energiatermelő reaktorok tervezésébe belefogtak, hogy igen lényeges megtakaritások érhetők el nagyméretü egységek épitésével. Valóban igaz az, hogy csakis nagyméretü reaktorok esetében remélhető, hogy az első energiatermelő reaktorok felvehetik a versenyt az energiatermelés hagyományos módjával. Még igy is sokkal nagyobb volt a velük kapcsolatos beruházási költség, mint a szokványos erőmüveké és az olcsó üzemanyagköltségből származó előnyüket csak akkor lehetett igazán kihasználni, ha a lehető legintenzivebben dolgoztak. Éppen ezért, csak akkor lehetett az atomenergiafejlesztési programba belefogni, amikor az országos elektromos hálózat révén összpontositható, számottevő alapterhelés biztositottnak látszott.

A problémán már sokat dolgoztak és elegendő ipari tapasztalatra is szert tettek, mikor az első atomenergiafejlesztési programot az 1955. februárjában kibocsátott Fehér Könyvben nyilvánosságra hozták. Ez a program 1965. végéig 12, összesen 1500-2000 megawatt teljesitményü atomerőmü épitését

irányozta elő kb. 300 millió font~~ny~~i beruházási összegben, beleértve a segédberendezéseket és az első üzemanyagtöltést. Az alapfogyasztást ellátó üzemeltetés mellett, becslések szerint, ezek az atomerőművek 1965. végéig szénben évi 5-6 millió tonna megtakaritását eredményezik.

Calder Hall épitésénél szerzett tapasztalatok, az ottani reaktorok üzemének tanulmányozása, valamint a nagy üzemi müszaki technológia alkalmazása lehetővé tette, hogy a programban szereplő első atomerőműveket az eredetileg előirányzottnál nagyobb teljesitményüre tervezzék. Ez a müszaki fejlődés az ország energiahelyzetének komolyabb mérlegelésével párosulva arra inditotta a kormányt, hogy 1957.márciusában bővitett atomenergiafejlesztési programot jelentsen be. Az eredetileg 1500-2000 megawatt teljesitményelőirányzatot kb. 5000-6000 megawattra emelték azzal, hogy a kapacitás pontos értékét a müszaki fejlődés mértéke, a beruházási költségek alakulása és a fizikai, valamint pénzügyi erőforrások hozzáférhetősége szabja meg. Az alapfogyasztás kielégitése esetén a szénben elért megtakaritást 15-18 millió tonnára becsülik.

Atomerőművek létesitésének ezt az iramát 1965. után csak akkor lehet fenntartani, ha a beruházási költségek állandóan csökkennek. 1965. után ugyanis az üzemben levő atomerőműveknek mindinkább kisebb terhelési tényező mellett kell müködniök, mivel az alapfogyasztás nem lesz elég nagy ahhoz, hogy valamennyit állandóan folyamatos üzemben lehessen tartani. Ha a beruházási költségekben mutatkozó csökkenés továbbra is fennmarad, ezt a fejlesztési programot egészen 1975-ig lehetne folytatni, amikorra kb. 20 - 30.000 megawatt elektromos teljesitményü atomerőmü-kapacitást lehetne felállitani. Igy a ~~1960-ra~~ az évek közepére Anglia villamosenergiaszükségletének kb. 25%-át, egy évtizeddel később pedig majdnem 50-60%-át biztositanánk

atomenergiával. Ha az ország teljes energiaszükségletét tekintjük, akkor ezen az alapon számitva az atomenergia 1960-ban ennek kb. 5%-át, 1975-ben már 15-20%-át fedezné.

A tavaly márciusban bejelentett bővitett programot többek között attól tették függővé, hogy a szükséges pénzügyi és fizikai erőforrások rendelkezésre álljanak. Októberben a kormány arra az elhatározásra jutott, hogy az állami beruházásokat némileg csökkentse, hogy az országon belül jélentkező inflációs irányzatnak gátat emeljen. Ez a csökkentés érintette az atomenergiaprogramot is. Ennek megfelelően a kibővitett atomenergiaprogram teljesitésének időpontját egy évvel kitolták.

1.4 Az Atomenergiahatóság együttmüködése az iparral

A fejlesztési program megvalósitásához az Atomenergiahatóság és az ipar között a legszorosabb együttmüködésre volt szükség. Atomerőmü létesitéséhez számos különböző iparág szakértelmére van szükség: a centrálé egyes részei azonban olyan szorosan kapcsolódnak egymáshoz, hogy mind tervezés, mind kivitelezés tekintetében szigoru koordinálásra van szükség. Ennek a célnak elérése érdekében, főleg az első centrálék épitésénél, amikor az ipar először vállalt ilyen feladatot, 1954. őszén, négy vállalatcsoportot létesitettek, melyek mindegyike egy-egy nehéz villamoserőmüépitő, egy kazánkészitő és egy kulturmérnöki cégből tevődik össze. Ezeket a csoportokat az Atomenergiahatóság külön kiképzésben részesitette, mielőtt az első atomerőmüre vonatkozó ajánlatukat versenytárgyalásra benyujtották volna. Azóta már az első négyhez hasonló ötödik ilyen konzorcium is létesült és az atomenergiafejlesztésben érdekelt többi ipari vállalat között is hasonló csoportosulások vannak kialakulóban. A négy emli-

tett vállalatcsoport szakértői a Konferenciára benyujtott tanulmányaikban ismertetik sikeres munkájukat a Bradwellben, Berkeley-ben, Hunterston-ban és Hinkley Point-ban épülő atomerőmüvek tervezésével és eddig elkészült épitkezéseivel kapcsolatban. Az együttmüködés az ipar és az Atomenergiahatóság között igen sikeres, anélkül, hogy szigoru előirások szabályoznák a megfelelő hatásköröket. Az elméleti megalapozás, a tervszerü, gyakorlati kutatás, tervek készitése, technológiai vizsgálatok, egy prototipus vagy teljes méretü atomerőmüvek épitésénél, szükségszerüen és előnyös módon nem határolhatók el élesen egymástól; a Hatóság és az ipar szerepe sokszor bizonyos mértékig fedi egymást. Az együttmüködés és a tevékenységek koordinációja azonban gyümölcsöző.

A tisztán elméleti kutatás főleg az egyetemeken és az Atomenergiahatóság Kutatócsoportjában /Research Group of the AEA/ folyik. A Hatóság kutató és ipari csoportja feladata az ujfajta reaktortipusok tanulmányozása és tüzetes vizsgálatuk kivitelezhetőség szempontjából és reaktorkisérletek segitségével abból a célból, hogy belőlük megfelelő prototipust fejlesszenek ki. Az ipari vállalatokat tájékoztatják e kutatómunka eredményeiről; különleges fejlesztési munkákkal bizzák meg őket és ezek szállitják a Hatóság részletes tervei alapján épitendő prototipushoz szükséges felszereléseket. A prototipus épitése és később müködése során az ipar szakértői a szóbanforgó rendszerrel kapcsolatban értékes tapasztalatokat szereznek, ugyhogy ezek ismeretében az ipar jól felkészült arra, hogy a prototipus alapelvének megfelelő atomerőmüvek tervezésére és épitésére vállalkozzék; e közben a vállalatok állandó tapasztalatcsere-kapcsolatban maradnak az Atomenergiahatóság szakembereivel. Ez természetesen nem gátolja azt, hogy az ipar saját szakállára ne végezzen mind elméleti, mind gyakorlati célu kutatásokat; pl. az ipari konzorciumok együttmüködnek az Atomenergiahatósággal és a Központi Villamosenergiaügyi Igazgatósággal egy

széleskörü kisérleti program keretében, melynek az a célkitüzése, hogy atomerőmüvek tervezése szempontjából alapvető jelentőségü megfizikai adatokat a legnagyobb részletességgel megmérjék.

2. Anglia reaktorfejlesztési programja

2.1 A reaktorfejlesztési program célkitüzései

Fenti adatok ismeretében vizsgáljuk meg most már az Egyesült Királyság reaktorfejlesztési programjának célkitüzéseit és ezek megvalósitásának módját. Az elsődleges cél az volt és még most is az, hogy a brit energiaszükséglet fedezéséhez szükséges nagy atomerőmüvekben a villamosenergia előállitási költségét csökkentsük. Erre két mód kinálkozik: csökkenteni a beruházási költséget és növelni az üzemanyagkihasználást, ami által az üzemanyagköltségek csökkenthetők. Jóllehet az elvégzett munka ismertetésénél célszerü, ha ezt a két feladatot bizonyos fokig egymástól függetlennek tekintjük, a kettő mégis szorosan kapcsolódik egymáshoz és reaktortervezők szükségszerüen a különböző reaktorrendszereket teljességükben, tehát nemcsak az egyik vagy másik szempontból mérlegelik. A két feladat közül az első - a beruházási költségek csökkentése - a fontosabb. A beruházási költségek jelenleg a nukleáris áramfejlesztési költségeknek akkora hányadát jelentik, hogy ezen a téren mutatkozó minden fejlődés igen hasznosnak bizonyulhat. Ezen tulmenően az első atomerőmüvek gazdaságosságát igen nagy terhelési tényezővel számolva kalkulálták, hiszen - érthető módon - a legtöbbet akartuk kihozni az ilyen óriási befektetett tőkével épült létesitményekből. A jövőben azonban számitani kell arra, hogy - számuk növekedésével - az atomerőmüveket már kisebb terhelési tényezővel kell müködtetni és ez a tény a beruházási költségek csökkentésére való törekvést még indokoltabbá teszi.

A beruházási költség csökkentését talán megfelelőbb fütőelemek alkalmazásával érjük majd el. A nagyobb hatásfoku üzemanyag nagyobb hőátviteli felületet kiván, ugyhogy a jelenleg alkalmazott egyes vastag urániumrudakat vékony rudak, vagy lemezek csoportjai fogják helyettesiteni. Ugyanakkor, ha nagyobb gázhőmérsékletet és jobb elégést akarunk biztositani, erősebb és nehezebben megmunkálható anyagból készülő fütőelemtokokat kell készitenì, azután ebből kifolyólag esetleg a fütőanyag némi dusitása is célszerüvé, sőt lényegessé válik. Az ilyen üzemanyag tonnánkénti ára feltétlenül nagyobb lesz és ezért nagyon fontos, hogy az egy tonna üzemanyagból nyerhető hő mennyiségét jelentős mértékben növeljük. Ha az üzemanyag hatásfokát olymódon sikerül emelnünk, hogy annak ára a bonyolultabb fütőelemek alkalmazásával sem emelkedik, igen hasznos munkát végeztünk. Végeredményben az is lehetséges, hogy sikerül ténylegesen csökkentenünk mind a beruházási költséget, mind az üzemanyagköltséget.

Első atomerőmüveink beruházási költsége, az üzemanyag és telephelyelőkészitő munkák költségét nem számitva, több mint 120 fontot tett ki 1 kW-nyi teljesitménykapacitásra esően; a konstrukció módositásával sikerült a kW-onként beruházott összeget máris 100 fontra csökkenteni és még további csökkentést is lehet ugyan ennél a tipusnál elérni. Lényeges csökkentést azonban csak fejlettebb, tehát lényegesen módositott reaktortipusokkal érhetünk el; ilyen pl. az uj gázhütésü reaktor, melyről később fogok beszélni. Ez a reaktortipus az 1960-as évek végére az addigra kifejlesztett még ujabb tipusokkal együtt a beruházási költséget előreláthatólag kW-onként számitva 75-80 fontra fogja csökkenteni. Az 1970-es évekre pedig még további 20-25%-os csökkentést szeretnénk elérni. Persze ez nem lesz könnyü

feladat, erősen kell dolgoznunk a müszaki fejlesztésen, de kilátásaink biztatóak.

Minél kisebb beruházási költséggel épül a reaktor, annál bonyolultabbá lesznek a szükséges fütőelemek; ez vonatkozik a fejlődés fentebb vázolt fokozatai közötti állapotra éppugy, mint magukra a fejlődési fokozatokra. Jóllehet a fejlődés utján egy nagy lépés előre elfogadhatóvá, sőt örvendetessé teszi a fütőelemek gyártásánál jelentkező bonyolultabb eljárásokat, mégis bizonyos határokat kell szabnunk a beruházási költség csökkentésére való törekvésnek adott tipusoknál, ha azok a fütőelemgyártás költségeit tetemesen növelik. Ugyanis, ha a beruházási költség csökkentését csak azon az áron érjük el, hogy pl. nagyobb hőmérsékletekkel és gyorsabb elégetéssel kell dolgoznunk, akkor az üzemanyagköltség annyira növekedhet, hogy ezen a téren többet fizetünk rá, mint amennyit a beruházási költségen megtakaritottunk. Igy ha az elektromos teljesitményt ugy akarjuk növelni és az egységnyi teljesitményre eső beruházási költséget oly módon akarjuk csökkenteni, hogy hosszantartóbb fütőanyagbesugárzást, illetve nagyobb tokhőmérsékletet kivánunk biztositani, akkor esetleg rozsdamentes acél tokolásra is szükség lehet. Az acéltokok esetében az abszorpció okozta neutronveszteséget viszont fütőanyagdusitással kellene ellensulyozni. Ezzel azonban a költség gyorsabban emelkedik, mint az a hőmennyiség, melyet az üzemanyagtechnológia mai állása szerint a dusitott üzemanyagból kivonhatunk.

2.2 A Calder Hall-tipus továbbfejlesztése

Reaktorprogramunk első célkitüzése az, hogy az eddig sikeresen kifejlesztett tipust a lehető legjobban ki tudjuk

használni. Emlitettem már azt a fejlődést, amelyet az angol atomenergiaprogram első erőmüvei Calder Hall-hoz képest konstrukció és teljesitmény tekintetében jelentenek. Ezeknek az atomerőmüveknek tervezésével és épitésével kapcsolatos munkák befejeztével kitünt, hogy ez a gázhütésü, grafittal moderált reaktortipus még számos fejlődési lehetőséget rejt magában. Azt hisszük, hogy a tipuson javitani lehet, még ugyis, ha fütőanyagként megtartjuk a természetes urániumot magneziumötvözet-tokolással. Még mindig van tere a specifikus hőfejlesztés fokozásának és az üzemi hőmérséklet emelésének, bár ennek határt szab az, hogy az urániumfémrudak hőmérséklete a magnox-tokokban nem haladhat meg bizonyos fokot. Uj hőátviteli felületek, nagyobb nyomás és müszaki módositások azonban mind emelik a hatásfokot. A mai napig elért eredményeinket és a jövőre vonatkozó kilátásainkat a későbbi üléseken bemutatásra kerülő több tanulmány fogja ismertetni.

További jelentős javulást érhetünk el, ha dusitott üzemanyagot és a felmerülő nagyobb üzemi követelményeknek jobban megfelelő tokanyagot alkalmazunk, ez még nagyobb hőmérsékletre és égési sebességre vezet. Ilyen célból folytatunk vizsgálatokat urániumoxid üzemanyaggal és berilliumtokolással. Ez lehetővé teszi, hogy a gáz kimeneti hőmérséklete kb. 550 C^{o}-ot is elérjen és a keramikus üzemanyagok sugárzással szemben tanusitott stabilabb viselkedése az elégetés fokának olyan emelését teszi lehetővé, hogy az végül meghaladhatja az urániumtonnánkénti 6000 megawattnap értéket. Az Atomenergiahatóság most egy fejlettebb tipusu gázhütésü reaktor tervén dolgozik; ennek épitésébe hamarosan belekezdünk. Reméljük, hogy munkánk annyira sikeres lesz, hogy általa az áramfejlesztő vállalatok igazgatóságait arra bátoritsuk, hogy az ilyen tipusu reaktorok épitésére kötött szerződéseik teljesitésének határidejét, mondjuk, 1965-ben szabják meg. Efajta reaktorok bővebb ismertetését Moore, Grainger és Kronberger tanulmányában adjuk.

2.3 Egyéb reaktortipusok az 1960-as évekre

Továbbhaladunk a már kitaposott gáz/grafit uton, mivel biztosak vagyunk abban, hogy ez az ut céljaink biztos és mihamarabbi elérésére jó kilátást nyujt. Természetesen ez azzal jár, hogy nem követhetjük az Egyesült Államokat, ahol a reaktorok legkülönbözőbb fajtáinak kipróbálásán dolgoznak, hogy igy módjuk legyen a legmegfelelőbb kiválasztására, mivel ott az üzemanyagkérdés nem olyan égető probléma, mint országunkban. Ezen tulmenően nekünk nem áll módunkban, hogy olyan sok szakértelmet és anyagi erőkifejtést forditsunk különböző reaktortipusok kifejlesztésére, melyek gyakran új anyagok gyártásának kidolgozását és különleges kisérleti berendezések felépitését követelik meg. Szükségszerüen erőkifejtéseinket egyetlen fő irányra kellett összpontositanunk és ezen az uton kell a lehető leggyorsabban előrehaladnunk, ugy, hogy az eddig szerzett tapasztalatokat fejlettebb és javitott, de lényegében mégis hasonló reaktorok felépitésére kell felhasználnunk.

A gyakorlatilag megszabott korlátok ellenére sem szabad azt tennünk és nem is tesszük azt, hogy most már minden erőnkkel csak a gáz/grafit reaktortipussal foglalkozzunk. A fejlettebb gázhütésü rendszer, amelyen most dolgozunk, igen nagy fejlődési lehetőségeket igér és véleményünk szerint jóval olcsóbban fog majd villamosáramot termelni, mint első ilyen atomerőmüveink. Ezek a költségek azonban nagyonis függnek attól, hogy bizonyos nehéz müszaki problémákat miként sikerül megoldanunk és mindig fennáll az a lehetőség, hogy a tervbevett fejlesztés nem hozza meg a várt megtakaritást. Éppen ezért az Atomenergiahatóság célszerünek látja, hogy más reaktortipussal is foglalkozzunk, mely az 1960-as évek végére olcsóbban termelhet villamosáramot, mint kezdeti erőmüveink.

Az ebből a célból tanulmányozott tipusok egyike a nátriumhütésü grafitreaktor. Ilyen rendszerre vonatkozó müszaki tervekkel 1957. végére készültek el. Ez igen nagy lé-

pést jelentett ama törekvésünk elérésében, mely a beruházási költségekben nagymérvü megtakaritást irányozott elő. Nem látszott semmi nehézség abban, hogy ilyen tipusu reaktort nagy méretben - 400 megawatt elektromos teljesitménnyel, vagy még ennél is nagyobb kapacitással - épitsünk fel, tehát a nagyobb méretnek megfelelően nagyobb megtakaritást is érjünk el; számitásba véve a nátrium jó hőátviteli karakterisztikáját és a meglehetősen nagy üzemi hőmérsékletet, 37% körül mozgó termikus hatásfokra lehetett számitani. Következésképpen a jelenlegi gáz/grafit tipusnál jóval olcsóbb beruházási költséggel - kW-ként kb. 75 fonttal számolhattunk az addigi 100 font helyett. Másrészt viszont a konstrukció igen bonyolult volt - ennek megfelelően üzemeltetésnél és karbantartásnál is több probléma akad - és nagy problémát jelentett az is, hogy a nátrium igen rombolólag hat sok reaktoranyagra. Hátrányos volt továbbá a nátrium nagy neutronabszorpciója, amelynek folytán viszonylag nagyobb dusitásra lett volna szükség. Brit diffuziós telepről /mely Angliában érvényes árakat fizet a felhasznált villamosáramért/ vásárolt U-235 alkalmazása igen megdrágitotta volna az üzemanyagot, ami által az üzemköltség emelkedése felboritotta volna a gazdaságossági számitásokat és ezért az Atomenergiahatóság egyelőre nem folytatja az ezzel a tipussal való kisérletezést.

Részben ez, azaz a dusitott üzemanyag magas ára az oka annak, hogy brit Atomenergiahatóság nemigen foglalkozik vizzel moderált reaktorokkal, villamosáramfejlesztés szempontjából, jóllehet igen jó termikus hatásfokot lehet vele elérni és az Egyesült Államokban tervezett ilyen rendszerü

reaktoroknál a beruházási költség is csökkenő irányzatot mutat.

A Hatóság ujabban ismét egy másik tipust tanulmányoz, mely alkalmasnak látszik arra, hogy az 1960-as években villamosenergiafejlesztésre használható legyen. Ez szintén gázhütésü rendszer, mely azonban nehézvizmoderátorral müködik. Ez alkalmasnak látszik arra, hogy nagy méretekben, kb. 500 megawatt elektromos teljesitményre épüljön, a nehézviz ára miatt azonban a beruházási költségek ennél a reaktortipusnál valószinüleg nagyobbak, mint amilyen a nátrium/grafit rendszernél lett volna. Talán még a gáz/grafit reaktortipusénál i is nagyobbak lesznek, ha az utóbbinál kilátásban levő összes megtakaritást sikerül megvalósitani. Maga a rendszer viszont alapjában sokkal egyszerübb, fenntartása könnyebb, mivel nincsen szükség nagynyomásu tartályra és a nehézvizmoderátorral, a grafit alkalmazásával járó bizonyos problémák, mint pl. energiafelhalmozódás, oxidáció, elkerülhetők. Ha ez a rendszer a most folyó vizsgálatok eredményeképpen gazdaságosnak igérkezik, akkor a Hatóság bizonyára hamarosan hozzákezd a megfelelő müszaki tervek elkészitéséhez és belefog egy kisérleti berendezés, vagy egy prototipus épitésébe.

2.4 Hajók részére és exportra készülő kisebb reaktorok

Az Atomenergiahatóság reaktorfejlesztési programjának egy másik célkitüzése olyan reaktortipusok kifejlesztése, melyek a hagyományos erőmüvekkel gazdaságossági szempontból fel tudják venni a versenyt, de jóval kisebb méretüek, mint az angol atomenergiafejlesztési program keretében Anglia számára tervbevett reaktorok. Ilyen kis reaktorok ideálisak lennének hajók meghajtására és igen alkalmasak volnának olyan országokba való exportálásra, melyeknek kisebb teljesitményü egységekre van szükségük, mint Angliának.

Hajók meghajtására alkalmas reaktorok kifejlesztése azonban számos különleges feladat megoldásával jár. Tenger-

járó reaktornak igen kompaktnak kell lennie, mivel védőfalának sulya erősen csökkenti a hajó teherbiró kapacitását. Nagyobb specifikus hőfejlesztésre van szükség, hogy a fütőanyagtérfogatot csökkentsük; ez ujra külön feladatot jelent; pl. szükségessé teszi a xenon-mérgezés felléphésének megakadályozását; ez a jelenség a magas égési szinten müködő reaktor teljesitménycsökkenésekor, vagy leállitásakor következik be. Speciális veszélyeket rejt magában az, hogy a reaktort erősen igénybeveszi a hajó mozgása. Végül külön óvóintézkedésekre van szükség, hogy összeütközés, vagy a hajó elsüllyedése esetében ne szabadulhasson fel radioaktivitás. E problémák megoldására irányuló munkákat és ilyen hajómeghajtó egységekre vonatkozó tanulmányokat a Konferencián bemutatott két dolgozat ismerteti.

Azzal, hogy a hajóreaktornak kompaktnak kell lennie, együttjár az, hogy a fütőanyagot dusitani kell. Az ilyen reaktorok a szokványos erőforrásokkal szemben csak akkor lehetnek versenyképesek, ha olcsó áron lehet hasadóanyagot szerezni. Angliában erről pedig csak akkor lehet majd szó, ha villamosenergiát termelő reaktorokból megfelelő mennyiségü plutonium áll rendelkezésre.

Angliának ezért a gazdaságos atomerőmeghajtás kérdését egy ideig valami átmeneti tipussal kell megoldania. Amig olcsó hasadóanyag nem áll rendelkezésre és plutoniumot égető rendszereket nem alkalmazhatnak, olyan reaktorokkal kell kisérleteznünk, melyek esetleg már előbb biztosithatják a gazdaságos meghajtóerőt. A Hatóság ezért azzal a gondolattal foglalkozik, hogy esetleg megfelelően átalakitja a gázhütésü rendszert, vagy, ha sikeresnek igérkezik, a gáz/nehézviz tipust, hajók meghajtása céljára. Ezeknél a reaktoroknál, még ha kisebb méretüek is, kevesebb dusitásra lenne szükség,mint a könnyü vizzel dolgozó rendszereknél. Szükségszerüen azonban nagyobb méretüek lennének és csak akkor bizonyulnának gazdaságosnak, ha nagyobb, mondjuk 50.000 tonna holtsulyt

meghaladó hajóknál alkalmaznák. Ha olcsó hasadóanyag áll majd rendelkezésre, akkor már ezeket a gázhütésü reaktorokat nyilván nem épitik be a nagyobb hajókba sem; akkor már az atommeghajtás a kisebb hajóknál is gazdaságos lehet.

2.5 Az 1970-es évekre tervezett reaktortipusok

Ha most a távolabbi jövőbe tekintünk, azt reméljük, hogy az 1970-es években sikerül megvalósitanunk mind a gyorsreaktorok, mind a nagyhőmérsékletü gázhütésü reaktorok nyujtotta lehetőségeket. Ezekre a rendszerekre vonatkozó tanulmányok szintén bemutatásra kerülnek a Konferencia technikai ülésein.

Nagyhőmérsékletü, gázhütésü rendszer szilárd moderátorba beépitett kerámikus üzemanyag alkalmazásával, ami kiküszöböli fém fütőelemek vagy lemezek használatát, megnyilik annak a lehetősége, hogy olyan magas hőmérsékleteket érjünk el, amelyeken már szóbakerülhet gázturbinák alkalmazása.Ilyen nagy hőmérsékleteknél U-233-mal dusitott tórium fütőelemek gazdaságosabbnak bizonyulhatnak, mint az U-238 és a plutonium. Egyet megközelitő konverziós tényező elérése látszik lehetségesnek a Th-232/U-233 ciklusban. Ennek a reaktornak üzemanyagköltsége kicsi lesz. A nagy égési sebességnek és a keramikus fütőelemek hosszu élettartamának következtében ez a tényező, a reaktor kis méretével, tehát a teljesitményhez viszonyitott kis beruházási költséggel együtt, a villamosenergia teljes termelési költségét lényegesen lecsökkentheti az első atomerőmüvekéhez képest. Azonban ennek a rendszernek a kifejlesztéséhez még sok-sok évi munkára van szükség.

2.6 Termonukleáris energia

A még távolabbi jövőben, most még nem tudjuk megmondani, hogy mikor, a szabályozott termonukleáris reakció szolgálhat villamosenergia-termelésre. A ZETA és Sceptre III készülékek kifejlesztéséről és az ezekkel folyó kisérletekről

a Konferenciára beküldött egyéb tanulmányok számolnak be. Ezek a készülékek bebizonyitották, hogy ZETA-tipusu gépekben a kisülések már számottevő ideig fenntarthatók és kilátás van arra, hogy ilyen készülékben valódi termonukleáris reakció ténylegesen létrejöjjön. Nagyobb méretü berendezéssel és nagyobb feszültségekkel a reakció hőmérsékletének és ezzel energiateljesitményének el kell érnie azt a kritikus pontot, amikor a rendszer egészében már több energiát termel, mint amennyit fogyaszt. Az Atomenergiahatóság igen jelentős pénzösszegeket és munkaerőt fordit ennek a rendszernek a kifejlesztésére.

2.7 Rugalmas és kiegyensulyozott program

Anglia speciális körülményeire való tekintettel, az atomerővel történő villamosenergiafejlesztés megvalósitása sürgős feladat. Óvatosan kell azonban eljárnunk, hogy egyrészt elhamarkodott döntéseket ne hozzunk nagy befektetéssel járó, viszonylag kezdetleges tipusok épitésére vonatkozólag, másrészt ellen tudjunk állni annak a csábitásnak,mely a legtökéletesebb kutatására ösztönöz és melynek soha nincsen vége. Nagyobb elhatározások alkalmával, mikor egy tipus kiterjedt alkalmazására vonatkozólag hozunk döntést, sokszáz millió font és évek munkájának eredménye forog kockán. Éppen ezért arra törekszünk, hogy terveinket határozottakká tegyük, már ami a határidők és előirányzatok pontos betartását illeti; ugyanakkor azonban rugalmasaknak kell lenniök, hogy előre nem látott akadályokat leküzdhessünk és nem várt lehetőségeket kihasználhassunk. Pl. azért választottuk a gáz/grafit tipust, mivel biztosak voltunk abban, hogy ezzel elfogadható áron tudunk villamosáramot termelni és amint ezen az uton előrehaladunk, minden uj atomerőmü terve az előbbiekhez képest az eddigi tapasztalatok felhasználása révén, fejlődést mutat. Ugyanakkor azonban egészen uj tipusokat is tanulmányozunk, melyeket bármikor bevezethetünk, ha már a gáz/grafit rendszer elérte fejlődésének maximumát. Nagyon is tudatában

vagyunk a korlátozó tényezőknek is. Az olcsóbb és több energiára vonatkozó igények állandó növekedése miatt sürget az idő. Komoly a tudományos szakemberekben mutatkozó hiány. További problémáink:a pénzhiány nagyobb arányu kisérleti munkákkal kapcsolatban; végül a hasadó-anyagban mutatkozó hiány és annak magas ára. Lehetséges, hogy ezek a korlátozó tényezők éppen olyan előnyösen voltak számunkra azáltal, hogy arra kényszeritettek: maradjunk szigoruan gyakorlatiasak, - mint amennyire hátráltatták munkánkat.

Amikor Anglia első ideiglenes atomenergiafejlesztési programját tartalmazó Fehér Könyvet 1955. februárjában közzétették, az volt az elgondolás, hogy országunk az u.n. "természetes uránium/plutonium utat" fogja követni. Tehát a természetes urániummal dolgozó Calder Hall reaktortipust egy folyadékhütésü, a már müködő reaktorokból származó plutoniummal dúsitott reaktortipusnak kellett volna követnie. Ezeknek a reaktorok ismét további plutoniummennyiségeket terméltek volna, ugyhogy idővel az évi plutoniumtermelés elérte volna azt a szintet, hogy a gyors szaporitó reaktorok első töltéséhez szükséges nagy plutoniummennyiséget biztositsa. Ez utóbbiak azután nagy konverziós tényezőjük alapján elégséges plutoniumot biztositottak volna egy folytonosan növekvő program megvalósitásához anélkül, hogy tulságosan sok természetes urániumot fogyasztottak volna, vagypedig szükség lett volna egy diffuziós üzem felállitásához szükséges hatalmas beruházási költségre.

1955. óta a gáz/grafit reaktorokkal szerzett tapasztalatok alapján nem valószinü az, hogy Angliában az 1970-es évekig folyadékhütésü reaktor épitését irányozzuk elő az atomenergiafejlesztési program keretében és akkorra a gyorsreaktor már eléggé fejlett tipus lesz ahhoz, hogy nagybani közfogyasztásra szánt villamosenergia termelésére be lehessen állitani. Munkánk alapján rájöttünk arra, hogy gazdaságos lehet nagyobb égéssebességü reaktorokban némileg dúsitott uránium alkalmazása, mielőtt az első "polgári" reaktorok

müködése révén megfelelő mennyiségü plutonium áll rendelkezésünkre. A dúsitás foka valószinüleg kisebb lesz, mint az U-235 természetes koncentrációjának kétszerese, /!!/ miután a jelenlegi angol diffuziós üzemi költségek mellett a nagyobb dúsitás már a gazdaságosság rovására történnék. Ezek a reaktorok később az első atomerőművekből származó plutoniummal dúsitott természetes urániummal táplálhatók. Az is lehetséges volna, hogy ezeket az ujabb reaktorokat a "plutonium -egyensuly- ciklus" elve alapján müködtessük, azaz a termelt plutoniumot finomitás után ujból bevezetjük a körfolyamba némi legyengült urániummal és valami kis uj tápanyaggal együtt, mely természetes uránium is lehet.

Végső soron egy jó, kiegyensulyozott program megvalósitására törekszünk, melyben különböző rendszerü reaktorok egy közös, nagyjában állandó mennyiségü hasadóanyagkészletből meritik fütőanyagukat, illetve járulnak hozzá annak felépitéséhez. Igy pl. az első természetes urániummal, vagy némileg dúsitott urániummal dolgozó erőmüvek 1970-re mondjuk 3 vagy ennél több tonna plutoniumot termelhetnek évente. 1975-re ezt a mennyiséget erősen növelheti a gyorsreaktorok által termelt további plutonium és a tóriumszaporitókban termelt U-233. Az ekkor rendelkezésre álló hasadóanyagmennyiség már elégséges lesz arra, hogy a nagyobb számban épitendő gyorsreaktorok és nagyhőmérsékletü gázhütéses reaktorokhoz szükséges első töltéseket biztositsa. Ha ezek az utóbbi reaktorok már üzemben vannak, akkor viszonylag alig, vagy csak igen kevés ujabb üzemanyagot igényelnek évente. Urániumra azonban továbbra is szükség lesz, hogy az első természetes uránium, vagy kissé dúsitott urániumu termikus reaktorok fütőanyagutánpótlásául szolgáljon.

Még nem tudjuk pontosan megmondani, hogy üzemanyagfogyasztás és -termelés miként alakul az első nagyméretü természetes urániumreaktoroknál, még kevésbé adhatunk pontos becslést a későbbi reaktorok üzemanyagfogyasztására, illetve

termelésére vonatkozólag. Atomenergiafejlesztési programunk során azonban először olyan reaktorokat irányozunk elő, melyeket teljesen, vagy nagyrészt természetes urániummal táplálunk és plutoniumot termelnek, később pedig olyan tipusokat, melyekhez nagy kezdeti hasadóanyagtöltésre van szükség és vagy további hasadóanyagot termelnek, vagy azt teljesen elégetik. Eme előirányzott munkánk során jobban meg fogjuk ismerni ezeket a reaktorokat és tisztábban fogjuk látni különböző fütőanyagszükségleteiket; ennek megfelelően módunkban lesz épitésüket olyan ütemben programba venni, hogy a fütőanyagellátás és fütőanyagszükséglet nagyjában annyira fedje egymást, hogy ne legyen szükség tulnagy beruházásokra a diffuziósüzemek kapacitásának növelése céljából. Ilyen konvertáló-, szaporitó-elégető reaktorhálózat megvalósitására törekszünk az 1970-es évekre. Azok a reaktortipusok, melyeknek kifejlesztésére erőkifejtéseinket összpontositjuk, beleillenek ebbe az elgondolásba és valószinüleg fedezni is tudják atomenergiaszükségletünket a termonukleáris korszak eljöveteléig.

Forditotta: Kovács Jenőné

Polgári teljesítményreaktorok az Egyesült Államokban

Megjelölés b/	Hely	Tervező vállalat	Teljesitm. MW-ban hő	Teljesitm. MW-ban elektr. /netto/	Fűtőanyag fajta	Fűtőanyag mennyisége a reaktor-rendszerben	Fűtőanyag uránium U/235-tartalma	Moderátor	Primér hütőanyag	Primér hütőanyag Hőmérsékl. C° bem.	Primér hütőanyag Hőmérsékl. C° kim.	Primér hütőanyag Nyomás ata	Gőz hőmérsékl. C°	Gőz Nyomás ata	Építés kezdete	Elkészült	Építési költs. 1000 $-ban c/	Kut. és fejl. 1000 $-ban
Viznyomásos reaktorok:																		
SHIPPINGPORT ATOMIC POWER STATION-PWR	Shippingport, Pa.	Westing-house	231	60 /később/ 100	UO_2 U-Zr ötv.	14160 kg term.U,75kg U_{235}	0,7 % 92,3%	H_2O	H_2O	264	281	140	252	41	1955 ápr.	1957 dec.	/47750/ 72500	kb. 40000
Indian Point Pressurized Water Power Plant	Buchanan, N.Y.	Babcock & Wilcox	585	btto 275 d/	UO_2-ThO_2 kev.	500 kg U_{235} 14464 kg Th_{232}	90 %	H_2O	H_2O	252	271	108,5	232	28,3	1956. dec.	1960. aug.	/55000/ 90000	-
Yankee Atomic Electric Plant	Rowe, Mass.	Westing-house	480	134	UO_2	26200 kg UO_2	3,1 %	H_2O	H_2O	252	273	140	243	36,4	1957. közepe	1960	/32920/ 55000	-
Atomic Merdant Ship Reactor	NS Savannah	Babcock & Wilcox	85	/16,4/	UO_2	-	3,6 %	H_2O	H_2O	257	272	122	-	-	1958. tavasz	1960.	12000	9000
Carolinas-Virginia Nucl. Power Station	Parr Shoals, S.C.	Westing-house	60,5	17	-	-	2,0 %	D_2O	D_2O	-	288	105	-	-	-	1963.	17000	-
Large Scale Heavy Water Reactor	-	-	-	100	-	-	-	D_2O	D_2O	-	-	-	-	-	-	1962.	-	-
/SUBMARINE THERMAL REACTOR S 1 W/	NRTS Idaho	Westing-house	-	-	erősen dúsitott uránium		-	H_2O	H_2O	-	246	-	-	-	-	1953. márc.	20000	-
/ARMY PACKAGE POWER REACTOR No.1 - APPR-1/	Fort Belvoir, Va.	Alco Products	10	1,8	UO_2 rozsdamentes acélban	22,5 kg U_{235}	erősen dús.	H_2O	H_2O	222	232	84	208	14	1955. okt.	1957. ápr.	3500	-
Vizforraló reaktorok:																		
EXPERIMENTAL BOILING WATER REACTOR-EBWR	Lemont, Ill.	Argonne Nat.Lab.	20	4,5	U-Zr-Nb ötvözet	5670 kg uránium	átl. 1,4 %	H_2O	H_2O	54,5	254	42	254	42	1955. máj.	1956. dec.	4945	31600
GENERAL ELECTRIC DEVELOPMENTAL BOILING WATER REACTOR - VBWR	Vallecitos, Calif.	General Electric	20	5	UO_2 rozsdamentes	19,8 kg U_{235}	90 %	H_2O	H_2O	vál-tozó	285	70	285	31,5	1956. jul.	1957. aug.	3 - 4000	-
Dresden Nucl. Power Station	Grundy County, Ill.	General Electric	627,3	180	UO_2	60000 kg uránium	1,5%	H_2O	H_2O	262	283	71	száraz és telit.	prim. 70 szek. 32	1957. márc.	1959 dec.	45000	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Argonne Boiling Reactor Facility ARBOR	NRTS, Idaho	Argonne Nat.Lab.	200	semmi	-	110 kg U_{235}	90 %	H_2O	H_2O	-	335	max. 140	-	-	1958.	1960	8500/?/	-
Elk River Boiling Water Reactor	Elk Riv. Minn.	AMF Atomics/ ACF Industr.	77,7 d/	22 d/	UO_2 ThO_2	1320 kg UO_2 3050 kg ThO_2	9,8 %	H_2O	H_2O	276 /víz/	279 /gőz/	63	440	42	-	-	-	-
Northern States Control Recirculation Boiling React.	Sioux City, S.D.	Allis Chalmers	164	61,5 d/	UO_2	66 kg U_{235}	1,6 %	H_2O	H_2O	147	254	42	254 /450/	42 /35/	1959. júl.	1962. máj.	21600	-
Pacific Boiling Water Reactor	Humboldt Bay Calif.	General Electric	165 197	btto: 50-60	UO_2	-	2,0 %	H_2O	H_2O	-	285	70	285	70	-	1962	20000	-
Gyors-szaporító reaktorok:																		
EXPERIMENTAL BREEDER REACTOR No.1. - EBR-1	NRTS, Idaho	Argonne Nat.Lab.	1,4	0,2	U-Zr ötv.	52 kg U_{235}	90 %	nincs	NaK	228	316	1	289	28	1949. ősz	1951. aug.	2732	
Experimental Breeder Reactor No.2 - EBR-II	NRTS, Idaho	Argonne Nat.Lab.	62,5	17,4	U-ötv.	363 kg uránium	49 %	"	Na	371	482	1	449	91	1957	1959 /?/	/15450/ 29100	68500
Los Alamos Molten Plutonium Reactor Experiment No.1. LAMPRE-1	Los Alamos, N.Mex.	Los Alamos Scientific Lab.	1	semmi	/foly./ Pu-ötv.	10-15 kg Pu	-	"	NaK	-	315	1	-	-	1956. nov.	1960	-	
Enrico Fermi Atomic Power Plant	Monroe, Mich.	Atomic Power Developm. Ass.,Inc.	300	90	U-Mo ötvöz.	485 kg U_{235}	27 %	"	Na	288	427	1	395	41	1956. aug.	1960	46461	-
Nátriumhütésü reaktorok:																		
SODIUM REACTOR EXPERIMENT SRE	Santa Susana, Calif.	Atomics Internat.	21	6	U-fém	2570 kg uránium	2,8 %	grafit	Na	260	516	1	440	43,4	1954. júl.	1957. ápr.	/4000/ 9290	8945
CPPD Sodium Reactor Plant	Beatrice, Nebr.	Atomics Internat.	245	75	uránium	23500 kg uránium	2,8 %	"	Na	260	496	3,5	440	56	1958 végén	1962	/25110/ 40583	-
Sodium D_2O Reactor-SDR	Anchorage, Alaska	Nuclear Developm. Corp.of America	40	10	U-ötvöz.	8700 kg uránium	2,0 %	D_2O	Na	399	510	1	455	60	1959	1962	/7350/ 8579	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SUBMARINE INTERMEDIATE REACTOR - S 1G/	West Milton, N.Y.	General Electric	-	-	uránium	-	magas	berí-lium	Na	-	-	-	-	-	-	1955. márc.	20500	-
Szerves moderátoru reaktorok:																		
ORGANIC MODERATED REACTOR EX-PERIMENT-OMRE	NRTS, Idaho	Atomics Internat.	16	semmi	UO_2 rozs-damentes acélban	20,75 kg uránium-235	90 %	terfenil		260-tól 370-ig	270-től 375-ig	21	-	-	1956. jan.	1957. jul.	2372	-
Piqua Reactor	Piqua, Ohio	Atomics Internat.	45	12,5	urán	6000 kg uránium	1,8 %	terfenil		-	325	2,5	288	29	-	1961	/5621/ 7965	-
Homogén reaktorok:																		
HOMOGENEOUS REACTOR EX-PERIMENT No.1. HRE-I	Oak Ridge, Tenn	Oak Ridge Nat.Lab.	1	0,1	uranil-szulfát vizes oldatban	3,6 kg U_{235}	90 %	a táp-anyag-oldat H_2O-ja	mag: tápa-nyag-oldat; takaró D_2O	210 177	250	70	-	14	1950. szept.	1952. ápr.	1100	
HOMOGENEOUS REACTOR EX-PERIMENT No.2. HRE-II	Oak Ridge, Tenn	Oak Ridge Nat.Lab.	5	0,1	uranil-szulfát vizes oldatban UO_2SO_4 D_2O	5,0 kg U_{235}	90 %	táp-anyag-oldat D_2O-ja	mag: táp-oldat, takaró D_2O	256 277	305 282	119	246 mag-ban, taka-ró 277	38,3 mag-ban, taka-ró 62	1954. jul.	1956. jun.	/2430/ 3833	50286
LOS ALAMOS POWER REACTOR EXPERIMENT No.1. LAPRE-I	Los Alamos, N.Mex.	Los Alamos Scientific Labor.	2	semmi	uranil-foszfát viz.old. UO_2HPO_4-H_2O	4,25 kg U_{235}	90 %	H_2O	H_2O	-	427	273	-	252	1954. szept.	1956. febr.	700	
Los Alamos Power Reactor Experiment-2 LAPRE-II	Los Alamos, N.Mex.	- " -	1	semmi	- " -	3,85 kg U_{235}	90 %	H_2O	H_2O	-	315	56	255	42	1955. febr.	1958.	100	
Wolverine Homogeneous Reactor e/	Hersey, Mich.	Foster Wheeler	33 d/	10 d/	uranil-szulfát vizes oldatban	18,6 kg U_{235}	90 %	D_2O	táp-ol-dat	260	299	133	252 /tulhevítés előtt/	42	-	-	/3574/ 14400	-
Pennsylvania Advanced Reactor- PAR	-	Westing-house	-	70-150	UO_2 és ThO_2 zagy D_2O-ban	-	-	D_2O	zagy	-	-	-	-	-	1960	1963	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Gázhütésü reaktorok:																		
East Central Florida West Coast Nuclear Reactor	Florida	General Nucl.Eng. Corp.	-	50	enyhe dus. urán	-	enyhe dus.	D_2O	gáz	-	550	36,4	540	70-100	-	1963	25900	-
Gas Cooled Power Reactor GCPR	NRTS, Idaho	Kaiser Engineers	-	40	-	-	-	-	gáz	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maritime Gas Cooled Reactor-MGCR	-	General Dynamics	-	/14,8/	dúsitott uránium	-	-	-	gáz	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Egyéb reaktortipusok:																		
Liquid Metal Fuel Reactor Experiment-LMFR	Brookhaven	Babcock & Wilcox	20	semmi	U-Bi-oldat	25,3 kg U_{235}	90 %	grafit	tápoldat	-	440-496	15	496	140	1958.	1959.	10000-15000	
Plutonium Recycle Test Reactor	Hanford Wash.	General Electric	66	semmi	Pu-Al ötv. és UO_2	-	-	D_2O	D_2O	-	275	-	-	-	1958	1960	15500	-

Megjegyzések:

b/ REAKTOR = a reaktor üzemben van, vagy üzemben volt;
Reaktor = a reaktor épitès alatt áll;
Reaktor = tervezés alatt.

c/ Az épitési költségek - amennyiben más megjegyzés nincs - az első tápadagot kivéve, az egész berendezésre vonatkoznak; zárójelben: az elsődleges költségbecslés.

d/ beleértve a konvencionális gőztulhevitőt;

e/ a tervet 1958. májusában feladták.

AZ ATOMENERGIA FEJLESZTÉSÉNEK FŐBB IRÁNYVONALAI AZ EGYESÜLT ÁLLAMOKBAN

W.Kenneth Davis, U.M. Staebler

II. Genfi Konferencia A/CONF. 15/P/1076

Az Atomenergia Békés Felhasználása Első Genfi Konferenciája óta az Egyesült Államok nagy lépéssel haladt előre a teljesitményreaktorok technológiájának fejlesztésében.

Az USA atomenergiaprogramjának különböző eredményeiről a Konferenciára benyujtott egyéb cikkek számolnak be részletesen. Jelen előadásunk általános és összesitett képet kiván nyujtani. Először is vázoljuk a fennálló körülményeket, célkitüzéseket és az atomenergiaprogram alapvető jellegzetességeit. Majd megkisérelljük felmérni a dolgok mai állását és a jövőre vonatkozó kilátások tekintetében becslést végezni.

Az atomenergiaprogram alapvető feltételei, célkitüzései és fő jellegzetességei

A./ Alapvető körülmények

Az USA atomenergiaprogramját speciális körülmények és tényezők alakitották ki. Ezekkel tisztában kell lennünk, ha a programot igazán meg akarjuk érteni.

A program kialakitására nagymértékben hatott az az örökség, mely a láncreakció felfedezése után, majdnem 16 évvel ezelőtt, a hasadó anyagok tervszerü előállitására kidolgozott programokból maradt ránk. Ez az örökség nagyképességü és tapasztalt tudós- és mérnökgárdából, dúsitott uránium és nehézviz-termelésre, valamint elégett fütőelem reprocessz álására szolgáló óriási ipartelepekből és végül széleskörü, különösen vizhütésü reaktorokkal kapcsolatos üzemeltetési tapasztalatokból áll.

Hasonlóképpen a haditengerészetnek és a légierőknek az atommeghajtással kapcsolatos programja is bőséges műszaki tapasztalatokat szolgáltatott és szolgáltat ma is. Legtöbbet köszönhetünk nekik vizhütésü reaktorokkal kapcsolatban, de nagyon jelentős eredményeket értek el nagyhőmérsékletü reaktorokkal is.

Az atomenergiaprogram célkitüzéseinek kialakitásában még nagyobb szerepet játszott az Egyesült Államok energiaszükségletének és ellátásának kérdése. Ismeretes, hogy az USA energiaszükségletét ez idő szerint elég mérsékelt költséggel képes fedezni a rendelkezésre álló szén, kő, olaj, földgáz és vizierőtartalékból, valamint némi olajbehozatalból. Igy tehát az az igazság, hogy az Egyesült Államoknak a maga egészében nincsen olyan sürgősen szüksége az atomenergia felhasználására, mint a legtöbb fejlettiparu országnak. Az energiahelyzet terén azonban mutatkoznak olyan tényezők, melyek nagyonis kivánatossá teszik, hogy az elkövetkező két évtizedben eljussunk odáig, hogy olcsó atomenergiát használjunk széles körben elektromos áram termelésére.

Az energiafogyasztás óriási mértékben növekszik, a villamosenergia átlagosan évi 7 %-kal, az összenergiafogyasztás 3 %-kal. Az ilyen mértékü növekedés már egy idő óta tart, és valószinüleg tovább folytatódik.

Az Egyesült Államokban levő gazdaságosan feltárható tüzelőanyagtartalékok mennyisége eléggé bizonytalan. A bizonytalansági tényezők: a föld mélyében rejlő tartalékok mennyisége, a további felhasználás alakulása; a behozatal jövő alakulása, és feltárásuk gazdaságossága. Ha e tényezőkkel kapcsolatos jelenlegi becsléseink helyesek, akkor az Egyesült Államok határain belül található azon tüzelőanyagtartalékok, melyek a mostani költségek kétszereséért már feltárhatók, kb. 50 év mulva kimerülnek.

A helyzet esetleg még sulyosabb is lehet, mint amilyennek mostani becsléseink alapján látjuk. Az uj energiaforrások bevezetésének kritikus időszaka akkor következik be, ha a tüzelőanyagtermelés általános üteme a nagyobb szükséglet kielégitésére csak lényegesen nagyobb egységár mellett növelhető, nem pedig akkor, ha a valamilyen adott költséggel feltárható készletek kimerülnek. Hogy ez az idő mikor következik be, azt még nehezebb előre megitélni, mint hogy milyen mértékü lesz a rendelkezésre álló tartalék és fogyasztás; s ez az idő a különböző tüzelőanyagok esetén más és más lesz. Majdnem bizonyosnak látszik azonban, hogy egyes üzemanyagoknál ez az időpont 15-20 év mulva, 30 év mulva pedig már valamennyinél be fog következni.

Az atomenergia, legalábbis ahogyan ma látjuk, előreláthatóan nem tudja fedezni összes jövendő villamosenergia szükségletünket. Pedig ez jelenlegi összes energiaszükségletünknek csak mintegy 14%-át teszi ki; az atomenergia az egyéb energiaigényeknek csak igen kis részét tudja majd kielégiteni. Ma még nem számithatunk arra, hogy az atomenergia nagyobb szerephez jusson, pl. gépkocsik és forgalmi repülőgépek üzemanyagának pótlásában.

Éppen ezért létfontosságu, hogy az atomenergia mindenütt átvegye az energiaforrás szerepét, ahol csak lehetséges, hogy az egyéb üzemanyagokat olyan célra takarithassuk meg, ahol azok nélkülözhetetlenek. Egyes üzemanyagok fogyasztása a fentemlitett energiaszolgáltatási szerepen tul előreláthatóan még erősen fog növekedni kenőanyagként és vegyialapanyagként való felhasználásuk növekedése miatt.

A fenti meggondolások az Egyesült Államok egész területére vonatkoznak, és nem veszik tekintetbe az energiaforrások és az energiafogyasztás országon belüli egyenlőtlen eloszlását. Nagy ipari és népességi központjaink ott fejlődtek ki a multban, ahol nagymennyiségü hagyományos üzemanyag állt rendelkezésünkre. Jelenleg az az irányzat, hogy az ilyen központokat a bányáktól és egyéb energiaforrásoktól távoli vidékeken alakitsák ki. Ezen tulmenően, sok meglevő ipari központunk növekvő energiafogyasztását már nem elégiti ki a közelben található energiaforrás. Az atomenergia mielőbbi bevezetése látszik szükségesnek ahhoz, hogy az ilyen helyeken az ipari fejlődés tovább folytatódhassék. Erre jó példát szolgáltat New England, Florida és Kalifornia állama.

Egy további tényező, melyet az üzemanyag- és energiaellátási helyzet alapján az atomenergiaprogramban figyelembe kell vennünk az a tény, hogy bár az atomi üzemanyagokból igen sok helyen vannak tartalékaink, ezek mégsem kimerithetetlenek. Ez arra indit, hogy olyan magreaktor tipusokat fejlesszünk ki, melyek fütőanyag szaporitó tipusuak, vagy legalábbis nagy konverziós faktorral müködnek.

Az energiakérdésben eddig áttekintett tényezők világosan utalnak arra, hogy hacsak nem történik gyors áttörés a termonukleáris fronton, a hasadási energiának az USA-ban való felhasználására egy nemzedéken belül feltétlenül sor kerül.

Az USA-programot természetesen a többi ország atomenergia terén mutatkozó szükséglete és törekvései is befolyásolják. Az USA teljesitményreaktor programjának nemzetközi kihatása mind jelentékenyebbé vált az elmult három évben. Felismertük azt, hogy az atomenergia felhasználása mind teljesitményreaktorok révén, mind egyéb módon, nemcsak óriási mértékben segitheti már országok gazdasági helyzetének stabilitását és javitását, hanem a nemzetközi együttmüködés az atomenergia USA-beli fejlesztésében is fontos szerephez jut. Hisszük, hogy nagyban hozzájárulhatunk ahhoz, hogy külföldön mielőbb gazda-

ságosan kihasználható atomerőműveket lehessen felépiteni. A fejlesztési munkákból mi is hasznot huzhatunk olyan reaktorok épitése és üzemeltetése során, melyeket később gazdaságosan felhasználhatunk országunkban. Ha ilyen reaktorokat épitünk külföldön, sokat tanulhatunk az ezekben az országokban dolgozó tudósoktól és mérnököktől, akik közremüködnek az erőmü épitésében és velünk együtt dolgoznak kölcsönösen hasznos kutatási és fejlesztési programokon. Azt véljük továbbá, hogy a nemzetközi együttmüködés az USA gyár- és épitőiparának, legalább átmenetileg, számottevő foglalkoztatottságot biztosit.

Az atomenergia-program ütemezésének és irányának meghatározásában igen fontos szerepet játszik az Egyesült Államok társadalmi és gazdasági berendezése. Az ország villamosenergia kapacitásának 75 %-a felett tőkebefektetésekből finanszirozott közmüvek rendelkeznek. Az atomerőmüvek felszerelését és alkatrészeit szállitó gyárvállalatok teljesen magánkézben vannak; hasonlóképpen az erőmüvek tervezését és kivitelezését végző mérnöki tervező és épitkezési vállalatok is. Az a meggyőződésünk, hogy gazdaságos atomerőfelhasználást leghamarabb ugy érhetünk el országunkban, ha az ipar a szokásos pénzügyi és versenyfeltételek mellett maximális mértékben kiveszi részét az erre irányuló munkából. Ez azt jelenti, hogy az USA iparának átengedjük ebben a kérdésben a lehető legnagyobbfoku kezdeményezést és felelősséget. Mig egyrészről a kormány továbbra is rendelkezésre bocsájt olyan nyersanyagokat, mint a dúsitott uránium és a nehézviz, valamint gondoskodik a kémiai feldolgozási szolgáltatásokról, másrészről nincsen szándékában, hogy akár olyan anyagot szállitson, akár olyan szolgáltatásokról gondoskodjék, melyeket a magánipar máris ellát, vagy képes ellátni. Az Egyesült Államok Atomenergiabizottsága/USAEC/ müködésében alkalmazott azon módszer, mely szerint ipari és egyetemi laboratoriumokat biz meg szerződéses formában tervének kivitelezésével, igen hatásos módszernek bizonyult abban, hogy az ipar megszerezhesse a müszaki "hozzáértést"

és a kellő tapasztalatokat, melyekre szüksége van ahhoz, hogy közszolgáltatásra termelő reaktorokat fejlesszen ki, tervezzen, épitsen és üzembe helyezzen.

Programunk kialakitásában kevésbé kézzelfogható, de azért igen fontos tényező az a nemzeti büszkeség, melyet müszaki fejlettségünk, gyáriparunk képessége és az alapvető tudományok terén elért sikereink indokolnak. Még ha gazdasági szükségszerüség nem is hajtana, akkor sem tartanók magunkhoz méltónak, hogy a passziv szemlélő szerepét játsszuk ennek az uj, fontos és nehéz technológiának kifejlesztésében.

B./ Célkitüzések

A felsorolt körülmények indokolják, hogy az USA atomenergiaprogramban a célkitüzések egész sorát kivánjuk megvalósitani. Rövid határidőre kiszabott célunk az, hogy az Egyesült Államok és más országok nagy üzemanyagköltséggel dolgozó területei számára gazdaságilag versenyképes atomerőmüveket fejlesszünk ki. Távolabbi célunk, hogy olyan erőmüveket létesitsünk, melyek nagy területekre kiterjedően versenyképesek és amelyek a villamosenergiaszolgáltatás mellett más célra is alkalmasak: pl. fejlesztenek távfütési és ipari célra hőenergiát, valamint hajók, repülőgépek, szárazföldi szállitóeszközök meghajtására alkalmasak.

Abban reménykedünk lényegében, hogy ha sikerül az energiát valóban olcsóvá tennünk, alkalmazása uj területekre is ki fog terjedni és az egész világon emelni fogja az életszinvonalat.

Egy másik távlati célunk olyan magreaktorok kifejlesztése, melyek állandósitják az üzemanyagkészletet. Végül segiteni kivánunk más országoknak abban, hogy atomiparukat kifejlesszék és gazdaságosan alkalmazzák.

C./ A program jellegzetességei

Nézzük most már az USA atomenergiaprogramjának szövevényes szerkezetét, egyes alapvető jellegzetességein keresztül. Látni fogjuk, hogy ezek világosan összefüggnek a fennálló körülményekkel és a most ismertetett célkitüzésekkel.

1. A kifejlesztés alatt álló reaktortipusok sokfélesége

Az USA programban rögtön feltünik szerteágazó volta. Viszonylag kedvező üzemanyaghelyzetünk időt hagy számunkra és célkitüzéseink sokfélesége arra ösztökél, hogy a legkülönbözőbb reaktortipusok kifejlesztésén egyidőben dolgozzunk.

Ismeretes, hogy többszáz olyan reaktortipus van, melyek kifejleszthetők és felépithetők lennének. Azt is tudjuk, hogy ezek közül több alkalmas villamosenergia termelésére. Tudatában vagyunk annak, hogy nincsen egy, minden szempontból "legjobb" reaktortipus. Különleges alkalmazás, vagy a helyi körülmények dönthetnek abban a kérdésben, hogy melyik reaktortipus a legmegfelelőbb vagy a legtöbbet igérő. A program változatossága növeli annak valószinüségét, hogy kifejlesszük azt a legjobb reaktortipust, mely a majdan felmerülő igényeknek leginkább megfelel akár az Egyesült Államokban, akár a külföldi államok megsegitésére irányuló programunk folyamán.

Bizonyos, a most kifejlesztés alatt álló reaktortipusok, mint amilyen a viznyomásos, a vizforraló, a szervesmoderátoru és gázhütésü reaktor, biztatóak abból a szempontból, hogy viszonylag hamar sikerül segitségükkel azt a célkitüzést megvalósitanunk, hogy gazdaságos atomerőmüveket tudunk majd épiteni olyan helyeken, ahol a szokványos tüzelőanyagok ára magas.

Ugyanakkor olyan tipusokon is dolgozunk, melyek fejlesztése még kezdeti fokon van, de reményt nyujtanak arra, hogy sikeres megvalósitásuk esetében sokkal kisebb költséggel és jóval szélesebbkörü használatra lehet velük villamosenergiát termelni. Ebben az utóbbi csoportban különös figyelmet szentelünk a gyors-szaporitó, homogén, termikus-szaporitó és egyéb tipusoknak, melyek alkalmasak arra, hogy nagymértékben hozzájáruljanak a hasadóanyagkészlet kimerülésének késleltetéséhez.

Hogy a különböző teljesitményü és méretü erőmüvek iránt mutatkozó szükségletet kielégithessük, olyan reaktorépitkezéseken dolgozunk, melyek alkalmasak néhányezertől többszázezer kilowattig terjedő teljesitményü erőmüvek megvalósitására. Mig végső fokon, vagy különleges körülmények között már rövid időn belül is, igen fontos szerepet játszanak majd központi erőmüként szolgáló, 10 - 20.000 ekW teljesitményü atomenergiaegységek, addig, legalábbis egyelőre, az atomenergia ott lesz előnyös helyzetben, ahol igen nagyméretü egyes teljesitményreaktorok több erőmüvel rendelkező áramszolgáltatórendszerbe kapcsolhatók be.

A Shippingport PWR reaktor ez idő szerinti 60 000 ekW teljesitményével több villamosáramot termel, mint a világ bármely más egyedülálló reaktora. Azonban még teljes kapacitásának igénybevételével termelt 90 000 ekW teljesitménye ellenére is ezt a reaktort csak kisérleti tipusnak tekintjük az ezt követő sokkal nagyobb kapacitásu egységek kifejlesztésére irányuló munkánk során. A 180.000 ekW kapacitásu Dresden reaktor is valószinüleg csak a kisebb teljesitményü reaktorok között fog szerepelni a jövőben épitendő teljesméretü energiaszolgáltató reaktorok sorában. 300 000 - 700 000 ekW-t termelő reaktorokat képzelünk el a jövőben 3-3 millió kilowatt kapacitásu áramszolgáltató rendszerekbe csoportositva. Ebben a keretben az Egyesült Államokban most tervezés vagy épités alatt álló teljesitményreaktorokat alig tekinthetjük többnek kisérleti mintaüzemeknél. Meg kell azonban várnunk, hogy a

költségek olyan mértékben csökkenjenek, hogy a nagyobb egységek gazdaságilag versenyképesekké váljanak.

2. A fejlesztés fázisai

Azok a fázisok, amelyeken egy sikeresnek igérkező reaktortervezet a megvalósulás folyamán áthalad, bizonyos jellegzetes sorrendet mutatnak. Érdekes, ha rámutatunk ezekre az egymásután következő lépésekre.

Minden reaktortervezet alapját képezi az az elméleti ismeret, melyet általános laboratoriumi kutatási és fejlesztési munkák olyan területén értek el, mint a fizika, kémia, metallurgia és gépészet.

Az igy nyert ismeretek alapján javasolhatja egy szakember, vagy azok egy csoportja a reaktoralkotóelemek - fütőanyag, moderátor, hütőközeg - olyan kombinációját, mely alkalmasnak látszik arra, hogy a program mielőbbi vagy későbbi előirányzatainak teljesitését szolgálja. Ezeket az elgondolásokat a bevezetett gyakorlat szerint először a kormány illetékes szervei vagy laboratoriumai vizsgálják meg. Többszáz elgondolást tanulmányoztak már ilyen módon.

Ha egy elgondolást erre érdemesitenek, akkor a tervezetet behatóbb elemzésnek vetik alá és esetleg előzetes kutató és fejlesztési munkára is sor kerülhet. Ezek a munkák is általában a kormány hivatalos intézményeinél folynak, de előfordul az is, hogy az Atomenergiabizottság támogatásával egyetemeken, vagy ipari laboratoriumban történnek a kisérleti munkák.

Bizonyos elgondolásokkal kapcsolatban a következő lépés egy ugynevezett reaktorkisérlet megvalósitása volt. Ezek kisérleti méretü reaktorberendezések, melyek azzal a céllal épülnek, hogy a reaktor főbb müszaki paramétereit vagy összetevőit kipróbálják. Általánosan elfogadott elv, hogy nem min-

den, a laboratoriumi elemzésen átment elgondolást lehet vagy szabad egészen a reaktorkisérleti munkáig vinni. A kivitelezésre kerülő reaktorterveket gondosan mérlegelni kell eddigi legjobb ismereteink alapján. Folytatólagos támogatást csak akkor lehet egy reaktortipus kifejlesztésére biztositani, ha reményt nyujt arra, hogy több, a fejlődés hasonló fokán álló reaktortipushoz képest gazdaságosnak bizonyul. A kiválasztott tervezetek közül egyesek technológiája már annyira fejlett, hogy alkalmasnak látszik arra, hogy rövidesen közhasználati erőművekben alkalmazzák. Más tervezetek kikisérletezését viszont az indokolja, hogy az átmeneti időben vagy a távolabbi jövőben igérkeznek hasznosnak, vagy olyan speciális célra alkalmasak, mint a hasadóanyagszaporitás.

Jóllehet a reaktorkisérlet viszonylag kis méretek között történik, mégis elégséges ahhoz, hogy segitségével a legfontosabb technológiai problémákkal kapcsolatban végleges megoldásra találjunk és elfogadható müszaki alapot nyerjünk ahhoz, hogy a paramétereket egy közepesméretü kisérleti prototipus esetére extrapolálhassuk. Ezek általában elég kicsik ahhoz, hogy széleskörü kisérleti munkát folytathassunk velük, sőt magát a tervrajzot is megváltoztassuk. Eddig 8 ilyen reaktorkisérletet állitottunk fel és üzemeltettünk az Egyesült Államokban. Egy kivételével valamennyi az állam birtokában van, jóllehet a két állami telep felállitásában az ipar is résztvett.

Ha sikeresnek bizonyul, akkor a reaktorkisérletet követi egy azonos tipusu kisérleti, vagy mintareaktor felépitése.

Meggyőződésünk szerint három- négy generációnyi reaktorprototipusra is szükség lehet, mielőtt az Egyesült Államokban gazdaságosság szempontjából versenyképes tipust is kifejleszthetünk és hogy széleskörü kutatási és fejlesztési munkát kell végeznünk ezeknek a kisérleti erőmüveknek üzemeltetésével kapcsolatban.

KFKI 200

3. A dúsitott uránium-fütőanyag előnyei

Az USA-program egyik fő jellegzetességeként emlegetik azt, hogy elsősorban dúsitott urániumot irányoz elő fütőanyagként. Valóban, a legtöbb fejlesztés alatt álló reaktortipusnál dúsitott urániumot alkalmaznak erre a célra. Hogy annakidején ilyen üzemanyagot választottak, arra kétségkivül az inditotta a tervezőket, hogy akkoriban, a diffuziós üzemekből igen nagymennyiségü készletek álltak rendelkezésre. Továbbiakban azért maradtak meg ennél az elgondolásnál, mivel a tervek elemzése alapján ugy találták,hogy a dúsitás növeli a teljesitményt, lehetővé teszi a kisebb és kevésbé költséges erőművek épitését és igy az egész atomenergetika gazdaságosabbá válik. Ennek ellenére elismerjük, hogy legalább is egy ideig, bizonyos helyeken jobban megfelel fütőanyagként a természetes uránium. Néhány reaktortipusnál, főleg nehézviz-moderátor esetében, tiszta természetes uránium alkalmazható magtöltésként. Alkalmas továbbá olyan reaktorok tápanyagául, melyeknél az optimális müködéshez némi dúsitásra van szükség és ezt a dúsitást a plutoniumnak a körfolyamba való visszavezetésével érik el. Programunkban mindkét fenti lehetőség kihasználásával is foglalkozunk.

4. A kormány és az ipar szerepe

A program egészében az ipar és a kormányszervek együttmüködésének legváltozatosabb kombinációit teszi lehetővé. Amint már jeleztük, a kormányszervek magukra vállalták az alapvető technológiának kutatási és fejlesztési munkák elvégzése utján történő kidolgozását, valamint reaktorkisérletek beállitását és kivitelezését.

A prototipus jellegü atomerőmüvek épitése viszont az USA-program keretén belül a legkülönbözőbb természetü szerződéses megállapodások szerint történik. Igy vannak olyan épitkezések, melyek kizárólag a kormány költségére történnek; másokat viszont egészében a magánipar finanszíroz. Az

épitkezések többsége azonban a két szélsőség között mozog; a kormány és a magánipar együttmüködnek. Az u.n. állami épitkezéseket ténylegesen az Atomenergiabizottsággal szerződési viszonyban levő magánvállalkozók hajtják végre, mig a magánipar költségén történő épitkezések az 1954. évi módositott atomenergiatörvény értelmében folynak. A sikeres fejlesztési programnak oda kell vezetnie, hogy a sokoldalu felhasználásra alkalmas energiát szolgáltató magreaktorok rendes sorozatgyártásban a kormány közvetlen vagy közvetett támogatása nélkül épüljenek.

5. Az atomenergiával kapcsolatos kutatási és fejlesztési munkák előtérben

Az USA programja jóval tulterjed a reaktorfejlesztési és épitési munkákon. Elsőrendü fontosságot tulajdonitunk annak, hogy a jövő teljesitményreaktorait kiszolgáló iparágak technológiáját kifejlesszük és növekedésüket serkentsük. Messzemenő kutatás folyik például a fütőelemgyártás, az elégett hasadóanyag reprocesszálása, a radioaktiv hulladékok kezelése, felhasználása és elhelyezése, valamint a reaktorok segédberendezéseinél használatos szabványos alkatrészek kifejlesztése terén. Különös figyelemmel foglalkozunk a reaktorok biztonságát befolyásoló tényezőkkel kapcsolatos elméleti tanulmányokkal és alkalmazott kutatással.

Mint a reaktorokkal kapcsolatos többi munkát, ezt a feladatot is nagyrészt magánintézmények látják el a kormánnyal kötött szerződés alapján. Ugyanakkor a magánipart is arra ösztökéljük, hogy a maga részéről kezdjen munkát ezeken a területeken.

Az alapvető elméleti kutatást is rendkivül fontosnak tartjuk. Erre szolgálnak a nagyméretü gyorsitóberendezésekkel folyó kisérletek, és az Egyesült Államok különböző egyetemeivel és egyéb kutatóintézményeivel kötött kutatási szerződések.

Láthatjuk tehát, hogy az Egyesült Államok atomenergiaprogramját különböző módokon jellemezhetjük. Világos,hogy technológiailag széles tartományt ölel fel és a legkülönfélébb tipusu és méretü reaktortipusokkal foglalkozik. Nagy sulyt fektet a dúsitott uránium alkalmazására költségcsökkentési szempontból, ugyanakkor azonban a természetes uránium alkalmazásának ideiglenes előnyeit sem hanyagolja el. Végül a legkülönbözőbb megállapodások alapján biztositja az ipar széleskörü részvételét a program megvalósitásában. Véleményünk szerint programunkat dinamikusnak nevezhetjük, amely állandóan és következetesen halad célkitüzéseinek megvalósitása felé.

A jelenlegi állapot és a jövő kilátásai

Az első genfi konferencia óta eltelt három évben az Egyesült Államoknak az atomenergiafejlesztésre irányuló főbb tevékenysége a kisérleti teljesitményreaktorok tervezése, épitése és üzemeltetése volt. Ennek eredményeképpen jelenleg 8 ilyen reaktorunk müködik.

Jelentős előrehaladást értünk el a már korábban meghatározott fejlesztési irányokban. Ujabb fejlesztési irányokat is kezdeményeztünk. Például a nyolc müködő, polgári célra készült kisérleti teljesitményreaktor egyikének, a szerves moderátoru reaktorkisérletnek tervezését csak az 1955 évi konferencia után kezdtük el.

A nyolc reaktor hat különböző reaktortipust képvisel. Ezek technológiáját viszonylag könnyen lehet kombinálni a célból, hogy további reaktortipusokat kapjunk. Az ezekkel a reaktorokkal kapcsolatos napról-napra gyarapodó üzemi tapasztalatok arra nyujtanak reményt, hogy a tipusok tökéletesitése a jövőben még gyorsabb ütemü lesz, mint a multban. A program jelenlegi fázisát a kiértékelés, kibővités és az átmenetek korszakának nevezhetjük. A folytonos felülbirálásnak és kiértékelésnek köszönhető, hogy további tervekkel

gyarapithattuk programunkat s hogy a kormány és az ipar közti együttmüködés adminisztrativ gépezete kialakult és megfelelőképpen módosult. Ez a folyamat még most sem ért véget. Az erőfeszitések növekednek, s a kutatási terület mind kiterjedtebb lesz. Az ipar növekvő részvétele nagy atomerőművek tervezésében és kivitelezésében átmenetet jelent mind a nagyobb méretü épitkezések felé, mind pedig a felé, hogy az atomenergia lassan a rendes ipari hálózat részévé váljék. Olyan atomerőművek épitkezései vannak folyamatban, melyek kapacitása felülmulja majd a jelenleg üzemben levő erőművek bármelyikének kapacitását.

Anélkül, hogy kimeritően részleteznénk, talán célszerü lenne, ha a reaktortechnológia egyes főbb területeinek mai állását áttekintenők. Először is nézzük azokat a reaktorokat, melyek kilátást nyujtanak arra, hogy a közeljövőben gazdaságosan tudnak áramszolgáltatást biztositani. Ezek a vizhütésü, a szerves moderátoru, és a gázhütésü reaktorok. Vannak olyan vizzel hütött és moderált teljesitményreaktorok, amelyek már az 1955 évi konferencia óta müködnek. Ennek eredményeként mind a vizforraló, mind a nem vizforraló változatát egyre jobban megértettük.

A vizes reaktorok fejlesztési munkájában két igen fontos esemény zajlott le ugyanazon a napon, 1957 december 2-án. Ez a nap egyébként az első vezérelt láncreakció megvalósitásának 15. évfordulója is volt. Az események egyike a Shippingport atomerőmü első kritikussá válása volt. A második pedig az, hogy a Kisérleti Vizforraló Reaktor /EBWR/ teljesitménye a tervezett hőteljesitmény kétszeresére, később pedig már háromszorosára emelkedett.

A Shippingport kritikussá válásának jelentőségét nem kell külön magyarázni. Ez az első nagyméretü atomerőművünk. A tervezett 60 000 ekW teljesitményével, melyet pontosan a kritikussá válás utáni 21-ik napon ért el, több villamos-

áramot termel, mint bármely más reaktor a világon. Ennek az atomerőmünek a jelentőségét nem szabad a fejlesztett áram termelési költsége alapján megitélni, hiszen már előre tudtuk, hogy ez nagy lesz, - hanem annak alapján, hogy létezik és hogy belőle igen fontos tapasztalatokat nyerhetünk nagyméretü atomerőmüvek tervezéséről, épitéséről és üzemeltetéséről.

A Fort Belvoirban /Virginia/ levő Katonai 1.sz. Szállitható Teljesitményreaktor folyamatos sikeres müködése további tapasztalatokkal szolgált viznyomásos reaktorokkal kapcsolatban.

A Kisérleti Vizforraló Reaktor a tervezetthez képest háromszoros teljesitménnyel való folyamatos üzemeltetése több szempontból jelentős. Először is igazolja azt a meggyőződésünket, hogy kisméretü, viszonylag olcsó erőmüvek kisérleti üzemeltetésével nagy lépéseket tehetünk a gazdaságos atomenergia megvalósitása felé. Különösen pedig igen biztató kilátásokat nyujt a vizforraló reaktorok lehetőségeire is, mivel azt tapasztaljuk, hogy beruházási költségegységre esően több teljesitményt nyujt, mint amennyire számitottunk.

Egyéb fontos eredmények a vizforraló reaktorok technológiája területén: a BORAX IV zavartalan müködése 7 %-os reaktivitással az üregekben, oxidfütőelemekkel való üzemeltetése, valamint a BORAX IV és az EBWR meghibásodott fütőelemekkel való zavartalan müködése. Az a tény, hogy az EBWR-nél a turbinák karbantartása ilyen kisérlet után is a gyakorlatnak megfelelően történhetett, különösen jelentős.

A vizforraló reaktorokkal elért sikerek sok emberben azt a hitet keltették, hogy ezek sokkal jobbak, mint a viznyomásos reaktorok. Most talán még nem nyilvánvaló az a tény, hogy ez a két alapjában azonos reaktortipus a fejlesztési munka előrehaladtával valószinüleg mindjobban közeledik majd egymáshoz. Valószinü, hogy a körülményektől függően vagy az

egyik, vagy a másik tipus alkalmazása lesz előnyösebb. Pl. igen nagyméretü teljesitményreaktoroknál a viz jobb hőátviteli sajátságai fontosabbak lehetnek, mint a forrásban levő viz jobb hőátadási tulajdonságai.

Azt sem szabad szem elől téveszténünk, hogy a forróvizes viznyomásos és vizforraló reaktortipusok kifejlesztése egészen eltérő körülmények között történt. A vizforraló reaktorok kisérleti célból épültek, hogy szélsőséges mükődési feltételekkel meghatározzák a müszaki és gazdasági teljesitőképességüket. A nagynyomásu vizzel hütött rendszereket viszont majdnem teljes egészében a tengerészeti reaktorépitési programon belül fejlesztették ki, ahol a biztonságosság alapvető követelmény és a költség csak másodrendü szerepet játszik. Ezekkel nem végeztek a BORAX-sorozathoz, az EBWR, vagy a Vallecitos Vizforraló Reaktorhoz hasonló jellegü kikisérletezési munkát, melynek segitségével jelentős haladást érhetnénk el a termelési költségek csökkentése terén.

Az első atomenergiameghajtásu kereskedelmi hajó az épités alatt álló N.S.Savannah, szintén viznyomásos reaktorral készül. Reméljük, hogy egy középnagyságu tartályhajóba rövidesen sikerül beépitenünk egy vizforraló reaktort.

Valószinüleg a vizhütésü reaktorokat fogják először alkalmazni a viszonylag kis hőmérsékletü ipari hő előállitására. Nagyhőmérsékletü ipari hő előállitásához előreláthatóan más olyan reaktortipusokat kell majd felhasználni, melyekkel kapcsolatos alapvető munkák most folynak.

Sokat dolgozunk azon, miként alkalmazhatók a vizhütéses és vizmoderálási technikák nehézviz-reaktoroknál. Előreláthatóan 1963-ra négy nehézvizzel moderált, energiatermelésre alkalmas reaktor lesz üzemben az Egyesült Államokban.

A vizhütésü reaktorokkal kapcsolatban egyik nehézség az, hogy bennük telitett gőz fejlődik és ennek nyomása

nem elég a modern turbinák müködtetésére. Igy azonnal fellép a nedvességnek a turbinákból való eltávolitásának problémája, és emellett igen nagyméretü és költséges turbinák épitését teszi szükségessé. A Shippingport és Dresden erőmüvek turbinái pl. a legnagyobb turbinák közé tartoznak, melyeket eddig valaha is épitettek. A gőz tulhevitése csökkentené a gőz kicsapódása okozta nehézségeket és ugyanakkor hőfelhasználás mellett nagyobb elektromos teljesitménnyel járna. Ennek megfelelően a programban szereplő egyes vizhütésü erőmüvekhez szokványos tüzelésü tulhevitőket is tervezünk. Fontos előmunkálatok folynak atomenergiával fütött tulhevitők vonalán, vizhütésü rendszerek számára, valamint tervbe vettük mind különálló, mind egyesitett atomenergiával fütött tulhevitő rendszerek kifejlesztését is. Komolyan foglalkozunk azzal, hogy az épités előtt álló Northern States Power Co. vizforraló reaktorához atomenergiafütésü tulhevitő berendezést épitsünk.

A programban tapasztalható biztató fejlődés nem korlátozódott a vizhütésü reaktorokra. A szerves moderátort használó reaktorkisérleti berendezés üzemeltetésével a tapasztalat igazolta azon feltevéseinket, hogy a szerves hütőanyagoknak üzemi körülmények közti bomlási sebessége elfogadható határon belül lesz, és az is bebizonyosodott, hogy a szerves hütőanyagok egyes fizikai tulajdonságaiban fellépő változások nem annyira hátrányosak, mint ahogyan azt gondoltuk. Eddig sem a fütőelemek, sem a hőkicserélők felületén nem tapasztaltunk romboló hatást. Meg kell itt jegyeznünk, hogy az OMRE-t a szerves moderátor tulajdonságainak kikisérletezése céljából speciálisan ugy terveztük, hogy a szerves moderátor /hütőközeg/ maximális besugárzásnak legyen kitéve; viszont az ugyanilyen tipusu erőmüveknél a minimális besugárzás elérésére törekednénk. A tapasztalati adatok alapján tehát azt mondhatjuk, hogy sikerül majd megvalósitani a szerves hütés alkalmazásának összes előnyét. Ilyen előny többek között a szóbanforgó anyagok alapvető kémiai kompatibilitása és az, hogy lényeges alkotó-

elemek máris beszerezhetők kereskedelmi forgalomban. Az aránylag olcsó, könnyen hozzáférhető és jólismert szerkezeti anyagok alkalmazhatósága ezenkivül azt is biztositja, hogy szerves moderátoru erőmüveket viszonylag kisebb költséggel épitsünk.

Széleskörü kisérleti munkát végzünk majd az OMRE-n, és egy uj hasonló tipusu kisérleti reaktor is épül. Közben egy sorozattipusu szerveshütésü és moderátoru reaktort használó 12 500 ekW teljesitményü erőmü épül az Ohio-beli Piqua város számára.

Az első nagyobb méretü teljesitményreaktortervezet, melyet behatóan tanulmányoztak az Egyesült Államokban, a gázhütésü reaktort használó u.n. Daniels Pile volt, mellyel Oak Ridgeben foglalkoztak 1945-ben. Csak ebben az évben, hosszas tervezési tanulmányok és némi fejlesztési munka után döntöttünk amellett, hogy érdemes ilyen reaktor kisérleti prototipusát felépiteni.

Most egy fejlettebb tipusu, dúsitott urániummal fütött és héliumgázzal hütött reaktor tervén dolgoznak; ennek felépitését a következő négy évre irányozták elő. Tengeri hajók gázturbináinak meghajtására alkalmas gázhütésü reaktor fejlesztési munkája is folyamatban van, valamint gázhütésü teljesitményreaktorok katonai célra való kifejlesztésén is dolgoznak. Gázhütésü nehézvizes reaktorral is foglalkoznak és javasolják egy ilyen tipusu reaktor felépitését Floridában.

A nagyhőmérsékletü, folyékony fémhütésü reaktorok fejlődésében mérföldkövet jelentett az, hogy a nátriumreaktorkisérletet 1958 elején sikerült az előirt hőmérsékleten s az előirt teljesitménnyel müködtetni. Ezt a reaktort átmenetnek kell tekintenünk a közeljövőben megvalósitandó és a távolabbi jövőre tervezett reaktortipusok között. Az SRE-vel /nátriumreaktorkisérlet/ kapcsolatos további munkánál oxid és

tórium/uránium ötvözetü fütőanyagokkal foglalkozunk s talán egy ujfajta reaktormagtöltés elrendezéssel is, melytől jobb neutronökonomiát remélünk. Ilyen tipusu 75 eMW teljesitményü reaktor épitésével kapcsolatos előtervezési munkák folynak a Nebraska-beli Közszolgáltatási Villamoshálózat számára.

Jóllehet a nátriumhütésü reaktorok technikailag megalapozottaknak tünnek, mégis sokat kell még javitani a terveken, és a gyártást is kell még fejleszteni. Programot dolgoztunk ki a nátrium/grafit tipusu, a nátriumhütésü gyors-szaporitó, végül a nátrium/nehézviz tipusu reaktorok alkatrészeinek sorozatgyártására.

A szaporitó reaktorok, valamint a folyékony fütőanyagot alkalmazó rendszerek az USA kutatási és fejlesztési programjának egyharmadrészét teszik ki. A szaporitó reaktorok azért érdekesek, mert segitségükkel érhetjük el uránium- és tóriumkészleteink maximális kihasználását. A folyékony fütőanyag viszont azért érdekes, mert ezzel minimális üzemanyagköltség érhető el; bizonyos esetekben még a neutronökonomiát is javitja. Egyes esetekben ugyanazon a rendszeren belül kivánják elérni mind a szaporitással, mind a folyékony fütőanyaggal járó előnyöket. Annak a reaktornak a terve, mely gyors-neutronspektrummal dolgozik és igy ugyanannyi, vagy még nagyobb mennyiségü plutoniumot termel, mint amennyi plutoniumot vagy U-235-öt fogyaszt, már a kezdet kezdetétől fogva a fejlesztési program célkitüzését képezi. Ha a hasadó üzemanyagot teljes mértékben ki akarjuk használni, e reaktortipust szükségképpen fejlesztenünk kell.

Sokat dolgoztunk gyorsreaktor-programunkon. Az 1.sz. Kisérleti Szaporitó Reaktor azóta, hogy 1951 decemberében a világon elsőként fejlesztett atomenergiából villamosenergiát, állandóan fontos szerepet játszik gyorsreaktor-fejlesztési programunkban. 1955-ben egy, a reaktor tranziens állapotát vizsgáló kisérlet-sorozat során, amellyel a második

reaktormagban észlelt instabilitások okát kivánták megállapitani, a mag megsérült. A reaktort módositották, uj magot helyeztek bele, és 1957-ben ujból üzembehelyezték. További müködéséből ugy látjuk, hogy sikerült a korábbi instabilitásokat kiküszöbölni.

Ez a tapasztalat csak növelte bizalmunkat abban, hogy értjük a gyorsreaktorok viselkedését és tisztában vagyunk biztonsági feltételeikkel.

Az idahoi Országos Reaktor Próbaállomáson egy különleges reaktor /TREAT/ épül gyorsreaktorok igen nagy neutronfluxusváltozásoknak alávetett fütőelemeinek tanulmányozására. A gyors szaporitó reaktorok fejlesztési programjában szerepel továbbá még két nagyobb méretü reaktor épitése. Egyik az Idahoban épülő 20 000 ekW teljesitményü 2.sz. Kisérleti Szaporitó Reaktor, a második pedig az Enrico Fermi erőmü - mely 100 000 ekW teljesitményü s a Detroit Edison Co. vállalat számára szolgáltat gőzt elektromosság fejlesztésére.

Különösen nehéz feladatnak bizonyult a cirkuláló folyékony fütőanyaggal müködő reaktorok kifejlesztése. Leginkább urániumsók vizes oldatával és tóriumoxid szuszpenzióval dolgoznak és arra törekednek, hogy a tórium/U-233 ciklussal szaporitsanak; a ciklus kétszerezési ideje jóval kevesebb lesz 10 évnél.

Dolgoztak továbbá foszforsavas urániumoldatokkal, olvasztott fluorid sókkal, urán bizmutos oldataival, valamint urán és/vagy tórium bizmutos szuszpenzióival. Nátriumban való szuszpendálás lehetőségét is tanulmányozták.

Az első olyan folyékony fütőanyaggal dolgozó reaktor, amely villamosáramfejlesztésre alkalmas hőmérsékleten müködött, az 1.sz. Homogén Reaktorkisérlet volt, 1953-ban készült el Oak Ridge-ben. A 2.sz. Homogén Reaktorkisérletet

ugyancsak Oak Ridgeben állitották fel, Cirkaloy-tank választotta el a fütőanyagoldatot a nehézviz reflektortól. Sajnos ebben a cirkaloy-tartályban szivárgás keletkezett /valószinüleg inkább termikus feszültségek, mint korrozió következtében/ röviddel azután, hogy a reaktor elérte 5 000 termikus kW-t kitevő teljes kapacitását. Jóllehet a szivárgást nem küszöbölték ki, ujból elkezdték teljes üzemmel való üzemeltetését anélkül, hogy külső szivárgást észleltek volna és bebizonyosodott az, hogy megvan a módunk valamennyi korrozios probléma megoldására. Igen sok nehézség merült fel mig ezt a reaktort üzembe helyezhették, de ezek nem a rendszer lényegéből adódtak. Egyes tapasztalatok, különösen a "forró" rendszer fenntartását illetően, csakugyan sok aggodalmat eloszlattak az ilyen tipusu rendszerek üzemeltetésével és fenntartásával kapcsolatban.

További homogén reaktorkisérleteket terveznek Oak Ridgeben és ez idő szerint olyan munkák folynak, amelyek eredményeként remélhetőleg sikerül a Pennsylvania Power and Light Co. vállalatnak egy közepes méretü, egyetlen aktiv szuszpenziós zónával rendelkező reaktort felépitenie. Ezenkivül tanulmányok folynak egy kis Folyékony Fémfütési Reaktorkisérlet megvalósitásának előkészitésére.

Félreértésre adhat okot, ha az USA atomenergiafejlesztési programjának tárgyalásánál csak a reaktorok épitését és üzemeltetését vesszük figyelembe. Jóllehet ez a munkánk rendkivül fontos, nem szabad elfelejtenünk az üzemben levő reaktorok ellátásához nélkülözhetetlen kiszolgáló és utánpótlást adó tevékenységeket sem. Fütőanyag-előkészités, fütőelemkészités, a fütőanyag-reprocesszálás, radioaktiv hulladékok eltemetése, mind olyan munkák, melyek lényegbevágóan fontosak a gazdaságos atomenergia előállitása szempontjából.

Minden irányban megindult a fütőanyagciklussal kapcsolatos fejlesztési munka, miután ennek elsőrendü fontosságát felismertük. Biztató fejlődés történt a keramikus fütő-

anyagok kifejlesztése terén, melyeknek, ugy látszik, sokkal hosszabb élettartamuk van és sokkal stabilabbak, mint a fémtokos fütőelemek. Pl. a PWR fütőréteg elemeinek/nagysürüségü UO_2 szemcsét tartalmazó cirkaloy-csövek/oxidszerkezete semmiféle károsodást nem mutatott a nagy hőmérsékleteken történő besugárzásnál, tonnánkénti 25 000 megawattnapos elégési szinten sem. Egyéb próbáknál az ujabban besugárzott próbamintáknál a mikroszkópiai vizsgálatok azt mutatták, hogy bár az oxidrudak közepe besugárzás közben kiolvadt, de a burkolóanyag az egész próbaidő alatt sértetlen maradt. Uj gyártási technikákat fejlesztettek ki és mutattak be. Ilyen pl. a nemzsugoritott UO_2 fütőelemek készitése ülepitő eljárással. Ezektől az eredményektől remélhetjük, hogy sikerül csökkenteni az üzemanyagköltségtételt az atomenergia költségszámláján.

Széleskörü munka folyik mind fémötvözetekbe, mind keramikus anyagokba burkolt nagy hőmérsékletü és nagy elégési foku fütőelemekkel is. Hosszu ideig tartó sugároztatási kisérleteket terveznek nagyobb mennyiségü fütőelemmel, mind anyagvizsgálati, mind teljesitményreaktorokban. Eredményeket jó ideig nem várunk, mivel a fütőanyagok élettartamát általában hosszura, a legtöbb esetben több évre becsülik. Vizben, szervesanyagban, folyékony fémekben és gázhütőanyagokban alkalmazható fütőelemek vizsgálata, az ezekkel kapcsolatos reprocesszálási és hulladékelhelyezési problémák is ide tartoznak.

Mint már emlitettük, az USA programja keretében arra törekszünk, hogy minden nukleáris fütőanyagot felhasználjunk. Ezzel kapcsolatban érdekes megemliteni, hogy a BORAX reaktorban uránium- és tóriumoxidok keverékét, az SRE-ben egy uránium-tórium ötvözetet használtunk, a Folyékony Fémmel Fütött Reaktorban és a Vizes Homogén Szaporitó Reaktorban pedig az üzemeltetést a tórium fütőciklus felhasználásával gondoljuk megoldani.

Arra is komoly tervet dolgoztunk ki, hogy kifejlesszük a plutonium fütőanyagként való felhasználását a különböző termikus és gyors reaktortipusokban. A plutoniumnak mind termikus, mind gyorsreaktorokban fütőanyagként való felhasználása technikailag teljes mértékben lehetséges, meg kell azonban találnunk annak a módját, miként lehet a leggazdaságosabban és a legjobb hatásfokkal felhasználni. Behatóan vizsgáljuk a teljesitményreaktorokban fütőanyagként használható plutoniumötvözetek fizikai tulajdonságait, és ezt a munkát ujabb kisérleti berendezések épitésével kivánjuk elősegiteni. Higannyal hütött és plutoniummal táplált gyorsreaktort először 1946-ban, Los Alamosban helyeztek üzembe.

Az EBR-1 üzemének átmeneti fennakadása késleltette azt a kisérletet, melyben ezt a reaktort plutoniummaggal akarták müködtetni. Most azonban ujból megkezdték ezt a kisérleti munkát, és az EBR-2 második magvát plutoniumból épitik, hogy bebizonyitsák az ilyen reaktortipus tényleges szaporitóképességét.

A plutonium-fütőanyagokat termikus reaktorokban próbálják ki. Az Anyagvizsgáló Reaktor számára egy teljes plutoniummagot állitanak össze. A plutonium-visszatáplálás módszerének kipróbálására szolgáló vizsgálati reaktor épitése is folyamatban van.

Érdekes megjegyezni, hogy több ujabb becslés szerint a teljesitményreaktorokban levő visszatáplált plutonium ára előreláthatólag igen megközeliti az USA Atomenergiabizottsága által 1955 januárjában megállapitott grammonkénti 12 dollárt.

Különös figyelmet érdemel a reaktorok biztonságával kapcsolatos kutatási program. A program célja, hogy a reaktorok maximális üzembiztonságát minimális költséggel valósitsa meg. A reaktorok viselkedését széleskörü magfi-

zikai és egyéb kisérletezések és vizsgálatok utján akarjuk megérteni, mind elméletileg, mind analitikailag. Ezek közül a vizsgálatok közül egynémelyik speciálisan erre a célra épült és üzemeltetett reaktorokkal folyik. Jelentősen előrehaladtak a vizhütésü reaktorok tranziens állapotban történő viselkedésének megértésében.

Az atomerőmüvek gazdaságossága

A nukleáris energetika jövője nagymértékben függ attól, hogy mennyiben lesz képes arra, hogy bizonyos célokra ugyanazon az áron vagy olcsóbban szolgáltasson energiát, mint a többi rendelkezésre álló energiaforrás. Ilyen szempontból érdemes megvizsgálni, hogy min alapul az atomerőmüvek és a hagyományos erőmüvek közötti versengés. Addig,amig az Egyesült Államokban az utóbbi husz évben majdnem minden árucikk és minden szolgáltatás ára növekedett, a villamosáram ára egészen a legujabb időkig csökkenő irányzatot mutatott és most lényegében stabilnak tekinthető. Ez részben a hatalmas müszaki fejlődésnek, részben a villamosenergiafogyasztás gyors emelkedésének tulajdonitható. A müszaki fejlődés, amely elsősorban a hatásfoknak nagyobb hőmérsékletek és nyomások alkalmazása utján való növeléséből állt, kisebb előállitási egységárat hozott létre. A növekvő áramfogyasztás lehetővé tette mind nagyobb méretü erőmüvek létesitését, s ugyanakkor csökkentette az energiaátvitel költségét. Ezen tulmenően az áramszolgáltató rendszerek terhelési tényezője általában növekedett a többféle célra, pl. légkondicionálásra, vizszivattyuzásra, fütésre, stb. való felhasználás folytán.

Az igy elért elektromosenergia-ár az atomerőmüvek számára óriási versenyt jelent, különösen az "első generáció"-nak számitó atomerőmüveknél, melyek épitési és üzemeltetési költsége még elkerülhetetlenül nagy.

A helyzet felmérésénél azonban igen fontos, hogy közelről megvizsgáljuk, milyen meggondoláson szokott alapulni az atomerőmü és a szokványos erőmü közötti választással kapcsolatban hozott felsőbb döntés. Sajnos, erős hajlam mutatkozik arra, hogy az atomerőmüveket a szokványos erőmüvekkel az üzembehelyezés költségei alapján hasonlitsuk össze. Valójában azonban a döntésnek annak alapján kellene történnie, hogy mindkét erőmüfajta gazdaságosságát az egész várható hasznos élettartamra, vagy annak legalábbis nagy részére kiterjedően hasonlitjuk össze. Ez vonatkozik egyébként két különböző atomerőmü közti választás esetére is - a hasznos élettartam alatti költségcsökkenési lehetőség igen erősen nyom a latban az ilyen döntéseknél. Az erőmü élettartama alatti költségváltozás lehetősége főleg az üzemanyagköltségben jelentkezhet. Igen keveset változtathatunk az erőmü beruházási költségén, ha már épül. Minden ma épülő szokványos erőmünél az üzemanyagköltség az erőmü élettartama alatt előreláthatóan emelkedni fog. Atomerőmüveknél viszont lényeges csökkenésre számithatunk az üzemanyaggyártás és üzemanyagciklusok költségei terén. Ezen változások egyike sem becsülhető fel pontosan, ugy hogy kiértékelésük tisztán megitélés dolga. Amint valamivel több tapasztalatra teszünk szert az atomenergia felhasználása terén, remélhető, hogy az ilyen változások előrelátása az atomerőmüvek javára befolyásolja majd a meghozandó döntéseket. Amint ez a befolyás érvényesülni kezd, valószinü, hogy az atomenergia felhasználása mind az Egyesült Államokban, mind másutt a világon gyorsan tért fog hóditani.

Végkövetkeztetés

Végül szeretném még előadni, hogy véleményünk szerint milyen kilátások vannak arra, hogy atomenergiával gazdaságosan termeljünk villamosáramot. Megitélésünk szerint némely külföldi országban két vagy három év mulva,

az Egyesült Államok néhány részében 4-5 év mulva sikerül kifejlesztenünk és felépitenünk olyan atomerőmüveket, melyektől elvárhatjuk, hogy egész hasznos élettartamuk alatt gazdaságosak legyenek. Ezek a reaktorok miután egy bizonyos próbakorszakon átestek, külföldön kb. 1964-re, az USA-ban 1966-ra lesznek rendes üzemben. Egyes speciális esetekben gazdaságos reaktorok már egy-két évvel előbb is megindulhatnak.

Az atomerőmüvek először azokon a területeken lesznek gazdaságosak, ahol a fosszilis tüzelőanyagoknak viszonylag nagy ára van és 200 eMW vagy nagyobb teljesitményü egységeket képesek kihasználni. Hisszük, hogy a fenti határidőre ez a cél vizhütésü reaktortipusokkal elérhető lesz; a szerves hütésü és gázhütésü reaktorok további sokatigérő lehetőségeket rejtenek magukban. Biztosan reméljük, hogy ezeknek a tipusoknak továbbfejlesztése, valamint ujabb, még fejlettebb tipusok kidolgozása erősen növelni fogja azoknak a területeknek számát, ahol az atomenergia gazdaságosan alkalmazható és végül nemcsak versenyképes, hanem olcsó atomenergiához is juttat bennünket.

Annak érdekében, hogy fenti célkitüzéseinket elérjük, az atomerőmüvek beruházási és üzemanyagköltségét a jelenlegi szinthez képest csökkentenünk kell. Atomerőmüvek épitési és berendezési költségét több módon tudjuk majd csökkenteni, főleg nagyobb méretü épitése révén és annak a körülménynek kihasználásával, hogy gyakorlatilag az atomerőmü kapacitása nagyobb lesz, mint amilyennek vártuk. A gyártás és kivitelezés terén szerzett tapasztalat, a tervezés egyszerüsitése és olcsóbb, de megfelelő anyagok alkalmazása mind hozzájárul a költség csökkentéséhez.

Az üzemanyag felhasználási ciklus költsége nagyrészben a fütőanyag gyártási költségeinek a fütőanyag élettartamára vonatkozó arányából adódik. A jelenleg felhasznált hasadó üzemanyag költsége, az USA-ban érvényes árak

alapján számitva, még dúsitott uránium használata mellett is viszonylag kicsi, előreláthatólag tovább fog csökkenni. A fütőelemek gyártási technikájának tökéletesitésével, mind több tapasztalat felhasználásával, valamint a gyártási mennyiség növekedésével, /ez ma viszonylag még igen kicsi/ a tervezés és gyártás technikájának egyszerüsitésével az üzemanyag gyártási költsége tovább fog csökkenni. Ezen a téren az utóbbi három évben igen nagy előhaladás történt és még nagyobb fejlődésre lehet számitani.

Az Egyesült Államok atomenergiaprogramján dolgozó tudósok és mérnökök akár az Atomenergiabizottság részére mint szerződött felek, akár pedig a magánipar részére fejtik ki tevékenységüket, mindinkább azon a véleményen vannak, hogy tényleg közvetlenül ama cél elérése előtt állunk, hogy valósággá válik a gazdaságos atomenergia és mindaz a jó, amit ez az emberiségnek jelenteni fog.

Forditotta: Kovács Jenőné

A KANADAI ATOMENERGIAPROGRAM

W.B. Lewis

II. Genfi Konferencia A/CONF. 15/P/183 cikk

Az atomenergia alkalmazásának lehetőségét az dönti el, hogy birja-e a versenyt a hagyományos fütőanyagokkal. Az elektromos energia előállitási költsége olaj-, szén- vagy gázégetésből, vagy vizienergiából való fejlesztés esetén nagy mértékben függ a szállitási költségektől. Az urán esetében azonban a távolság csak a bányák közti versenyt érinti, s nem befolyásolja jelentős mértékben az elektromos energia árát.

Oly nagy mennyiségü uránt fedeztek fel, hogy ötven éven belül a legnagyobb méretü atomenergiaprogramot is ki tudják elégiteni nemcsak Kanadában, hanem az egész világon. /Lásd A/CONF. 15/P/206, 207, 221-226. cikkeket/

Általánosan ismeretes, hogy előzetesen nagy technikai fejlődés szükséges ahhoz, hogy alacsony áron termelhessünk magenergiát. Az elektromos energia egyéb forrásokból való előállitásának gazdaságossága Kanadában arra kényszerit bennünket, hogy a magenergiának ezen az alacsony áron való termelésével számoljunk. Ezért gondolunk a nehézvizes, természetes urániummal müködő reaktorokra. A kutatások megmutatták, hogy a viszonylag olcsó zsugoritott oxid formájában levő természetes uránból 8000 - 10.000 termikus megawatt-nap/tonna energiát kaphatunk /lásd 205. cikk/. Ilyen hozamnál az uránium ára kevesebb, mint 1 mill/kWó, s az atomerőmü egész fütőanyagkészletének előállitási, biztositási és kamatköltségeit magában foglaló ára sem haladja meg az 1,5 mill/kWó-t. Az UO_2-vel az NRX reaktorban folytatott kisérletek megállapitották, hogy 50 termikus kW/méter teljesitmény érhető el megfelelő geometria mellett, egyetlen UO_2 rud esetén, 2,5 cm-ig bármilyen átmérővel.

Ez a jó elégési szint egy egyszerü, de ötletes táplálási módszernek köszönhető, melyre 1956-ban Chalk Riverben folytatott reaktortanulmányok során jöttek rá. Ezt a módszert tulajdonképpen már a legelső grafittal moderált reaktoroknál is alkalmazták. A kis puskagolyó alaku uj fütőelemeket a tápcsatorna egyik végén behelyezik, majd lassan előretolják a csatornában, mig végül teljes kiégés után az elhasznált fütőelem a tápcsatorna másik végén kilökődik. Az ujdonság csupán az, hogy a betáplálást ugy intézik, hogy az egymás mellett fekvő csatornákban a fütőelemek váltakozva ellenkező irányba mozognak, ezért ezt a módszert kétirányu táplálási módszernek nevezik.

Ez a módszer igen egyszerü az I.Genfi Konferencián ismertetett visszatápláló rendszerrel szemben. A fütőelemek reprocesszálására és a plutoniumnak a termelési folyamatba való visszavezetésére nincsen szükség, a kis üzemanyagköltség folytán az elhasznált fütőelemekkel kapcsolatos jóváirást nem kell számitásba venni. Az elhasznált fütőelemekben azonban lehet némi plutonium is, aminek értéke talán több, mint amennyibe a kivonás kerül.

Ha az elégetés mértékének a reaktivitás korlátai okozta határát e módszer esetére kiszámitjuk, 8000 megawattnap/tonnát kapunk. A szennyeződések azonban megakadályozhatják megvalósitását. A hosszu besugárzásnak kitett természetes uránnal végzett próbákról a 205. cikk számol be. Valószinünek látszik, hogy a reaktorokban a magállandók mért értékeiből számitottnál valamivel nagyobb sugárzás áll fenn.

A magállandók uj meghatározásaival a 201 - 204., valamint a 187. cikk foglalkozik.

Ezen vizsgálatok mind a reaktivitásnak a besugárzás hatására történő megváltozásával kapcsolatosak. Tanulmányok folynak nehézvizben levő fütőrácsokkal a célból, hogy a reaktorok kezdeti reaktivitását is előre meg tudjuk állapitani. /Lásd 212. cikk./

A gazdaságosság egyik csökkentő tényezője az idő előtti fütőelemmeghibásodás. /Lásd 193, 192, 194. cikk/. Általában, ha a fütőelem helyesen készült, s erős Cirkaloy burkolatban van, csak jelentéktelen általános méretváltozás várható. A Cirkaloy-burkolat korroziós hibásodásának ugyan nagyobb a valószinüsége, de bizunk a technológia fejlődésében. A korrozió sem jelent egyébként tul nagy veszélyt, s a fenti tipusu reaktornál a hibás fütőelemet a reaktor leállitása nélkül el lehet távolitani.

Az UO_2 gyártási és burkolási technológiájának fejlődésével /lásd 192. cikk/ remélhetjük, hogy a jelenleg 1,5 mill/kWó-ra becsült fütőanyagköltség 1,0 mill/kWó-ra csökken.

Ami a beruházási költségeket illeti, a nyomástartály elhagyása lehetővé teszi, hogy szükség esetén bármelyik alkatrészt kicserélhessük, egyuttal igen nagymennyiségü fém megtakaritását eredményezi. Ilymódon a méretek sincsenek többé korlátozva. 200 megawatt-nál kisebb reaktorteljesitmény azonban jelentősen emelné a beruházási költségeket. Az 50-100 kW-os reaktorok akkor lennének versenyképesek, ha a nehézvizmoderálást nyomásnélküli szerves hütőfolyadékkal párositanók. /Lásd 210. cikk/ Erről azonban még nincs beszámolnivalónk.

Versenyképessé válásához egy erőmü beruházási költsége uránkészletét is beleértve maximálisan, kis kamattétellel járó közhitel esetén 300 dollár/(e)kW; a magasabb kamatlábu magánhitel esetén pedig csak 250 dollár/(e)kW lehet. /Lásd 207. cikk/

Amint az az alább közölt táblázatból kiderül, az erőmü költségeinek aránylag kis hányadát jelentik a reaktor költségei. Ezért lényeges megtakaritást nem a reaktortipus továbbfejlesztése révén, hanem csak a hatásfok emelésével /ideértve a hőkicserélőket is/ lehet elérni.

KFKI 200

Egy 200 ekW-os erőmü költségei

	millió dollár	dollár/ekW
Reaktor és segédberendezései	10,7	53,5
Épület és telep	10,0	50,0
Szivattyuk és gőzgenerátorok	4,7	23,5
Turbogenerátorok és segéd-berendezései	15,0	75,0
Részletösszeg:	40,4	202,0
Nehézviz	11,7	58,5
Fütőelemkészlet	8,2	41,0
Teljes összeg	60,3	301,5

A nehézviz beruházási költsége néhány év alatt megtérül az általa megtakaritott fütőanyag utján. Ha a nehézviz ára 62 dollár/kg alá csökkennék, megnövekednék a nehézviz-moderátoros reaktorok versenyképessége.

Az első konferencia óta üzembe állitottuk Chalk Riverben a 200 termikus megawatt teljesitményü NRU reaktort. /Lásd 211. cikk/ A költségek nagyobbaknak bizonyultak, mint ahogy terveztük. Az NRX reaktort javitott kiadásban Indiában épitjük meg. /Lásd 1704. cikk/

1955. májusában kezdték el tervezni a 20 megawattos demonstrációs reaktort és erőművet /NPD/. A reaktor nagyméretü acél nyomástartályban foglalt volna helyet, s természetes uránt használt volna, nehézvizben. Nagynyomásu héliummal akartuk szabályozni a nehézviz-moderátor szintjét szabályozás és leállitás céljából.

A gazdaságossági szempontok azonban időközben a 6 mill/kWó helyett 5 mill/kWó elérését tették szükségessé. Ez vezetett a 208. cikkben leirt reaktor tervezéséhez, amely alapjában véve hasonló az NRX-hez. A nagy erőmüreaktor méreteiben tér el az NRX-től, s abban, hogy fütőelemei függőlegesen helyezkednek el. /Lásd 185, 208, 209. cikkek/

Ezt a tervet fogadták el a 20 eMW-os demonstrációs reaktornál is, bár igy az épités befejezése 1961-re tolódott ki. Az NPD célja az, hogy a nagy reaktor alkalmazhatóságát, a költségbeli esetleges módositásokat, stb. kimutassa.

E tipusnak 200 eMW-os méretekben való megvalósitása versenyképesnek látszik.

A meleg nyomócső maga lényeges ujitást jelent reaktorunknál. Épitési és üzemeltetési szempontból nagyon sok előnye van. Hátrányai viszont, hogy meleg csöveknek vastagabbaknak kell lenniök, mint a hidegeknek, s ez lényegesen befolyásolja a költségeket. A 20 eMW-os reaktor esetén 1 mm csővastagságnövekedés kb. 600 000 dollár költségnövekedést jelent, nemrozsdásodó acélcső esetén pedig 19 millió dollárt.

Ha hütött nyomócsöveket alkalmazunk, a cirkonium mellett magnéziumötvözetek is számbajöhetnek.

Az NRX reaktor 1952. évi sérülése arra inditott, hogy különös gondot forditsunk biztonsági kérdésekre. A konferencián a 213. sz. tanulmányban ismertetjük ezen a téren végzett munkánkat. Három fontos hibaforrást és ezek kiküszöbölési módját ismertetjük itt.

a/ Igen kockázatos olyan rendszer alkalmazása, ahol egyetlen lezáróelem vagy elemcsoporttal történik a nagyértékü reaktivitás lecsillapitása. Ennek szabadon kell mozognia a reaktorban, és rendellenes körülmények között a reaktor igen gyorsan kivetheti magából, ami a reaktivitás olyan gyors emelkedéséhez vezethet, amelyet a vezérlőrendszerrel már nem lehet kiegyensulyozni.

b/ Még akkor is, ha egy reaktor negativ hőmérsékleti koefficiens mellett müködik, a hőmérséklet bármely nagyobb emelkedésére fel kell figyelnünk, mivel ezt egy jól müködő vezérlőrendszer csak fokozná.

c/ Ha egy reaktor teljesitménysebességének háromnégyszeresével müködik, akkor ez a teljesitményjelzők kalib-

rálási hibájából /érzékenység csökkenése/ ered. Ha ez több percen át folyik, akkor ez még a tartószerkezetet is szétvetheti.

Az első kockázattal szemben megfelelő óvintézkedés a reaktor leállitó elemeinek részekre való bontása. Megjegyezzük, hogy nem az a legbiztonságosabb, ha a reaktort leállitjuk, hanem ha állandóan rendelkezésünkre áll egy sorozat betolásra kész lezáró rud.

A második hibaforrás megszüntethető, ha olyan vezérlő rendszert alkalmazunk, melynek legalább három, vagy több csatornája van, melyek mind ugyanazt a funkciót végzik és egymással párhuzamosan müködnek ugy, hogy amennyiben két, vagy több csatorna jelez, a helyesbitő akció megindul.

Ugyanez az elv, mármint a több párhuzamosan müködő vezérlő rendszer és ezek rendszeres ellenőrzése nyujt biztositékot a harmadik hibaforrás ellen. Ezenkivül az NRX baleseténél igen jó szolgálatot tett a vizzel való elárasztás azáltal, hogy megakadályozta a radioaktiv stroncium és jód szabadba való kikerülését.

Az alábbi két táblázat két fajta programot mutat be. Az 1. Táblázat Kanada igényét elégitheti ki, a másik nagyobb lélegzetü program, amely valahol másutt merülhet fel. Mindkettő nehézviz-természetes urán üzemü reaktorokra vonatkozik, visszatáplálás nélkül.

1. Táblázat

Teljesitmény és anyagszükséglet
/Tervszámok/

É v	elért kapacitás MkW	természetes urán-készlet tonnában	évi természetes U-fogyasztás tonnában	nehézvíz-készlet tonnában
1966	0,2-1,0	90-450	30-150	170-850
1971	0,6-1,7	270-765	90-250	510-1445
1976	2,0-3,3	900-1485	300-500	1700-2810
1981	4,0-7,0	1800-3150	600-1050	3400-5950

2. Táblázat

Teljesitmény és anyagszükséglet

/Tervszámok/

É v	elért kapacitás MkW	Természetes uránkészlet tonnában	évi természetes U-fogyasztás tonnában	nehézvíz-készlet tonnában
1975	100	45.000	15.000	85.000
1985	200	90.000	30.000	170.000
1995	400	180.000	60.000	340.000
2005	800	360.000	120.000	680.000

A kanadai atomenergiaprogram megvalósitásához szükséges kisérleteinket a Chalk River-beli nehézviz-reaktorok felhasználásával végeztük el; munkánkról a konferencián több cikkben számolunk be.

Kivonatot összeállitotta: Kovács Jenőné

AZ ATOMENERGIA ÉS FRANCIAORSZÁG ENERGIAELLÁTÁSI PROBLÉMÁI

P. Ailleret

II.Genfi Konferencia A/CONF. 15/P/1131. cikk

Franciaország energiaellátási gondjai.

Franciaország jelenleg energiafogyasztásának mintegy 40 % -át behozatalból fedezi, s ez az energetikai hiány súlyosan nehezedik az ország kereskedelmi mérlegére. A behozatalból folyó devizaproblémát tetézi az aggodalom az import bizonytalansága miatt, tekintve, hogy a behozatalt főleg a Közép-Keletről jövő petróleum teszi ki.

Hosszabb távlatra előrelátható, hogy a vizienergia révén nyerhető elektromos energiatermelés leáll; a villamosenergiaszükséglet fedezése ugyanis már régóta felerészben vizienergiafejlesztésre épült; ez a politika azonban 15-20 év múlva feltétlenül eljut oda, hogy a vizesések-adta természeti forrásokat már nem tudjuk a jelenlegi árak szintjén kiaknázni. Igaz, néhány évvel meghosszabbodhat a vizienergia szerepe a tengeráramlások kihasználásával, ezek hasznositására ugyanis Franciaországban különösen kedvezőek a körülmények.

A világ növekvő petróleumszükségletét és az újonnan feltárható kőolajforrások hozamát mérlegelve, még ha számitásba vesszük is a feltárási és fúrási eljárások fejlődését, - húsz év múlva a petróleumellátottság jövője is bizonytalanná válik. Egészen természetes tehát, hogy ezek az energiaellátási kilátások, szembeállitva a jövő energiaszükségletére vonatkozó becslésekkel, Franciaországban bizonyos nyugtalanságot váltottak ki, és sürgetővé tették az atomenergia nyújtotta energiaellátási lehetőségek haladéktalan számbavételét.

Az atomenergia létezésének azonnali hatása

Az atomenergia ma már a jövő gazdasági lehetőségei közé számit; ennek a ténynek máris érvényesülő, közvetlen kihatásai vannak, s olyan gazdasági előnyökkel jár, melyeket az atomenergia javára könyvelhetünk. Igen jellemző esetre mutathatunk rá Franciaországban: az ország földgáztermelése eddig igen csekély volt, s nemrég fedeztek fel Lacq környékén egy 300-400 milliárd köbméter tartalmú földgázlelőhelyet. Nem tudni, találnak-e még Franciaországban több ilyen földgázt. Ezért, ha nem volna adva az atomenergiatermelés lehetősége, a lacqi lelőhelyet gondos családapa módjára úgy kellene kitermelnünk, hogy a későbbi nemzedékek ne vethessék szemünkre, hogy eltékozoltuk a gáztartalékot, s nem gondoltunk a későbbi, mienknél esetleg jóval súlyosabb energetikai problémákra. Ha erre kellene figyelemmel lennünk, talán 50 évnél is hosszabb időre ütemeztük volna be a földgáz kitermelését. Az atomenergia jövőbeli lehetősége azonban, még ha csak 20 év múlva valósul is meg, közvetlen befolyással van a lacqi földgáz kiaknázási ütemére; a kitermelés gyors menetének nincs akadálya, s igy a francia energiagazdálkodás mérlegére gyakorolt hatása megkétszereződik, sőt háromszorosnak is vehető. Ennek a gyorsitott extrapolálásnak köszönhő, hogy Franciaország energiahiánya a közeljövőben egy abszolut értéknél /kb. 48 millió tonna szén-egyenérték/ stabilizálódni fog.

Az atomenergia franciaországi lehetőségeinek kiértékelésénél azonban kétfajta nehézségbe ütközünk. Az egyik a reaktortipusok sokfélesége, a másik az önköltségi árak bizonytalansága.

Franciaország nem elég gazdag ahhoz, hogy minden reaktortipust kipróbáljon, s igy választania kell közöttük.

Az atomipar fejlődése egészen más mederben folyik, mint a régi iparágaké: itt nem várják meg, hogy egy-egy prototipus üzemeltetésénél a termelési eredmények kialakuljanak, máris elkezdik épiteni a helyettesitésére szánt

következő tipust. Előzetes tapasztalat hiján becsülik fel a kitermelési költséget és a reaktor élettartamát, s igy könnyen esnek a túl optimista becslés hibájába.

A költségek terén fennálló bizonytalanság alapvető vonása az, hogy az ipari tapasztalatok hiányával van kapcsolatban, s ezen sem a korábbi tapasztalatok kicserélése, sem ügyes okoskodás nem segit. Az ipari tapasztalathiánnyal kapcsolatos bizonytalanság következtében a gazdasági számitások teljesen elvesztik pontosságukat. Ez nem azt jelenti, hogy ne végezzünk ilyen számitásokat gyakorlatképpen s az elgondolások megkönnyitésére, de jelentőségük nem több a katonai hadgyakorlatokénál, amelyek segitségével még sohasem lehetett pontosan előre látni a következő háborúban követendő stratégiát.

Az atomerőművek szerepe az általános erőműépitési programban

Ha pontosan megállapitjuk az atomerőművek önköltségi árelemeit az idő függvényeként, meg tudjuk határozni, milyen időpontra kell az atomerőművet a programba beállitanunk. A probléma lényegéhez tartozik az első felállitás költsége, mely évről évre csökkenni fog az üzembehelyezés időpontjától függően. Beletartozik az egy kilowattra eső költség, melynél számitásba kerül az üzemanyag és annak minden járuléka /vegyi feldolgozás, a plutónium értékesitése, stb./ Ez az ár nem csupán a reaktor üzembehelyezésének időpontjától függ, hiszen egy már régen működő reaktor fűtőelemei is tökéletesednek idővel a technikai fejlődés következtében; az ár tehát egy már működésben levő reaktor esetében is lassan alakul ki, a költségek a pillanatnyi helyzetnek megfelelően állapithatók meg, és pontos gazdasági kalkuláció alapját képezhetik.

Franciaországban nem ismeretlenek az ilyen kalkulációk. Már évek óta végzünk olyan számitásokat, amelyekkel

meghatározzuk, hogy egészen különböző fajta erőművek /hő-, folyamatos vizienergia-szolgáltató, csupán napi vagy idényre tartalékoló vizierőművek, stb./ közül melyik a legelőnyösebb berendezés, figyelembe véve egyszersmind az erőművek helyét, amely kihatással van a szén vagy nyersolaj árára, valamint az elektromos energia elszállitási költségeire. A Francia Elektromos Művek ezt a problémát vagy már bevált, rendszeres analizis módszereivel, vagy - újabban - lineáris programozó módszerekkel oldja meg.

Az egyik ilyen elektronikus számológép segitségével például könnyen meg lehet állapitani, hogy hogyan befolyásolja az atomenergia az energiának a különböző energiaforrások közti leggazdaságosabb elosztását, ha számszerűen megadjuk, milyen módon javulnak meg a későbbiek folyamán az energia árényezői.

Ha feltételezzük, hogy ezek az önköltségi árényezők nem függenek az évente létesülő erőművek számától, igen egyszerű eredményre jutunk: az a l e g g a z d a s á g o s a b b , h a e g y b i z o n y o s i d ő p o n t i g e g y á l t a l á n n e m é p i t ü n k a t o m e r ő m ű v e k e t , m a j d p e d i g ú g y s z ó l v á n á t m e n e t n é l k ü l l e á l l i t j u k a h a g y o m á n y o s e r ő m ű v e k é p i t é s é t é s c s a k i s a t o m e r ő m ű v e k e t é p i t ü n k .

Az ipar természetesen nem tud egészen rugalmasan átállni az atomenergiára. Erre fel kell készülnie. A teljes átállás üteme kihatással van az atomenergia önköltségi árára, de egyben a hagyományos energia árára is, azáltal, hogy visszanyomja egyes hagyományos erőműelemek gyártását. És végül az atomenergia önköltségi ára természeténél fogva szintén korlátozóan hathat a felszerelés ütemére, de csak jóval később, amidőn már nem lesz lehetséges a rendelkezésre álló atomenergiát folyamatosan, teljes egészében felhasználni.

Az ipar felkészülése az atomerőművek beiktatására

Ezidőszerint a reaktorok épitésének fő célja nem energiatermelés, hanem tapasztalatok gyűjtése. A ma működő erőművek felállitási költségeinek csupán kb. fele fog megtérülni energiatermelés útján, ezért csak akkor épitsünk erőművet, ha úgy látjuk, hogy olyan és annyi tapasztalatot szerezhetünk vele, amely a kiadások másik felét indokolja. A tapasztalatokat tehát igen drága áron szerezzük, de mégis szükségesek, hogy később eljussunk a kifizetődés időszakába.

A tapasztalatgyüjtést, éppen drága volta miatt, olyan esetekre korlátozzuk, amelyeknél sokat merithetünk belőle. Ezért ne épitsünk két azonostipusú reaktort, ha a második nem-igen nyújt több tapasztalatot, mint az első; ellenben egyik tipusról a másikra áttérve lehetőleg mindig változtatni kell a megoldási módokat. Franciaországban például, miután egy ideig ingadoztak acéltartály és zsugoritott betontartály között, a G_2 reaktorhoz a betont választották, majd a következő reaktornál, az E.D.F.$_1$-nél acéltartályt alkalmaztak. Ugyanigy horizontális és vertikális csatornaelrendezés közül először, a G_2-nél, horizontális elrendezést választottak, majd, hogy mód legyen többféle megoldás tanulmányozására, az E.D.F.$_1$-nél horizontális csatornákat szerkesztettek.

- Nem kell túlságosan törekednünk a reaktor működésének egyenletességére. A reaktor annál több tapasztalatot nyújt, minél több kis zökkenő merül fel és minél inkább megközelitik a reaktor egyes elemei a technikai lehetőségek határát.

A francia atomprogram jelenleg ebben az előkészületi szakaszban van, amidőn 1,5 évenként egy-egy új reaktort épit. A fenti módon szerzett tapasztalatoknak és a technika fejlődésének köszönhető, hogy 18 havonként, minden új reaktornál emelkedik a netto elektromos teljesitmény, s vár-

ható, hogy az egy reaktorra eső optimális teljesitmény még jelentős mértékben emelkedni fog. Ez a fokozódó kapacitás az energiahálózat részére nem jelent nehézséget: a francia hőerőművek ma már csak 115/125 MW-os egységeket állitanak fel, és nemsokára áttérnek 250 MW-ra. A 380.000 voltos áramvezetékek jelenleg még maximálisan 600 MW energia szállitására vannak méretezve, de idővel jóval többet is tudnak majd szállitani. Nincs tehát semmi ok arra, hogy egy-egy reaktor teljesitményét - gazdaságossága rovására - korlátozzuk.

Egy olyan ipari szinten álló ország részére, mint Franciaország, a 18 havonta egy új reaktort előirányzó program az energiafejlesztésnek már elég számottevő hányadát képezi; a fogyasztás emelkedésének kielégitésére évente több, mint 1000 MW teljesitményű új kapacitást kell üzembehelyezni. Az ország erőműfejlesztésének mintegy 10 %-át máris atomerőművek segitségével vagyunk kénytelenek fedezni.

A több évre elhúzódó kisérleti időszak meg fogja adni a technikai alapot arra, hogy a francia ipar hirtelen át tudjon térni egy nagyméretű program megvalósitására; amint meg lesz a szükséges előképzettség s az ipar hozzászokott ahhoz, hogy "atomi" módon gondolkozzék, öt-, sőt tizszeres ütemben is fel tudja majd szerelni az új atomipari létesitményeket.

Az atomenergia egyéb alkalmazásai

Az atomerőművek kialakulására talán az atomenergia egyéb alkalmazásainak kifejlődése is hatással lesz.

Az első ilyen alkalmazási terület, melyre gondolhatunk, a hajómeghajtás; lehetésges, hogy a tengeralattjárók atommeghajtásának nagy technikai sikere alapján felszini tengeri hajóknál is alkalmazni fogják az atomenergiát, bár ekkor már az önköltségi ár nem másodlagos tényező lesz. Nincs kizárva, hogy a tengerhajózás a nyersolajról át fog térni az urániumra, mint ahogy a hajóvitorlákról áttért a

széntüzelésre, s a szénről a nyersolajra. /A világ petróleumtermék-fogyasztásából körülbelül 13 % esik hajótüzelésre./ Igy a hajózás jelentős hagyományos üzemanyagfogyasztása szabadul fel, s ezáltal a helyhezkötött erőművek terén valamivel kitolódik az atomenergiatermelés szükségessége.

Az atomfizika számos olyan lehetőséget fog nyújtani, melyek közül egyesek csökkenthetik az energiaszükségletet; igy például a fluoreszkáló fényforrásokban a fluoreszkálást elektromos energia helyett radioaktiv sugárzó anyagokkal is /például a krypton-85 béta-sugárzásával/ gerjeszthetjük. Ez nem jelenti azt, hogy már a küszöbön áll a villanyvilágitás kiiktatása, de a példa azt mutatja, hogy van lehetőség jelentős energiaszükséglet közvetlen kielégitésére, és ilyen módon az energiagazdálkodási mérleg közvetett megjavitására.

Az atomenergia és a többi lehetséges energiaforrás közötti verseny

A jövő energiaforrásaként nem csupán az uránium és a tórium jöhet szóba. Ha nem lenne kilátás az atomenergiára, valószinűleg sokkal inkább igyekeztek volna más természetes energiaforrások hasznositása irányában kutatni; például a tengeráramlásból és a szélből elég könnyen, körülbelül a hagyományos energia jelenlegi árán lehet energiát nyerni. Az apály és dagály azonban a Földnek csak egyes pontjain olyan erős, hogy elég olcsón lehessen energiáját hasznositani. A szél energiáját is csak elég bonyolult technikával és csupán egyes vidékeken lehet gazdaságosan felhasználni. Igy a tengeráramlás és a szél csak helyi lehetőségeket nyújt.

A napenergia bőven áll ugyan rendelkezésre, de önköltségi ára, melyen hasznositani lehet, távolról sem közeliti meg annyira a hagyományos energiák árát, mint az atomenergia. A napenergia tehát még csak távoli lehetőség; a fizika fejlődése azonban hamarosan közelebb hozhatja és még nem tudjuk, hogy fog eldőlni a jövő energiaforrások önköltségi árai közötti verseny.

Talán felesleges mondanunk, hogy a magfúzióból előállítható energia még ennél is távolabbi lehetőség. Mig a hasadási energia önköltségi ára nagyságrendben kétszerese, a napenergia önköltségi ára tizszerese a hagyományos energia önköltségi árának, a fúziós energia önköltségi árának még nagyságrendjét sem tudjuk ma meghatározni, és egyelőre semmi sem indokolja annak a priori feltételezését, hogy valamikor nagyságrendben eljut a gazdaságosság szintjére.

Szerencse, hogy egyes fizikai felfedezések, - mint például a hőelektromos elemek feltalálása - régebben történtek. Ha a hőfejlesztésről a villamosságfejlesztésre való közvetlen áttérésre ma kerülne sor, azonnal a villamosságot termelő összes jelenlegi termodinamikai körfolyam közeli kiszoritásának lehetőségét látnák benne, sőt sokan bizonyára már arra a következtetésre is eljutnának, hogy lassitani kell az egyéb irányú kutatásokat. Márpedig a hőelektromos hatások felfedezése alapján csak mérőkészülékeket lehetett konstruálni.

A jövő lehetőségek időbeli eloszlása

A fejlődés, a technika minden területén gyorsul, s különösen gyorsan fejlődik az atomfizika, melyet az atomipar példátlan gyors ütemben követ. A francia atomprogram, mely 18 havonként egy-egy új természetes uránium-grafit-széndioxid-reaktor, illetve erőmű felállitását irányozza elő, szükségessé teszi, hogy amidőn egy atomerőmű még gyártás alatt áll s az előző erőmű üzembehelyezésén még dolgoznak, már a következő erőmű terve is végleg el legyen döntve. Ez a sietség másfajta prototipussorozatok tervezésénél teljesen szokatlan, és csupán energiaellátási aggályaink és az ipar újszerű kialakitásának döntő fontossága indokolja.

A hirtelen fejlődés rendkivül bizonytalanná teszi az önköltségi ár-előirányzatot, és a fokozott ütem következtében sokszor igen erős lökéseket kell adni a technikai eljárások fejlesztésének.

Az atomenergiával kapcsolatos technikai és gazdasági lehetőségek alapján ugyanolyan kockázattal állithatunk fel termelési programot 1967-re, mint amilyen valószinűségen épül egy, a 2000-es évre felállitott hagyományos energiaprogram. Valamivel távolabbi időpontra szóló terveknél tehát az atomerőműveket nem kezelhetjük ugyanúgy, mint bármely más gazdasági tényezőt. A tervek már nem csupán egyetlen tárgyra vonatkoznak, hanem nagyrészt valószinüségeken alapulnak. Túlságosan bonyolult lenne, ha,a lehetőségek minden változatának megfelelően, a tervek egész sorát állitanók fel, de annyi bizonyos, hogy a terveknek atomerőművekre vonatkozó minden részleténél különleges rugalmasságra van szükség. Gazdaságosság szempontjából súlyos hátrányokkal járna, ha a technikai fejlődés váratlan fordulatait nem tudnánk elég gyorsan követni.

Forditotta: Polgár Terézia

A LENGYEL ATOMENERGIAPROGRAM CÉLKITŰZÉSEI

S.Andrzejevszki, J.Latour, P.J.Nowacki, M.Taube, R.Pomerski

II. Genfi Konferencia A/CONF.15/P/262 cikk

1. Bevezetés

Az elmúlt században a szén játszotta a legfontosabb szerepet Lengyelország energiaellátása terén. A gazdag lelőhelyek nem fekszenek túl mélyen és könnyen bányászhatók. Ezek nemcsak az ország ipari fejlődésének alapjául szolgáltak, különösen a villamosenergiatermelés, valamint az acél- és vegyipar terén, hanem azt is lehetővé tették, hogy az ország nagymennyiségű szenet exportáljon. Figyelembe véve a legutóbbi geológiai becsléseket, valamint új bányák feltárási lehetőségeit, biztonsággal állithatjuk, hogy az eddig megállapitott szénrétegek gazdagsága az ország belső szükségletét még egy évszázadig képesek fedezni.

Lengyelország másik energiaforrása a jövőben a lignit lesz. Jóllehet, ezidőszerint a lignitfelhasználás Lengyelországban nem jelentős, de a lignitbányák várt gyors kifejlesztése valószinűleg fontos szerepet fog játszani a következő évtizedekben. Az ipar fokozódó szénigénye és az a tény, hogy az elkövetkező 20 éven belül az atomerővel történő villamosenergiatermelés gazdaságosabb lesz a szokványos erőművekkel történő termelésnél, arra a következtetésre vezetett, hogy gondoljunk az atomenergia várható fontos szerepére Lengyelországban és fogjunk máris bele az ilyen programhoz szükséges előkészületekbe.

Ez a program annál fontosabbá válik, ha arra gondolunk, hogy a szén és a tőzeg mellett Lengyelország nem rendelkezik nagyobb vizierőforrásokkal és ha ezeket teljes mértékben ki is használjuk, ezek az ország energiaellátásában nem juthatnak fontos szerephez.

Az egyéb szokványos erőforrások, mint a kőolaj és a

földgáz, annyira jelentéktelenek, hogy még szállitási és közvetlen ipari szükségleteinket sem képesek kielégiteni.

A már ismeretessé vált lengyelországi urániumlelőhelyek, melyek a középeurópai lelőhelyek csoportjába tartoznak, elégségesnek bizonyulnak ahhoz, hogy Lengyelország atomerőművei és atomenergiaipara kifejlesztésének első fokozatához szükséges nyersanyagellátását biztositsák.

I. Táblázat

Energiaforrások

Erőforrás	Becsült mennyiség	Átl. kalóriaérték	Kalóriatartalom 10^{15} Kcal-ban	%
Szén	75.10^9 t	5.1 Kcal/g	380	81.4
Lignit	40.10^9 t	1.8 Kcal/g	72	15.4
Tőzeg	26.10^9 m^3	575 Kcal/lit	15	3.2
Olaj	4.10^6 t	10 Kcal/g	0.04	0.0
Földgáz	$4.5.10^9$ Nm^3	8500 Kcal/Nm^3	0.04	0.0
Összesen			467	100.0

Vizienergiakapacitás: 13.10^9 kWó évenként.

2. ENERGIAFORRÁSOK

2.1 Széntartalékok

Az eddig megállapitott szénlelőhelyek kb. 170.10^9 t szenet tartalmaznak, melyből 1000 méternyi vagy még nagyobb mélységben 75.10^9 tonna fekszik. Ez a szén általában vastag rétegekben található, jelenleg a kiaknázás átlagosan kb. 400 m mélységig folyik.

Biztonsággal állithatjuk, hogy a szénbányászat kedvező körülmények között történik és a jövőre vonatkozólag, - különösen ha tekintetbe vesszük a fokozott gépesitést - a kilátások ezen a téren továbbra is kedvezőek. A munkabérek állandó növekedése, a feltárási mélység fokozódása és egyéb problémák arra engednek következtetni, hogy a szén árában fokozatos emelkedés fog mutatkozni. Ugyanakkor a fémkohászat és vegyipar folytonos fejlődése mind erősebben igénybe veszi szénkészleteinket.

II. Táblázat

Becsült széntermelés

Év	1960	1965	1970	1975	1980
Szén 10^6 t	105	116	135	146	163

/1957-ben 95.10^6 t/

2.2 Lignit-tartalékunk

A kőszénbányászattal ellentétben, mely gazdag tradiciókkal és jól megalapozott műszaki alappal rendelkezik, a lignitbányászat Lengyelországban ezidőszerint csak a fejlődés kezdetén áll. Az eddigi geológiai vizsgálatok a lignittartalékot 40.10^9 tonnára becsülik. A feltárásban szerzett tapasztalatok és a most folyó bányászat gazdaságossága biztositja annak lehetőségét, hogy ez a lignit elektromos áram termelésre tüzelőanyagként használható. Éppen ezért 1957-ig kb. 50.10^6 t lignit kitermelését irányozták elő.

2.3 Tőzegtartalékok

Az ország kb. 26.10^9 m^3 tőzegtartalékkal rendelkezik, ami megfelel kb. 6.10^9 m^3 száraz tőzegnek; ez 3.10^9 t kőszénnel egyenértékű.

A tőzeglelőhelyek egyenlőtlen eloszlása az ország területén, éghajlati nehézségek és az a tény, hogy háztartási fűtőeszközül főleg ezt a tüzelőanyagot használják, arra engednek következtetni, hogy a tőzeg a jövőben sem fog fontos szerepet játszani villamosenergiatermelés terén.

2.4 Folyékony és gázalakú tüzelőanyagok

Az olajat és gázt nem vesszük tekintetbe mint energiatermelésre szolgáló üzemanyagot. Az olajtartalékok kb. 4.10^6 t-ra, a földgáztartalékok pedig $4.5 - 10^9$ m^3-re rúgnak. Ma, mikor az ország motorizálása még igen gyengén áll, sem fedezi a jelenlegi termelési mennyiség a belső szükségletet és a folyékony üzemanyagot a jövőben egyre nagyobb mértékben importálnunk kell. A földgáztermelés sem fedezi a jelenlegi belső szükségletet, ezért ezek sem jöhetnek

számitásba villamosenergiatermelés szempontjából.

2.5 Vizienergiatartalékok

Lengyelország nem rendelkezik megfelelő vizienergiaforrásokkal. Ezeknek teljes kihasználása évi 13.10^9 kWó termelést tudna biztositani /átlagosméretü esőzések mellett/. Az újabb beruházások növekvő költségekkel járnának, melyeket csupán villamosenergiatermeléssel indokolni nem lehet. A vizierőműveknek mégis nagy jelentőségük van a lengyel gazdasági életben azért, mert csúcsfogyasztás idején biztosithatják a zavartalan áramfogyasztást.

3. Energiaszükséglet és erőműkapacitás

Az előttünk álló két évtizedben két tényező gyakorol majd döntő befolyást az energiaszükségletre: először az ipari termelés emelkedése; másodszor: a háztartási fogyasztás növekedése.

Az ipari termelés emelkedését a termelékenységi tényezők változása fogja maga után vonni - a műszaki fejlesztés képezi ugyanis a munka termelékenységének és az életszinvonal emelésének alapfeltételét.

Fenti ipari fejlődés Lengyelországban már azért is fontos, mivel népessége erősen szaporodik, és ez a fogyasztási cikkekben növekvő termelést és gondos munkaerőpolitikát követel annak ellenére, hogy az ipari termelékenység emelkedése általában az alkalmazott munkaerők számát csökkenti.

Lengyelország gazdaságpolitikája odairányul, hogy csökkentse a nemzeti jövedelemből a termelékenység emelését célzó beruházásokra eső összeget és inkább emelje a fogyasztási cikkek termelésére irányuló beruházásokat. Ennek az lesz az eredménye, hogy az előttünk álló két évtizedben Lengyelország termelékenységi indexe

viszonylag kisebb mértékben fog emelkedni, mint az elmúlt évtizedben. Ugyanez vonatkozik a termelőeszközöket gyártó iparra is, a fogyasztási cikkeket gyártó iparral ellentétben.

Az arányok ilyen eltolódása kétségkivül befolyásolja az energiaszükséglet alakulását, mivel a fogyasztási cikkeket termelő iparágaknak kevesebb energiára van szükségük, mint az előbb emlitett csoportnak.

Amig az ipari termelés 1954-ben 12 %-kal emelkedett, azaz 6 év alatt megkétszereződött, /pl. a különböző iparágakban a termelés évi növekedése a következőképpen alakult: fémkohászat 12 %, gépgyártás 12 %, bányászat 7 %, vegyipar 17 %, celluloze-és papirgyártás 9 %, könnyűfémek, stb. 6 %, elektromos energia 19 %/ addig az ipari termelés növekedése az 1955-1975-ig terjedő két évtizedben, a szerzők becslése szerint kb. 8 % lesz.

Döntő befolyást gyakorol azonban az elektromos energiafogyasztás emelkedésének sebességére egy ellenkező irányban ható tényező: az egy főre eső energiafogyasztás növekedése annak következtében, hogy egyes technológiai folyamatokra és elektromos hajtóművek üzemeltetésére forditott elektromos energia megnő. A termelés körülményeinek javulásától eredően helyenként csökkenő áramfogyasztás ezért a következő két évtizedben nem-igen fogja éreztetni hatását.

A háztartási fogyasztás nagymérvű emelésére lehet számitani: először, mert a villamoshálózatba hamarosan minden város, sőt majdnem minden falu is bekapcsolódik; másodszor: a népesség állandóan növekszik; harmadszor: az életszinvonal emelkedésével mindinkább elterjed a háztartási villamosgépek használata.

A népesség, becslések szerint, 1975-re eléri a 36 milliót, ez évi 14 %-os emelkedést jelent - ami azonban a jelenlegi szaporulatnál kevesebb.

A villamosáramtermelés és a népesség emelkedésének alakulását mutatja a következő táblázat:

III. Táblázat

Év	1950	1955	1960	1965	1970	1975
Népesség milliókban	25	27.28	30	32	34	36
% - os növekedés évente	-	1.8	1.9	1.3	1.2	1.1
Villamosenergiatermelés 10^9 kWó-ban	9.4	17.8	28.5	42	60	85
% - os növekedés évente	-	13.5	10	9	7.5	7
Egy főre eső villamosenergiatermelés évente kWó-ban	378	653	950	1313	1765	2340

A becsült fogyasztás erősen változik a különböző fogyasztócsoportok szerint. A főcsoportban, azaz az iparban, a fogyasztás aránylag lassan emelkedik, /az 1955-1975 években 3.8-szorosára/, mig a többi csoportnál az emelkedés lényegesen gyorsabb. Éppen ezért, az ipar áramszükséglete, amely 1955-ben a teljes áramfogyasztás 80 % - át tette ki, 1975-re a teljes áramszükségletnek már csak 67 % - át képviseli, a városi fogyasztás viszont az 1955 évi 12.5 % - os arányról 1975-re 20 % - ra növekszik. A becsléseket a IV. táblázatban adjuk.

A fogyasztócsoportok jellegének változása maga után vonja a csúcsfogyasztási idők eltolódását is, ami azt jelenti, hogy a terhelési tényezőben csökkenés fog mutatkozni, éspedig az 1955 évi 0.503-ról /évi 4350 óráról/ 1975-re 0.46-ra /4000 órára/ csökken.

Fenti feltevések alapján az előttünk álló 20 évben az energiatermelési kapacitás ötszörösére való növekedésével kell számolnunk. /Lásd V. táblázat/.

V. Táblázat

Tervezett erőműkapacitás és terhelési tényező

Év	1955	1960	1965	1970	1975
Terh. tényező	0.503	0.49	0.49	0.48	0.46
Termelési kapacitás MW-ban	4178	6600	9800	143000	210000

A villamosenergiatermelési kapacitás növekedésével párhuzamosan jelentős változások várhatók a szokványos

ELEKTROMOS ENERGIAFOGYASZTÁS A KÜLÖNBÖZŐ FOGYASZTÓCSOPORTOKBAN

IV.Táblázat

É V	1950		1955		1960		1965		1970		1975	
	10^9 kWh	%	10^9 kWh	%	10^9 kWh	%	10^9 kWh	%	10^9 kWh	%	10^9 kWh	%
Ipar	6.6	82.2	12.2	82.2	18.5	77.8	26.5	15.3	35.5	70.1	46.5	65.5
index	100		185		280		104		539		705	
Városok	1.086	13.5	1.893	12.7	3.4	14.3	5.6	15.9	9.2	18.3	15.0	21.2
index	100		173		310		511		840		1368	
Falvak	0.320	4.0	0.640	4.3	1.25	5.2	2.05	5.8	3.5	7,0	6.0	8.5
index	100		200		391		640		1092		1876	
Elektromos vontatás	0.025	0.3	0.123	0.8	0.65	2.7	1.05	3.0	2.0	4.0	3.5	4.9
index	100		492		2600		4200		8000		14000	
Összesen	8.031	100	14.863	100	23.8	100	35.2	100	50.2	100	71.0	100
index	100		186		297		439		628		885	

erőművek műszaki fejlődése terén. Ezek: sokkal nagyobb egységek - különösen kazánok, turbinák és váltóáramú generátorok, sokkal nagyobb gőzparaméterek; gépegységek és energiafejlesztő-berendezések automatikus vezérlése; erőművek, transzformátorállomások és hálózatok gazdaságosabb együttműködése, hosszabb kihasználási ciklusok - ezek a tényezők mind hozzájárulnak ahhoz, hogy egységnyi termelt villamosenergiára esően a hőszükséglet csökkenni fog. Erre vonatkozó becsléseinket a VI. táblázatban adjuk:

VI. Táblázat

Tervszámok.

Hőenergiaszükséglet egységnyi termelt villamosenergiára esően

Év	1955	1960	1965	1970	1975
Kcal/kWó	4050	3440	2970	2750	2570

A műszaki fejlődés valószinűleg azt fogja eredményezni, hogy a tüzelőanyagfogyasztás emelkedése lassúbb lesz az elektromos energia termelésének emelkedésénél. Ezt a jelenséget azonban részben kiegyensúlyozza az erőművekben égetendő tüzelőanyag átlagos kalóriaértékének csökkenése, mert itt olyan gyöngébb minőségű szeneket használnak fel, amelyek nem érik meg a bányától távoleső vidékre való szállitás költségeit. Az erre vonatkozó tervszámokat 1950-1955 évekre vonatkozóan a VII. táblázatban közöljük.

VII. Táblázat

Erőműkazánokban eltüzelt szén átlagos kalóriaértéke

Év	1950	1951	1952	1953	1954	1955
Kcal/kg	5640	5414	5289	5219	5084	5041

4. Az energiaellátás lehetőségei és az atomenergia szerepe

Az a lengyel terv, amely 1975-re 85.10^9 kWó villamosenergia termelését irányozza elő - és a szerzők szerint ez igen óvatos előirányzat - jelentős beruházásokat tesz szükségessé. Az erőkifejtéseknek határt szab a rendelkezésre

álló pénzösszeg, a személyzet oktatásának és kiképzésének problémája, valamint a nehéz-gépi berendezéseket gyártó üzemek kapacitása. És ezek a nehézségek exponenciálisan növekednek. Ezen felül azt is meg kell gondolni, hogy az ország egész erőműparkjában a különböző fűtőanyagú centrálék milyen arányban legyenek képviselve.

Amellett a nyilvánvaló törekvés mellett, hogy minden lehető vizierőművet kihasználjunk - amire nemcsak energiagazdálkodási indokok késztetnek - legfőbb erőkifejtéseink arra irányulnak, hogy szokványos szénfűtésű gőzerőműveket épitsünk. Jelenleg főleg ilyen erőművek létesitésén fáradozunk, melyeknek technológiája már ismert és megfelelő tradicióval rendelkezik. Másodsorban lignittüzelésű erőműveket kivánunk épiteni és ezzel párhuzamosan fejlesztjük a Lengyelországban még meg nem honosodott lignitbányászatot. Ezek az utóbbi erőművek lehetővé teszik, hogy az ipari feldolgozás és az export számára kőszenet takaritsunk meg.

Végül becsléseink szerint a most vizsgált időszak második évtizedében /1965-1975/ az atomenergia mind fontosabb szerephez jut Lengyelország közgazdaságában és erre már most kell tudományosan, műszakilag és iparilag felkészülnünk, valamint bekapcsolódnunk az ilyen irányú szorosabb nemzetközi együttműködésbe.

A kép nem lenne teljes, ha nem vennénk számitásba azt, hogy régi, használhatatlanná vagy nem kifizetődővé vált erőműveket újakkal kell felcserélnünk. A VIII. táblázatban tüntetjük fel a villamosenergiatermeléssel és az erőművekkel kapcsolatos beruházási tervszámokat.

Természetesen számolnunk kell bizonyos akadályokkal a szénbányászati terv erőltetett ütemben való végrehajtásával kapcsolatban.

Először is nyilvánvaló, hogy a szénből előállitott hő ára emelkedési irányzatot mutat. Jóllehet a munka termelékenységében emelkedést várunk, a munkabérek emelkedő szinvonala, a mélyebbről bányászott szén minőségének csökkenése az új bányáknál a mélyebb aknákkal kapcsolatos

beruházási költségnövekedés drágitja az elektromos áramot.

VIII. Táblázat

Becsült erőműkapacitás

Év	1955	1960	1965	1970	1975
Elektromos energia termelés 10^9 kWó-ban	17.8	28.5	42	60	85
Rendelkezésre álló kapacitás MW-ban	4,178	6,600	9.800	14.300	21.000
Régi, elhasznált erőművek kikapcsolása /5 év alatt/ MW-ban	-	200	500	600	500
5 éves időközök alatt történő beruházások, MW-ban	-	2.700	3.700	5.100	7.200

A széntermelés fokozásának továbbra gátat vethetnek a mély bányákkal kapcsolatos beruházási költségek, figyelembe véve az új bányák feltárásához szükséges hosszú időtartamot, ami nagy közvetett beruházási költséggel jár, mint felvonulási épületek, munkásszállások, a munkások közlekedési költsége, stb. régi bányák korszerűsitéséhez szükséges beruházások, a bányászvidékek túlzsúfoltsága /itt ugyanis más nehézipari központot is találunk/ és esetleg a jövőben a bányászatban fellépő munkaerőhiány.

Annak feltételezése, hogy a kőszén- és lignitbányászat tervezett fejlődése, a többi fogyasztási igénnyel együtt, fedezni fogja a növekvő villamosenergiaszükségletet, még további két évtizedig eléggé egyoldalú és kockázatos feltevésnek látszik, ami az országot a második évtized végén a teljes energiaszükséglet fedezése tekintetében kényes helyzetbe hozhatja.

Éppen ezért gondolnunk kell arra, hogy miként használhatnánk fel az atomenergiát arra a célra, hogy ki tudjuk elégiteni a jövőben mutatkozó teljes energiaszükségletet.

Lengyelország abban a szerencsés helyzetben van, hogy az atomerő kihasználására való áttérés itt kevésbé sürgető kérdés, mint a többi európai országban, ez azonban nem jelentheti azt, hogy az előttünk álló két évtizedet fel ne tudjuk használni arra, hogy felkészüljünk - a lengyel atomenergiatermelés szempontjából - az atomenergia kihasználására.

Az atomenergiafejlesztési program első lépését már megtettük azzal, hogy belefogtunk kutatási és anyagvizsgálati reaktorok tervezésébe. /Pl. a szomszédos országokkal együttműködésben szándékozunk anyagvizsgáló reaktort építeni./ Ezekre az első lépésekre azért van szükség, hogy az atomenergia terén szert tegyünk megfelelő tapasztalatokra és tudományos, valamint műszaki káderein k a megfelelő kiképzésben részesüljenek. Ebben az évben helyeztük üzembe a Szovjetunióból importált 2 MW termikus teljesitményű kutatási célokat szolgáló reaktort. Második reaktorunk tervrajzai /gázhűtésű, grafittal moderált tipusú/, most vannak készülőben és előreláthatólag 1962-63-ban kerül sor az építési munkálatok befejezésére. A természetes uránium feltárási technológiája és ipari feldolgozása ugyancsak kezdeti stádiumban van.

A kielégitő széntartalékokkal rendelkező Lengyelországban atomerőmű felállitásának elhatározásával kapcsolatban a döntő tényező a gazdaságosság kérdése lesz, különös tekintettel az ország korlátozott beruházási lehetőségeire. Éppen ezért, nemcsak az üzemköltségre kell tekintettel lennünk, hanem a beruházási költségek nagyságára is. Erre vonatkozólag országunkban széleskörű kutató és kiértékelési munka folyik.

Nem kétséges, hogy amig a szokványos üzemanyagárak emelkedni fognak, az atomerőművek termelési költsége az olcsóbbodó üzemanyag és a műszaki fejlesztés következtében, a beruházási költségek csökkenése folytán, idővel kisebb lesz.

Mind műszaki, mind gazdasági meggondolások, Lengyelország energiamérlegének állandó szemmeltartása mellett, valamint az, hogy atomenergiaprogramok megvalósitására szükséges ipari alapfeltételek kifejlesztése módunkban áll, arra engednek következtetni, hogy az atomenergia fejlesztése Lengyelországban közgazdasági szempontból szükségessé válik.

Az eddig elfogadott tervek szerint 1970-re az addigra felépitett atomerőművek kapacitását 800 MW körül irányozzuk elő, úgy, hogy az épités az 1965-70-es időszakra essék. További 1.000 MW kapacitás értékű beruházást tervezünk az utánakövetkező 5 évre, tehát 1975-ben, számitásaink szerint az egész villamosenergiatermelési kapacitás 10 %-át atomerőművek szolgáltatják. Az eztán következő 5 évben pedig az atomerőművek már fontos szerephez jutnak a villamosenergiatermelés terén és valószinű, hogy az újabb energiatermelést célzó beruházásokat már kizárólag atomerőművek épitésére fogjuk forditani.

Az is előrelátható, hogy körülményeink között az atomerőmű tipusának kiválasztása szempontjából döntő jelentőségű lesz a fenti dátumot megelőző 10 év alatt már feltárt urániumbányák termelése és az urániumtartalékok pontosabb felbecsülése. A jelenleg folyamatban lévő geológiai vizsgálatok alapján feltételezhetjük, hogy Lengyelország elegendő hasadóüzemanyag-forrással rendelkezik ahhoz, hogy az ország jövő terveire előirányzott atomenergiafejlesztési programot megvalósithassa.

Egyelőre úgy látjuk, hogy Lengyelországban tóriumlelőhelyek felfedezése nem várható, tehát ez az üzemanyag műszaki elgondolásainkban nem szerepel. Az izotópszétválasztással kapcsolatban úgy döntöttünk, hogy ilyen üzem felállitása a fenti időszakban gazdaságilag nem indokolható.

A fentiek alapján úgy látjuk, hogy az első atomerőműveink ter-

mészetes urániummal fűtött, gáz-hűtésű grafittal moderált reaktorok lesznek.

A második atomerőműsorozatnak szaporitó gyorsreaktorokat képzelünk el, melyek uránium-plutonium-ciklus alapján működnek; valamint plutoniummal dúsitott, urániummal táplált termikus reaktorokat. A második reaktorgeneráció reaktoraiban felhasznált plutóniumot valószinűleg az első generáció által termelt plutonium-mennyiség fogja biztositani.

Ugy tervezzük, hogy az első generációban a reaktorok termikus teljesitménye 300-600 MW között fog mozogni, és egy atomerőmű több reaktorból fog állni. A második generáció reaktorainak kapacitása valószinűleg kétszer akkora lesz, mint amekkora az első generációé volt.

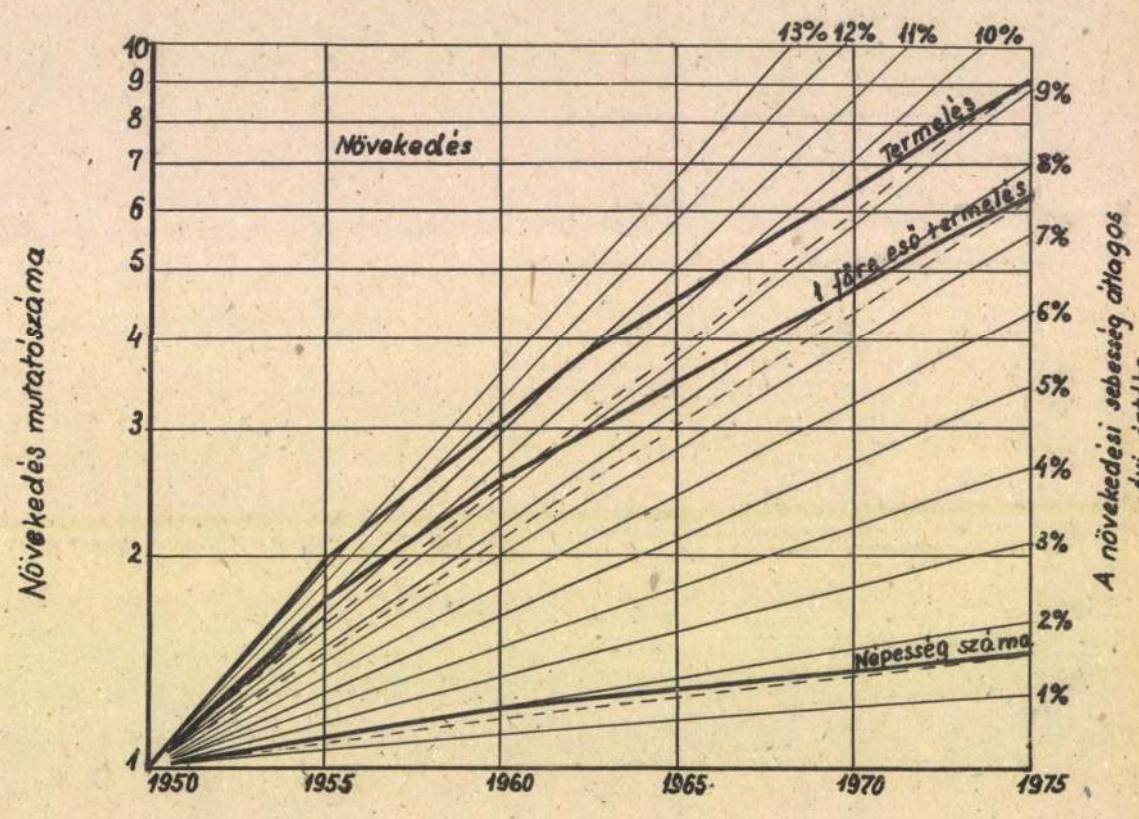
5. Végkövetkeztetések

Lengyelország atomenergiafejlesztési programjának megvalósitásával kapcsolatban különösen a következő területeken kell gondos előkészületeket tennünk.

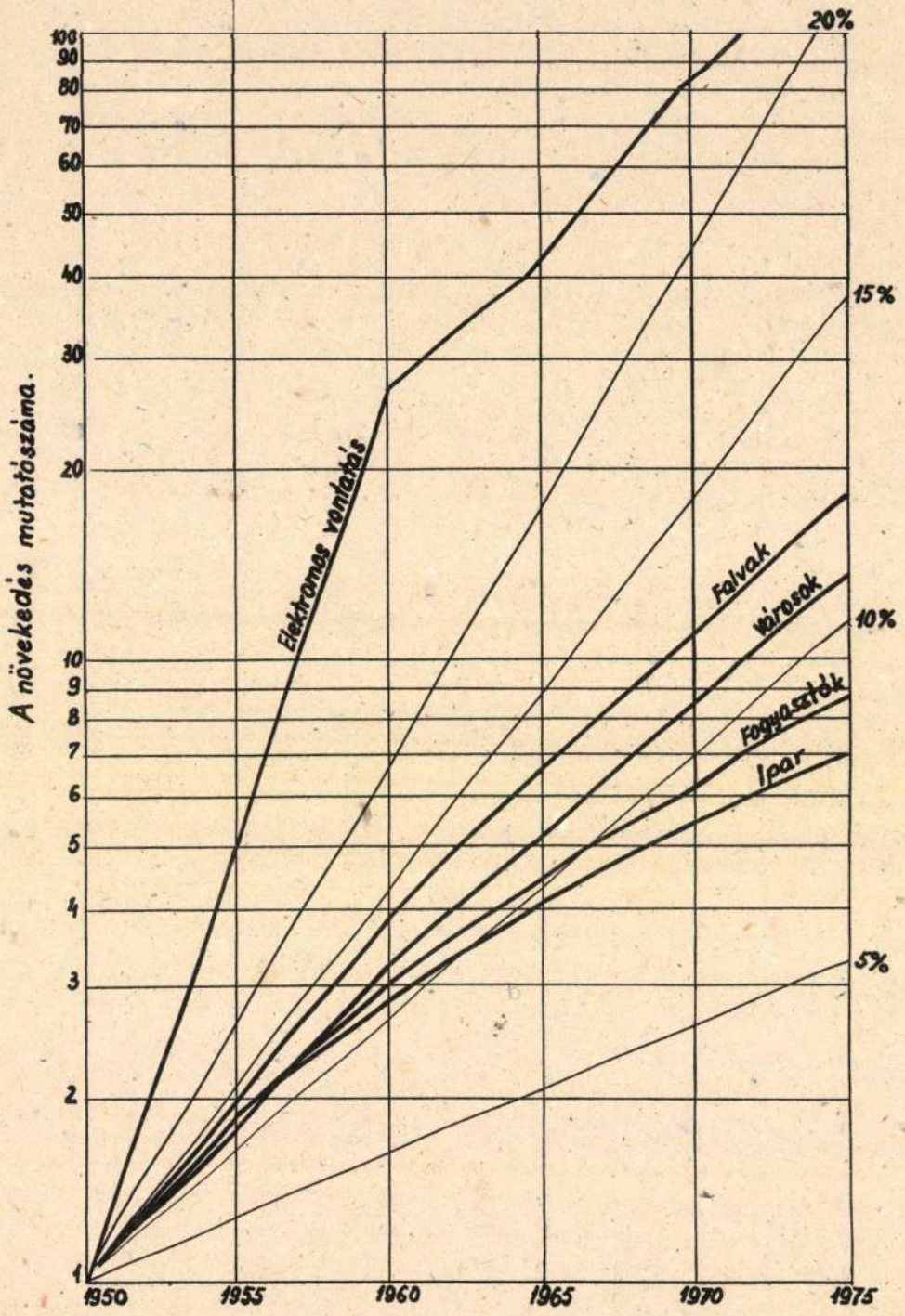
1./ Az atomenergetika ipari alapfeltételeinek kifejlesztése az elkövetkező 10 év alatt.
2./ A fűtőanyaggal kapcsolatos feltárási munkák és technológiai előkészületek.
3./ Az első atomerőművek felépitése a következő 10 éven belül.
4./ Előttünk álló 20 év alatt annyi atomerőmű felépitése és azok olymérvü kihasználása, hogy az 1975-ös évet követő évtizedben lehetővé váljék az atomenergia rohamos ütemben való fejlesztése, jóllehet 1975-ig ez nem játszik döntő szerepet az ország energiaellátásában.

Forditotta: Kovács Jenőné

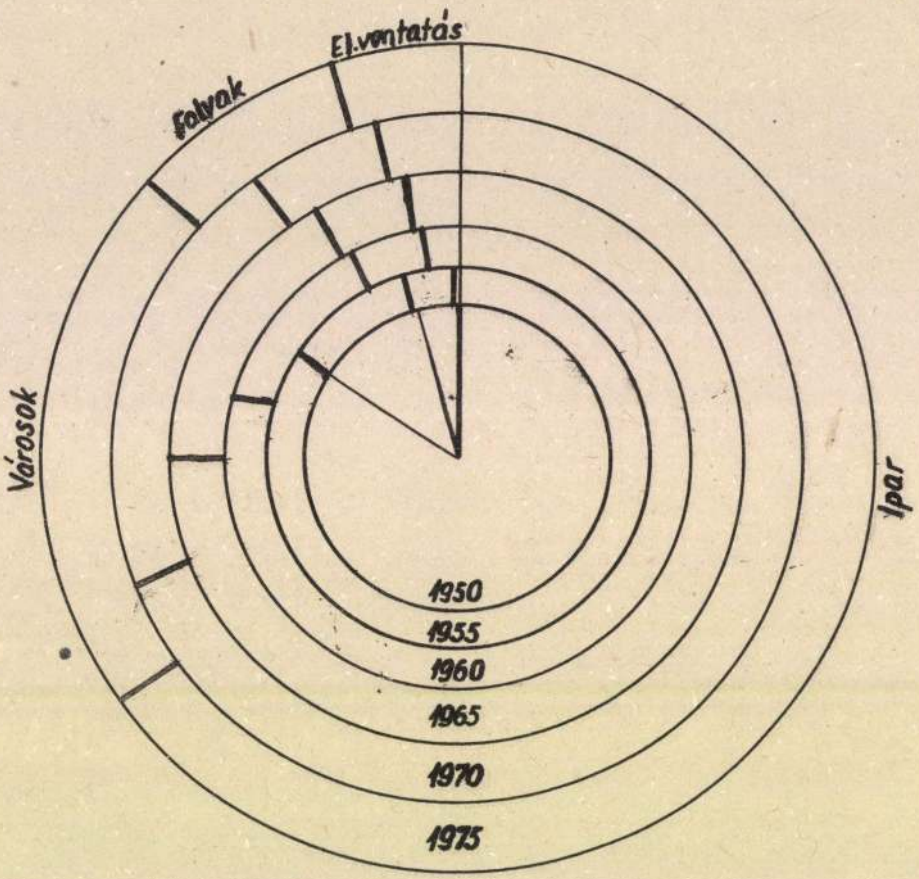
KFKI 200


Növekedés mutatószáma
A növekedési sebesség átlagos évi értéke
Növekedés
Termelés
1 főre eső termelés
Népesség száma
13%
12%
11%
10%
9%
8%
7%
6%
5%
4%
3%
2%
1%
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
1950
1955
1960
1965
1970
1975

1. ábra


A növekedés mutatószáma.
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
1950
1955
1960
1965
1970
1975
20%
15%
10%
5%
Elektromos vontatás
Falvak
városok
Fogyasztók
Ipar

2. ábra


El.vontatás
Falvak
Városok
Ipar
1950
1955
1960
1965
1970
1975

3. ábra

AZ ATOMENERGIA FELHASZNÁLÁSÁRA VONATKOZÓ KILÁTÁSOK A ROMÁN NÉPKÖZTÁRSASÁGBAN

II. Genfi Konferencia A/CONF.15/P/1304 cikk

Az alapvető energiaforrások fejlesztése nagy gazdasági fejlődést eredményezett az országban. Az elmult tiz év alatt az ipari termelés 3,2 - szeresére, az energiafogyasztás 2,7 - szeresére nőtt.

Az ország természetes erőforrásai és gazdasági helyzete olyan volt ebben az időben, hogy a természetes energiafogyasztásnak majdnem 80 %-át a petroleum és földgáz fedezte.

Jelenleg a természetes energiaforrások 16-18 %-át forditjuk villamosenergia fejlesztésére, amely az emlitett időszakban 3,6 - szorosára emelkedett. 1960-ra 7,5 ezer millió kWó villamosenergia fogyasztással számolunk, ami.fölülmulja az ország 1950-ben készült villamositási programjában kitüzött előirányzatot.

Románia energiatermelési programja számitásba veszi az ország természetes energiatartalékait, azt a sebességet, amellyel a termelési kapacitás felhasználható; beruházási költségeket és az energia termelési költségét. Ezek a meggondolások vezettek bennünket arra, hogy a kőolajat és a földgázt a fenti arányban használjuk fel. Jelenlegi gazdasági helyzetünk azonban lehetővé teszi, hogy nagyobb mértékben használjuk ki szénkészleteinket, különösen a lignitet, valamint a vizierő tartalékokat. Eppen most tanulmányozzuk tehát annak a lehetőségét, hogy a Dunát hogyan használhatjuk ki az eddiginél jobban, és a belső viziutakat hogyan fejleszthetjük nagyobb mértékben.

Egyre nagyobb mennyiségü folyékony és gázalaku szénhidrogént tartalékolunk a vegyipar, különösen a szintétikus vegyipar számára, amely az egész ország gazdasági

fejlődésében jelentős szerepet játszik. Most épülnek Romániában a műgumit, műfonalakat, plasztikokat és hasonló anyagokat készitő gyárak, amelyek kőolajtermékeket, finomitott gázt és metánt használnak fel.

Az atomenergia terén a helyzet a következő:

Előzetes müszaki és gazdasági vizsgálatok az 1960 - 1975-ös évekre vonatkozólag arra engednek következtetni, hogy 1970-ben jön él annak az ideje, amikor az egész ország energiatermelésének emelésére igénybe vesszük az atomenergiát. Ha az atomerőmüvek különböző szerzők által kidolgozott gazdaságossági számitásait összehasonlitjuk a szokványos erőmüvekre vonatkozó számitásokkal, akkor kitünik, hogy a Romániában uralkodó körülmények között, az atomerőmüvek, még a kisteljesitményü termikus és hidroelektromos erőmüveknél is, költségesebbek, és ez csak 1970 felé közelitheti meg a lignit-felhasználó erőmüvek költségét. Ami a beruházási költséget illeti - az előrevárt csökkenés ellenére - várhatóan még 1975-ben is nagyobb lesz, mint a szokványos termikus erőmüveknél, és ez még abban az esetben is fennáll, ha a bányászathoz szükséges beruházási költségeket is figyelembe vesszük. A Dunán épitendő vizierőmüveknél is költségesebbek lesznek, csupán a kisebb teljesitményü vizierőmüvekkel tudják felvenni a versenyt.

Jelenleg hozzávetőlegesen megállapithatjuk, hogy 1975-ben az ország teljes energiaszükségletének kb. 3-4%-át fedezzük majd atomerővel, mig a villamosáram termelésére forditott energiafogyasztás 10-15%-át szolgáltatja majd atomenergia. Ez azt jelenti, hogy addigra kb. 500 MW összteljesitményt nyújtó atomerőmüvek beruházására kerülhet sor.

Nagyon érdekel bennünket az atomerőmüveknél az olyan megoldás, amelynél együttesen kaphatunk hőenergia és

és villamosenergia szolgáltatást. Itt nagy paraméterekkel jellemzett gőz előállitására alkalmas reaktorok kifejlesztésére gondolunk.

Jelenlegi erőkifejtéseink főleg arra irányulnak, hogy szakembereket képezzünk ki az atomenergetika terén, a magfizika terén alapvető elméleti kutatást folytassunk, továbbá, hogy a nukleáris technika módszereit az ország tudományos és müszaki tevékenységének különböző területein a lehető legnagyobb mértékben alkalmazzuk.

Figyelemmel kisérjük a többi országnak az atomerőmüvek épitése terén elért eredményeit, valamint azokat az előadásokat, amelyek ezen a nagyjelentőségü Konferencián ebben a tárgykörben elhangzanak, hogy kielégitő megoldást találjunk országunk alapenergia-termelésének fejlesztésére.

Forditotta: Kovács Jenőné

A SVÉD ATOMENERGIAPROGRAM

G.Cederwall
a Svéd Atomenergiabizottság elnöke

II. Genfi Konferencia A/CONF. 15/P/2342. cikk

Az energiahelyzetről

Jóllehet Svédország igen erősen kifejlesztette a rendelkezésére álló vizierőforrásokat, teljes energiaszükségletének több mint kétharmad részét kénytelen behozatalból fedezni. A villamosenergiafogyasztás mértéke a második világháboru óta kb. évi 7 %-kal, mig a teljes energiafogyasztás több mint 4 %-kal emelkedett.

A villamosenergiát majdnem teljes egészében vizierőművekkel állitják elő. A hőerőművek feladata csupán a csucsfogyasztás idején a többlet-energiaszükséglet fedezése; kapacitásuk kb. 15 %-a a vizierőművek kapacitásának. További vizierőművek épitésével a villamosenergiában felmerülő növekvő szükségletet az elkövetkező 15 évben még tudják fedezni. Előreláthatólag az 1970-es évek első felében a hőerőművek energiáját az esztendő elég nagy részében veszik majd igénybe ahhoz, hogy a hőerőművek helyettesitésére az atomenergia felhasználása gazdaságossá váljék.Igaz, hogy a nyári idényben bőven rendelkezésre álló villamosenergia kezdetben az atomerőművek kihasználási idejét kb. évi 5000 órára fogja korlátozni.

Ha a svéd energiaellátási helyzetben folytatódik a jelenleg érvényesülő irányzat, akkor ez hamarosan nehézségeket jelenthet a külkereskedelmi mérlegben. Üzemanyagok, különösen pedig az olajbehozatal, a teljes behozatali számlának máris egyötödét teszik ki.

Aktiv energiagazdálkodási program. Atomenergia

Hathatós energiagazdálkodási tervet dolgoztak ki Svédország számára, hogy ellensulyozzák az olajimport fokozódását. /Az olajimport a teljes import 1/5-e./ Az energiagazdálkodási program alapját távfütési célra hőenergiát és/vagy villamosenergiát fejlesztő magreaktorok épitése képezi.

Az atomenergiának szánt nagy szerepet a Svédországban található kiterjedt timsós rétegek urániumtartalma indokolja.

Az atomenergiaprogram megalapozása

Már 1945-ben megalakult a svéd Atomkutató Bizottság /Atomkommittén/ azzal a feladattal, hogy gondoskodjék az atomkutatás és kiképzés pénzügyi fedezetéről.

1947-ben megalakult az Atomenergia Rt /Aktiebolaget Atomenergi/. Részvényeinek négyheted része az állam birtokában van, mig a megmaradó háromheted rész több mint 70 különböző részvénytulajdonos között oszlik meg, melyek között több nagy iparvállalat, biztositó társaság, erőmü-érdekeltség, helyi hatóság, stb. szerepel.

Az Atomenergia Rt munkavállalóinak száma kb. 800 és 1959-re a létszám 1.100-ra emelkedik. Tevékenysége három főcsoportra oszlik, nevezetesen:
1/ kémia és urániumtermelés,
2/ fizika, fémkohászat és kutatási reaktorok és az ipari reaktorok.

Az atomenergiafejlesztési programot eddig főleg az állam finanszirozta. Az eddigi összes, kb. 60 millió dollár összegü költségvetésből 25 millió az 1958-59 költségvetési évet terheli. Ebből 3 millió jut az Állami Energiaügyi Igazgatóságnak,mig a többit az Atomenergia Rt kapja.
KFKI 200

Részvényesei között történt megállapodás értelmében az Atomenergia Rt-t bizták meg a svéd atomenergiaprogram keretében felépitendő reaktorok prototipusainak megtervezésével és felépitésével.

Nyersanyagkérdés

Az uránium kitermelését ugyancsak az Atomenergia Rt végzi. A társaság módszereket dolgozott ki a Közép-Svédországban fellelhető földpát urániumtartalmának kivonására. Az urániumtartalom viszonylag kicsi, tonnánként 300 g-ig terjed, de a nagy készletek lehetővé teszik, hogy több mint 1 millió tonna urániumot vonjunk ki belőle. A Kvarntorpban folyó urániumtermelés kb. évi 10 tonna. 1964-re tervezik a második ilyen uránércfeldolgozó telep épitésének befejezését Billingenben. Itt az előirányzott évi termelés 120 tonna.

Nehézvizgyártásra is felkészülnek. Az ASEA vállalat végeztet ilyenirányu kisérleteket, és az Atomenergia Rt-vel együtt kisérleti nehézviz-gyártó üzem felépitését tervezi.

Reaktorépitési program

Az 1965. évig terjedő időszakra elfogadott reaktorépitési terv féltucat egyenként 75 - 100 MW teljesitményü hőtermelő és egy 100 MW elektromos teljesitményü villamosáramfejlesztő reaktor épitését irányozza elő. Két fütőreaktor és egy áramfejlesztő reaktor épitési költségét a parlament már meg is szavazta.

Kutatási reaktorok

1954-ben az Atomenergia Rt megtervezte és felépitette Svédország első R 1 jelzésü természetes uránium-nehézviz tipusu kutatási reaktorát Stockholmban. Jelenleg egy kutatóközpont épül Studsvikben Stockholm mellett. Az USA-tól egy ORR tipusu anyagvizsgáló reaktort vásároltak, melynek felál-

litása ez év utolsó hónapjaiban fejeződik be. A Studsvikben épülő kutatóközpontban zérus energiáju reaktorok és elégett fütőelemek reprocesszálására alkalmas üzem épül.

Távfütő-reaktorok. Villamosenergiatermelés ellennyomásu gőzzel

Távfütő-reaktorokból becslés szerint kb. 30 db. egyenként 30-60 MW. 10 db egyenként 60-120 MW és 3 vagy 4, különkülön 120 MW teljesitményü reaktort lehetne gazdaságosan kihasználni. Ehhez még hozzászámithatunk néhány 60-120 MW teljesitményü reaktort ipari hőszolgáltatás céljára, bizonyos számu hőenergiát fogyasztó üzem, főleg papirgyár részére.

Általában kifizetődő, ha az ilyen távfütésü erőmühöz ellennyomással dolgozó turbinát épitünk villamosáram fejlesztésére. Az évi hőszükséglet görbéi ugyanis nagyjában egybeesnek az áramszükséglet görbéivel.

Az első távfütő-reaktort is ilyen ellennyomásos turbinával látjuk el. Maga az R 3 megjelölésü reaktor nagynyomásu nehézvizzel moderált, cirkaloyba tokolt természetes urániummal fütött tipus lesz. Villamos teljesitménye 15 MW, hőteljesitménye 70 MW lesz; Stockholm egyik külvárosában 10 12 000 épületet látnak majd el távfütéssel.

A második távfütő reaktort az Állami Energiaügyi Igazgatóság tervezi a célból, hogy a szükséges tapasztalatokat megszerezze, mielőtt a svéd atomenergiaprogram első nagyméretü erőmü-reaktorának épitésébe belefogna.

Az "ADAM" elnevezésü távfütőreaktort Västerasban épitik, ahol az Állami Energiaügyi Igazgatóság legnagyobb erőmüve található. Most 1958 májusának végén még nem került eldöntésre az ADAM végleges terve.[x]

[x] A tervezett västerasi ADAM hőtermelő atomreaktort - pénzügyi okok miatt - törölték a svéd atomenergiaprogramból, mig a Stockholm Farsta elővárosának szánt "Agesta" kombinált hő- és elektromos atomerőmü munkálatai a tervnek megfelelően tovább folynak. Ezen erőmü reaktorát R 3/ADAM-nak nevezik. Az elhatározás onnan ered, hogy a svéd atomenergiaprogramnak

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

Miután a távfütési reaktorok épitése a svéd atomenergiaprogram jelentős részét teszi ki, mód nyilik arra, hogy hamarabb oldják meg viszonylag kis üzemi hőmérsékletek folytán a kereskedelmileg versenyképes reaktorok épitésének kérdését; e célt jelenleg nagyhőmérsékletü áramfejlesztő reaktorok esetében sokkal nehezebb elérni.

Villamosenergia-termelő reaktorok

Az első fütőreaktorokat az erőmüreaktorok kifejlesztésének első lépcsőjeként is felhasználják. Az első ilyen erőmüreaktor az R 3-hoz hasonló lesz, ha az utóbbi az 1965-ben végződő program keretén belül felállitják. A reaktor neve R 4; az EVA nevü erőmübe épitik majd be. Az R 3, valamint az ADAM fütőreaktorhoz hasonlóan, a föld alá, sziklából kirobbantott üregbe épitik.

A további reaktorépitési program

A reaktorépitési program további alakulása, mondjuk 1965-75 között nagyrészt az első időszakban szerzett tapasztalatoktól függ.

Tekintve, hogy az 1970-es évek közepe táján az uj vizierőmüvek létesitése végetér, számitásunk szerint 1975 körül már kb. 2000 MW kapacitásu atomenergiával dolgozó erőmü lesz készen. Természetesen ezek az erőmüvek egyaránt lehetnek majd svéd tervezésüek, vagy külföldről vásároltak.

Az 1956 évi atomenergiatörvény

A fenti törvény atomi üzemanyag beszerzését és tárolását, reaktorok épitését vagy üzemeltetését, valamint atomi

már kezdeti fázisában át akarnak állni a hőtermelésről energiatermelésre. Az ADAM költségeit 100 millió koronára becsülték. Mivel a becslések két és fél évvel ezelőttiek, az összeg azóta megkétszereződött. Azáltal, hogy az ADAM-tervet elvetették s erőfeszitéseiket az Agestara összpontositották, az utóbbit mintegy 115 millió koronáért épithetik fel.

üzemanyagokat feldolgozó vállalatok létesitését engedélyhez köti. A kormányt ezzel kapcsolatban - engedélyezések, pénzügyi támogatás az atomenergiaprogram keretében - az öt tagból álló Atomenergiaigazgatóság tájékoztatja. Ez az Igazgatóság gyakorol felügyeletet az engedélyek kiadása és felülvizsgálata felett. Külön bizottságot állitottak fel a telephelyek megválasztásával és a biztonsággal kapcsolatos kérdések elintézésére.

Nemzetközi együttmüködés

Az Atomenergiaigazgatóság foglalkozik az atomenergiával kapcsolatos nemzetközi megállapodások kérdésével is.

Svédország kétoldali kutatási megállapodást kötött az Egyesült Államokkal és az Egyesült Királysággal. Aktiv tagja az IAEA és az OEEC keretén belül müködő ENEA-nak; az utóbbi által létesitendő Eurochemic elnevezésü vegyi feldolgozó üzem tervezési és kivitelezési munkálataiban több svéd szakember is résztvesz.

Az öt skandináv állam között 1957-ben kötött megállapodás szerint külön szervezet létesült az atomenergia terén való együttmüködés és tapasztalatcsere előmozditására. Ugyancsak 1957-ben ez az öt állam közösen alapitotta meg Kopenhágában az Északi Elméleti Atomfizikai Intézetet /Nordic Institute for Theoretical Atomic Physics/.

Forditotta: Kovács Jenőné

AZ ATOMENERGIA KÉRDÉSE HOLLANDIÁBAN

II. Genfi Konferencia A/CONF.15/P/2435 cikk

Az atomenergia felhasználásával kapcsolatos tervezet

A holland közgazdasági miniszter 1957 júliusában emlékiratot terjesztett a Parlament elé, amelyben programba vette az atomerőművel fejlesztett villamosenergia termelését. Az e téren elért fejlődés ugyanis lehetővé teszi, hogy ennek bevezetése Hollandiában kifizetődjék.

Az 1955-75-ig terjedő időre az energia-ellátást és az energiaszükségletet az 1. táblázat mutatja.

I. táblázat

		1955	1960	1975
A./	Kőszéntermelés	11.900	11.900	12.000
	Barnaszén "	80	-	-
	Földgáz "	170	300	400
	Kőolaj "	1.500	1.600	1.700
	Összesen	13.650	13.800	14.100
B./	A teljes szükséglet	26.000	31.000	43.000
C./	Belföldi termeléssel nem fedezhető	12.350	17.200	28.900
D./	A belföldi termelés /A/, a szükséges energia /B/ százalékaként	53	45	33

A táblázat szerint Hollandia energiafogyasztása és az energiatermeléshez rendelkezésre álló hazai nyersanyagok mennyisége előreláthatóan úgy alakul, hogy 1975-ben az utóbbi az energiaszükségletnek csupán egyharmadát képes fedezni,

míg a többit messziről importálandó nyersanyagokból kell ellátnia. Az 1955-1960-ig terjedő időszakban a nyersanyagkészlet kb. 53, illetve 45 %-ban fedezi a szükségletet. Hollandiának tehát igen fontos feladata az, hogy megfelelő energia utánpótlásról gondoskodjék. Ezen a téren az atomenergia nyujtja a legbiztatóbb kilátásokat.

A hagyományos és az atomerőművek árát összehasonlitva, még ha igen óvatos becslésekből indulunk is ki, az tünik ki, hogy Hollandiában már ma is lehetséges lenne atomerőművel villamosenergiát termelni - elfogadható áron. Áralakulása, várhatóan a jövőben még kedvezőbb lesz, mivel az atomerőművek nagy beruházási költségei a müszaki fejlődés következtében bizonyára csökkenni fognak, a szokványos erőművek üzemeltetési költsége viszont, a szén- és olajtermelési, a szállitási, a kutatási és kitermelési költségek növekedése emelkedik.

Ha a villamosáramot termelő vállalatok a következőkben ismertetendő elgondolást megvalósitják, akkor az erőművek összkapacitásának 35 %-át 1975-ben atomerőművek fedezik. Ez azt jelenti, hogy alapfogyasztásra való beállitásuk esetén a termelt villamosenergia mintegy 50 %-át fogják szolgáltatni. Ez a teljes energiaszükséglet 15 %-ának nukleáris forrásokból történő fedezését jelentené 1975-ben.

Az atomenergia-fejlesztés ilyen mértéke azonban korántsem oldja meg az ország energiaellátási problémáját, és 1975-ben az ország energiaellátásához szükséges nyersanyagok 52 %-át még mindig import utján kellene fedeznünk. Természetesen, ha a villamosenergia atomenergiával már olcsóbban állitható elő, akkor az igy termelt áram bizonyára mindjobban kiszoritja majd a használatból az energia egyéb formáit. Sőt kisebb méretü reaktor kifejlesztése még kiterjedtebbé teszi majd gazdasági alkalmazását. Pl. hajók hajtása, esetleg városok fütése.

Ha Hollandia lépést kiván tartani az atomenergia felhasználásának fejlődésével, akkor megfelelő tapasztalatokkal, ipari felkészültséggel és szakemberekkel kell rendelkeznie. Már ez okból is feltétlenül szükséges, hogy az atomerő villamosenergia fejlesztésére való felhasználását azonnali programba vegyük, anélkül, hogy megvárnánk, amig a külföldi atomreaktorok fejlődésük legmagasabb fokára jutnak, vagy pedig hogy a Hollandiában megkezdett kutatómunka, bármily sokatigérő legyen is, gyakorlati eredményeket érjen el.

Az atomerő felhasználása Hollandiában a villamosenergia fejlesztésre

1. A villamosenergia-fogyasztás alakulása

A rendelkezésre álló adatok arra vallanak, hogy a villamosenergia fogyasztás állandóan növekedőben van; átlagosan évi 10 %-kal emelkedett az utolsó öt év folyamán. A becslések szerint a fogyasztás továbbra is fokozódik, 1957-ben az 1955-ös fogyasztás 3 és 1/2-szerese lesz. A közművek energiatermelésére szoritkozva - ez csak 80 %-a az összes termelésnek - az 1955-ös 8 500 millió kWó-val szemben a fogyasztás közel 30 000 millió kWó-ra emelkedik 1975-re. A villamosenergia-szükséglet alakulását figyelembe véve a becslések szerint az 1955-ben rendelkezésre álló kb. 3 000 MW teljesitményü elektromos berendezéseket az elkövetkező 10 évben 7250 MW-al kell emelni. Különböző megfontolások alapján ugy véljük, hogy az energiatermelés ilyenmérvü emelésében az atomenergia felhasználása játssza a legfontosabb szerepet.

2. Az atomenergia felhasználásának müszaki szempontjai

Ma még nem tudjuk pontosan megállapitani, hogy milyen tipusu reaktor felel meg legjobban áramfejlesztési célokra. Éppen ezért helytelen lenne, ha egy bizonyos ti-

pus kifejlesztésére alapoznánk egész hosszu évekre szóló atomenergiaprogramunkat. A gyors müszaki fejlődés ugyanis biztositani látszik, hogy az évek folyamán egyre tökéletesebb és olcsóbb tipusokat dolgoznak ki.

3. Gazdaságossági szempontok

Atomerőműveknél a beruházási költség, a szokványos erőművekkel szemben, legalábbis eleinte, lényegesen nagyobb, az üzemanyagköltség viszont jóval kevesebbnek igérkezik. A költségek alakulására némi tapasztalat áll rendelkezésünkre a külföldön már üzembe helyezett természetes uránium-fütésü, grafittal moderált és gázzal hütött reaktorokkal kapcsolatosan.

Költségbecslés

A fenti tipusu atomerőmü beruházási költsége becslés szerint a szokványos erőmüvek beruházási költségének 2 1/2 - 3-szorosát teszi ki. Ujabb közlemények alapján azonban ez másfélszeresre, vagy kétszeresre csökken majd.

100 MW teljesitményü hőerőmü felépitésének összköltsége mondjuk 60 millió holland aranykorona /Gulden/, egy atomerőmü felépitése viszont 180 millióba kerül. Ebben az összegben azonban nem szerepel a reaktor u.n. első üzemanyagtöltésének költsége, ami - 160 tonna természetes urániumot számitva - kb. 35 - 45 millió holland aranykoronát tesz ki. Ez a beruházási költség azonban a költségszámlában csupán kamataival szerepel.

Ha évi 6 000 órás, bizonyos alapterheléssel való üzemeltetésből indulunk ki, 15 évi értékcsökkenési leirást és 5 százalékos kamattervet véve számitásba, az atomerőműből a hálózatra kerülő 1 kWó-ra eső beruházott költség, az első reaktortöltés árát nem számitva, majdnem 3 cent. Az üzemanyag árából kb. 0.3 - 0.4 cent esnék egy kWó-ra. Ugyanakkor a szokványos erőmüveknél a kWó-ként beruházott

költség csak kb. 1 cent. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy az atomerőműveknél - a tapasztalat hiányában - bizonytalansági tényezőt jelent az élettartam, amely az értékcsökkenés időtartamát adja meg.

A számitásaink alapját képező reaktortipusnál, 25 %-os termikus hatásfok mellett egy tonna urániumból kb. 18 millió kWó elektromos energiát lehet fejleszteni.

Egy 100 MW-os erőmü, amely évi 6 000 órás üzem során 600 millió kWó-t termel, több, mint 33 tonna urániumot használ fel, mig ugyanilyen teljesitményhez egy korszerü, szénnel táplált erőmü kb 1/4 millió tonna szenet éget el.

Amerikai üzemanyagárakkal a számitások alapját képező atomerőmünél az üzemanyagköltség egy kWó-ra számitva 0.7-1 cent. Korszerü szén, vagy olajtüzelésü erőmünél az üzemanyagköltség, alapterhelésü üzemeltetésnél kWó-ként 3 cent.

A rendelkezésre álló adatok alapján a kétfajta erőmü üzemeltetési költsége kb. azonos lesz; azaz: o.4 cent kWó-ként.

Az eddigiek alapján a különféle erőművekkel termelt kWó-kénti önköltségi árat a következőképpen számithatjuk:

	Atomerőmü:	Szokásos hőerőmü:
Tőkehasználati költség	3 cent/kWó	1 cent/kWó
A reaktor kezdeti töltése	0,3-0,4 "	---
Fütőanyag	0,7-1,0 "	3 cent/kWó
Karbantartási és müködési költség	0,4 "	0,4 "
	4,4-4,8 cent/kWó	4,4 cent/kWó

/Euratom számitások szerint a kWó-kénti ár 4,2-5,3 hőerőmüveknél 4,2-4,6 centet tenne ki./ Mindkét önköltségszámitásból természetesen kimaradtak egyes mellékes tényezők, amelyek azonban szintén sulyosan esnek latba.

KFKI 200

A jövőre vonatkozólag minden reményünk megvan arra, hogy az atomerőtermelte villamosság ára egyre csökkenjen. Éppen ezért nem szabad haboznunk, ennek az energiaforrásnak felhasználása tekintetében.

Az árak kialakulásába jobb betekintést nyujt, ha az önköltségi árakat 100 %-nak véve, a különféle részletköltségeket ennek százalékaiként tüntetjük fel.

	Atomerőmü:	Szokásos erőmü:
Tőkehasználati költség:	70	20
Fütőanyag	20	70
Karbantartási és üzemeltetési költség	10	10
	100	100

A költségtényezők alapján az az ésszerü, hogy az atomerőmüveket az alapfogyasztás kielégitésére, a szokványos erőmüveket pedig a csucsfogyasztás fedezésére alkalmazzuk.

Atomerőmü épitési terv

Várható, hogy a közeljövőben a villamosáram szolgáltatást ellátó vállalatok közül egy vagy több megvásárolja az első atomerőmüvet. Ha az épitkezés az előirt ütemben folyik, akkor ez kb. 1962 körül kerülhet üzembe.

Az atomenergia ilyen felhasználására csak fokozatosan történhetik meg az áttérés, mivel az uj technika számos olyan problémát vet fel, amelyek akadályozzák az azonnali gyors áttérést. Ilyenek: a reaktorok gyártása, a hasadóanyag beszerzése, és végül a megfelelő személyzet kiképzése. Ha feltételezzük, hogy 1975-re ezek az akadályok már elvesztik jelentőségüket, bizonyosra vehetjük, hogy ettől az időtől kezdve minden uj áramfejlesztőberendezés atomenergiát fog felhasználni.

KFKI 200

2.számu táblázatunk azt mutatja, hogy lehet megvalósitani az atomerőművekre való fokozatos áttérést.

É v	Az erőművek teljes kapacitása MW-ban	Az atomerőművek kapacitása MW-ban	2 az 1-es oszlop %-aként	Az évente termelt energia 10^9 kWó-ban	Az atomerőművekkel termelt össz. energia 10^9 kWó-ban	5 a 4-es oszlop %-aként
	1	2	3	4	5	6
1956:	3180	-	-	9,2	-	-
1962:	4310	100	2,3	14,2	0,2	1,4
1965:	5090	400	7,9	17,0	2,0	11,8
1970:	6700	1 200	17,9	22,9	6,3	27,5
1975:	8650	3 000	34,7	30,4	15,5	51,0

A közgazdasági miniszter végül arra utal, hogy ez a program elsősorban utmutató jellegü és végrehajtása elsősorban az elektromosipari vállalatokon mulik. A kormánynak mindenesetre jóvá kell majd hagynia az atomerőművek épitési tervét. Ezt annak figyelembe vételével teszi, hogy a tervezett beruházás beilleszthető-e az ország általános villamosságfejlesztési előirányzatába, és megfelel-e a nemzetgazdasági érdekeknek. Ugyanakkor esetleg résztvehetünk egy lehetséges európai atomerőmü-épitési programban.

Tervünket elég hosszu határidőre terjesztettük ki, és tekintetbe véve az időközben várható további müszaki fejlődést, amelyet mindenképpen ki akarunk használni, programunkat ugy fogalmaztuk meg, hogy rugalmas legyen.

Egy atomerőmü felállitásához való hozzájárulásunk esetében igen nagy gondot forditunk majd arra, hogy a lakosság egészségét a legnagyobb mértékben megóvjuk.

Forditotta: Kovács Jenőné

A NUKLEÁRIS ENERGIA JÖVŐJE

II. Genfi Konferencia G/2 általános ülésének jegyzőkönyve

Elnök: Sir John Cockroft

H.J. Bhabha, India /cikkének cime: Tanulmány az indiaifejlesztési programhoz hozzájáruló atomerőről/

Nem olvasom fel az előttem fekvő dolgozatomat, mert az tul sok időt venne igénybe, javasolom, hogy néhány főbb pontban foglaljuk össze a tényeket.

Ez a tanulmány a hagyományos és nukleáris energia forrásainak és szükségleteinek figyelembevételével készült. Mint ahogy azonnal látni fogják, a mi hagyományos energiaforrásaink igen korlátozottak és nukleáris tartalékaink inkább tóriumból állnak, mint urániumból; urániumtartalékaink kisebbek, mint a tórium-tartalékok 10 %-a. A tóriumból rendelkezésre álló tartalékok viszont valóban igen nagyok.

Szükségleteinket lakosságunk lélekszáma, annak szaporodási aránya szabja meg, valamint az a tényező, hogy ezt olyan mértékben kívánjuk fokozni, amely teljesen ésszerü a modern világban.

Jelenleg a lakosság lélekszáma a 400 millió körül mozog, és az elmult évtizedek alatt ez a szám mintegy 1,3 %-kal nőtt évenként. Ezen az alapon a lakosság 1986-ra 500 millió lesz és 2000-ben 680 millió, mindez kb. 40-50 év alatt zajlik le. Még ha ugy is becsüljük, hogy a lakosság nem növekszik ilyen arányban, hanem kisérletek fognak történni a népszaporodás csökkentésére, ami igen bonyolult probléma, hiszen a növekedési arány egyenlő az igen magas születési arány és a szintén eléggé magas halálozási arány

közötti különbséggel, a fentieket figyelembe véve ugy becsülhetjük, hogy az 1986-ra várható lélekszám 500 millió és a század végén a minimális lélekszám 600 millió lesz.

Ezen az alapon kell energia-javaslatainkat a következő 15-20 évre elkésziteni. Ez azonnal egyszerüvé válik, ha az első tételt vizsgáljuk meg.

1.sz. diapozitiv

1951-ben elektromos erőmüveink összkapacitása 1,7 millió kW volt, ez a szám 1956-ban 3,5 millió kW-ra emelkedett, azaz öt év alatt megkettőződött. Ugy véljük, hogy 1961-ig elérjük a 6 900 000 kW-ot. Mi ugy becsüljük, hogy a megkétszerezési idő hosszabb lesz, igy először hat év, aztán nyolc, mire végső célként elérjük az iparositott országok normális tizéves időszakát.

Ezen az alapon az erőmüvek összes teljesitményét 1986-ban 60 millió kW-nak és a század végére 140 millió kW-nak vehetjük.

Bármilyen nagy is ez a szám, az egy főre eső kapacitás mégiscsak 0,23 kW. Ezzel szemben Kanadában 1,0 kW, az Egyesült Államokban 7,2 kW a fejenkénti kapacitás. Ezen a számadaton jól le lehet mérni az energiaprobléma sulyosságát.

Most pedig lássuk, hogy ez a cél a hagyományos energiaforrások segitségével hogyan érhető el. Teljes energiatartalékunk 35 - 40 millió kW, de Indiában az energia egységára az esőzés időszakos volta miatt magas, a drága gátépités miatt. A következő tétel egy vizierőmü költségeit adja. Ez azért fontos, mert ez dönti el a nukleáris energia versenyképességét.

2.sz. diapozitiv

Egy sor létesitmény van jelenleg épités alatt, vagy még tervezik azokat és a táblázat csak a tervszámokat mutatja. Az egyik oszlopból látható a tervezett beruházások kilowattonkénti költsége. Ezek közül néhány kettős rendeltetésü létesitmény; ezeknél a költségeket zárójelben adjuk, mert azoknak csak egyrésze számitható az energia terhére. Mindazonáltal ezeknek a számoknak különleges jelentőségük van, mert annak a beruházásnak teljes költségéről adnak képet, amely szükséges ahhoz, hogy egyáltalán energiát kaphassunk. Egy pillantás a tisztán erőmüjellegü létesitmények adataira, azt mutatja, hogy Indiában a vizienergia kilowattonkénti beruházási költsége 1700-2000 rupia, vagyis valamivel felette van 130 angol font/kW értéknek, és igy azonos szinten mozog, mint a mai nukleáris erőmüvek beruházási költsége.

3.sz. diapozitiv

Ez olyan létesitmény költségét mutatja, amelyet Indiában vagy még épitenek vagy már befejeztek. Elég ha ezek közül egyre összpontositjuk figyelmünket. Ez pedig nem más,mint egy legutóbb befejezett olajmüködésü erőmü, 800 rupia kW-kénti beruházási költséggel. De ugyanazon a vidéken egy széntüzelésü erőmü kW-kénti beruházási költsége 1050 rupia.

Indiában a hőerőmüvek beruházási költsége sokkal magasabb, mint az ugyanilyen jellegüeké bárhol a világon. Tekintettel arra, hogy vizienergiatartalékunk 35-40 millió kW teljesitménnyel ekvivalens, várható, hogy 1986-ra ebből a kapacitásból 50 millió kW-ot lehet majd hasznositani, azaz a teljes vizienergiakészlet 75 %-a felhasználást nyer.

Tulságosan optimista nézet lenne azt jósolni, hogy tekintettel az árára, a vizienergiát nagyobb mértékben fogják hasznositani, hiszen kétségtelen, hogy idővel a vizienergia ugyis drágulni fog.

KFKI 200

Ami a szenet illeti, általánosan ismert dolog, hogy az iparositott országokban a felhasznált fütőanyag /üzemanyag/ teljes mennyisége az erőművek által termelt elektromos kapacitásnak 5 usque 12-szeresét teszi ki! Az Egyesült Államokban ez az arány 12:1, az Egyesült Királyságban 10,3:1, Franciaországban 7,2:1 és Japánban 5,35:1. Ezért, ha idővel el akarjuk érni az 50 millió kW-os elektromos teljesitményt, akkor évente 300-600 millió tonna szénnel egyenértékü fütőanyagot fogunk felhasználni. A kérdés az, hogy vajon a jelenlegi fütőanyagtartalékaink alapján könnyen elérhető-e; ez a tartalék ma kb. 40-120 000 millió tonna szénnel egyenértékü.

4.sz. diapozitiv

A következő táblázat megadja a különböző országok becsült széntartalékait, az évi termelést és egy olyan oszlopot is tartalmaz, amelynek cime "A kimerülés éve", azaz a tartalékokat az évi termelésre osztja fel. Az utolsó oszlop azt mutatja, hogy az illetékes ország behozatalra szorul-e szénből vagy kivitele van belőle? Ezen az alapon láthatják, hogy abban a pillanatban, ahogy a kimerülés bekövetkezését 500 éven belüli időre várják, az illető ország már szenet kezd importálni. Ennek az a magyarázata, hogy egy ország tartalékaival kapcsolatban bizonyos maximális felső határa van a racionális kitermelésnek a jelenlegi technológia mellett. Arra számitunk ugyanis, hogy abban a pillanatban, amikor a széntermelés pillanatnyi sebessége 500 éves kimerülési időtartamot határoz meg, a szénfejtés sokkal nehezebbé és költségesebbé válik.

Ezen az alapon India tervezett 300-600 millió tonnáig terjedő évi széntermelése nagyon igénybevenné széntartalékainkat, és ezután már a további szénmennyiség kitermelése igen költséges lesz. Ezért ugy véljük, hogy 1986-ig kb. 10 millió kW-nyi széntüzelésü uj erőmükapacitást állitunk üzembe. Ehhez évenként 35 millió tonna szenet kell kitermelni,

amely egyébként India teljes évi energiafogyasztásának 10-15 %-át jelenti; ez egyben a rendelkezésre álló szénkészlet helyes kihasználását is megvalósitja.

5.sz. diapozitiv

A következő táblázat azt mutatja, hogy miként tervezzük a kivánt teljes kapacitás szétosztását. Láthatjuk, hogy a kapacitáshiány 1966-ra kb. 1 millió kW és 1986-ra kb. 10 millió kW lesz. Ezt a hiányt véleményünk szerint a nukleáris energia segitségével kell megszüntetnünk.

Az energiatermelő-kapacitás hiányának módját latolgatva, nem szabad elfelejtkeznünk arról, hogy mig tóriumtartalékaink igen gazdagok, addig urániumból igen szerény, mindössze 30 000 tonnás tartalékunk van.

Nukleáris energiaprogramunkat, hacsak nem kivánunk a megindításhoz semmiféle fütőanyagot importálni, akkor a természetes uránium reaktorokkal kell kezdeni. Ezen nem azt értem, hogy semmiféle más tipusu reaktort ne alkalmazzunk, hanem csak megemlitem, hogy mi lenne a fő irányzat. Ezen az alapon egy olyan tipusu természetes uránium-reaktorprogram, amelyet mondjuk az Egyesült Királyságban fejlesztettek ki, kb. 0,4 tonna urániumot fogyasztana évente minden kW-nyi kapacitásra esően. 75 %-os terhelési tényezővel számolva, 1 millió kW-nyi kapacitáshoz évenként 350 - 400 tonna uránium kellene; vagy egy huszéves élettartamu reaktor egész müködési ideje alatt egy millió kilowatt kapacitásra esően 6 500 és 8 000 tonna uránium felhasználását kell számitásba vennünk. Ez abban az esetben, ha csak a normális urániumtartalékokra épitünk, azt jelenti, hogy országunkban a természetes uránium-reaktorok összteljesitménye mindössze néhány millió kW lehet. Ezért azt tervezzük, hogy 1966-ig a természetes urániumreaktorok szolgáltatta energiatermelésünket egy millió kW maximális teljesitményszinten tartjuk, és olyan gyorsan, ahogy csak meg tudjuk oldani, átállunk a tórium-urán ium ciklus alkalmazására.

KFKI 200

Mármost, a természetes urániumreaktorokban egy millió kW-nyi összteljesitmény esetén, - 3000 megawattóra tonnánkénti elégetést feltételezve - uránium-tonnánként 1,2 kg, illetőleg évenként 400 - 500 kg-nyi plutoniumot termelnek.

Ha ezt a plutoniumot nukleáris erőművekben tóriumboritásu reaktorok hasznositják, 0,45 %-os átalakulási arányt és 0,33 megawatt/kg teljesitményt véve alapul - ebbe az 1 kg-ba természetesen nemcsak a reaktorokban levő anyagot, hanem az egész ciklusban levőt is beleértik - láthatjuk, hogy a fütőanyagkészlet összegyüjtéséhez kb. két évre van szükség, amely idő után évenként 180-220 kg U-233-at tudunk termelni. Ha ezt az U-233-tórium-ciklussal dolgozó reaktorokba adagolják, U-233 kg-ként 1,25 megawatt-teljesitménnyel, 1,15 szaporitási tényezővel, az egész készlet évenkénti 1,1-szeres elégési arányával számolva - akkor bevezetett kg-ként 0,165 kg a tiszta hasadóanyag-nyereség, és igy ennek a rendszernek 5-6 év között mozog a hasadóanyag kétszerezési ideje. Emlékezünk arra, hogy az U-233-at még az első generációju reaktorok élettartamára, azaz kb. 20 évre tápláljuk be a rendszerbe, és igy tisztán fizikai alapon is könnyen kiszámithatjuk a kapacitás növekedésének ütemét. Ugy találjuk, hogy ez a növekedési ütem lehetővé teszi, az ötödik év végéig már az 1 600 megawatt nukleáris kapacitás beállitását; a tizedik év végéig pedig már 5 000 megawattét és a tizenötödik év végéig pedig a 12 000 megawattét. Ez megteremti annak lehetőségét, hogy az előző diapozitiven feltüntetett célkitüzést megvalósitsuk. Mindezek alapján Indiában az energiafogyasztás emelkedését,mondjuk 1986 után, tulnyomó részben a nukleáris energiával kellene ellensulyoznunk. Erre az időre ugyanis vizienergia-kapacitástartalékunk 75 %-át már hasznositani fogjuk, és a széntartalékaink igénybevétele pedig eröltetett ütemü lesz.

6.sz. diapozitiv

Most pedig ezen az ábrán vizsgáljuk meg a nukleáris energia költségeit. Feltüntettük egy - mondjuk angol tipusu, KFKI 200

grafitmoderátoru, gázhütéses - nukleáris erőmü költségeit indiai viszonyok között. Figyelembe vettük a számitásnál a mérnöki munkát, a munkások bérét Indiában és azt az eredményt kaptuk, hogy ezen az áron nálunk is lehet grafitot előállitani. Azt látjuk, hogy a beruházási költségek 253 millió rupiát tesznek ki; azaz egy kilowattra esően 1700 rupia vagy 130 angol font. Vagyis egy ilyen tipusu erőmü költségei majdnem ugyanakkorák, mint egy hasonló létesitményé Nagy-Britanniában. Ez egyébként a hagyományos erőművekre is vonatkozik. Egészében ugyanannyiba kerülnek, mint az ezekhez hasonlók Angliában, bár különböző tételek másképpen befolyásolják a költségvetést.

7.sz. diapozitiv

A fenti költségek alapján becslést végeztünk arra vonatkozólag, hogy kb. mennyi lesz a nyert energia beruházási költsége. Ebben az oszlopban egy tényleges széntüzelésü erőmüből nyert villamosenergia költségét láthatjuk, a következő oszlopban ugyanezt egy tényleges olajtüzelésü erőmüre vonatkozóan. Ezek szerint, az előzőekben mutatottak alapján, a nukleáris energia beruházási költsége kilowattonként 1 700 rupia.

Mi a szokásosnál nagyobb összeget számitottunk az urániumért. A táblázatban megadott összegnek több, mint 20 000 font felel meg tonnánként. Mi kétféle urániumár alapján kalkuláltunk. Ezen határok között várható az Indiában előállitható uránium ára. Ezen az alapon a nukleáris energia ára 3,9 - 4,5 századrupia között változik kilowattonként, mig ezzel szemben az olajtüzelésü erőmüveknél 3,9, a széntüzelésüeknél pedig 4,0.

Ebből kiindulva egy megjegyzést kell tennünk. Az elmult 12 évben a szén ára Indiában 50-%-kal nőtt. A számokból azonnal láthatják, hogy a szén árának 20 %-os emelkedése mindjárt sokkal drágábbá teszi a belőle nyert energiát a

nukleáris energia áránál. Igy aztán - legalább is első látásra - feltehetjük, hogy az olyan területeken, amelyek a szénlelőhelyektől távol fekszenek és igy a szén ára magas, ott a nukleáris energia versenyképes.

Nagyarányu ipari fejlesztés tervezésénél az embernek nemcsak erőmüvek beruházási költségeire kell gondolnia, hanem az egész nemzetgazdaság ezzel kapcsolatos beruházásaira is. Igy nemcsak az erőmü költségeit kell figyelembe vennünk, hanem a bányászatra forditott beruházásokat, a szállitás fejlesztéséhez szükséges tőkét, és igy tovább, minden olyan költséget, amely erőmüveink kapacitásának további növeléséhez szükséges. Ezeket mi az indiai viszonyok teljes figyelembevételével készitettük el.

A széntartalékok Indiában egyetlen vidéken helyezkednek el, nevezetesen Kelet-Északkelet-Indiában; az ország háromnegyed részében egyáltalán nincs szén. Ennek a helyzetnek az a kézzelfogható következménye, hogy a szenet a nyugati, északi és déli ipari területekre 700 és 1 500 mérföld távolságról kell szállitani, igy a szén ára meglehetősen magas. De ettől eltekintve, ma az a főprobléma, hogy a szállitás tekintélyes összegü beruházást igényel. Indiában a szénbányászat tőkeköltsége minden kW-erőmükapacitásra esően 126 rupia. Ehhez még hozzájárul az indiai szén minőségének problémája is. A nagytisztaságu kohószén nagyon ritka Indiában és a nemzeti szén-bizottság előirja, hogy az ilyenfajta szenet kohászati célokra kell tartalékolni. A többi szenet szénmosókban kell kezelni és utána lehet csak felhasználni. Igy aztán vagy kalkulálni kell a mosás külön-költségeit is, vagy pedig olyan szénnel kell számolnunk, amelynek energiatartalma mindössze 6000 kalória tonnánként. Igy aztán könnyen megállapithatják, hogy azok a költségek, amelyeket itt megadtam, a szénnel szemben nagyon is a nukleáris energia mellett szólnak.

8.sz. diapozitiv

Most, hogy a szállitáshoz értem, a táblázat a jelenlegi helyzetet mutatja. Ezek itt a táblán India különböző államai. Itt van pl. az az északkeleti állam, amelyben,mint láthatják, az ország szénkészletének 55 % tartaléka található. Egy másik szomszédos államban található még további 25 % és a szénkészlet többi 20 %-a a közvetlen környező államok közt oszlik meg. A jelenlegi termelés 80 %-át ez az elsőként emlitett állam adja és csak 12 % származik a másodikból, mig a többi elenyésző keveset ad. Tehát megállapitható, hogy mire a szén Bombay vagy Ahmedabad ipartelepeire kerül, 1500 mérföldet utazik vasuton. Ugy véljük, hogy minden egyes millió kilowatt energiához a teljes tőkeberuházás kb. 1600 millió rupia, vagyis más szavakkal az egy kilowattra eső beruházási költség 1600 rupia. Ha most ezt összevetjük az ugyanilyen kapacitásu nukleáris energiaforráshoz szükséges kb. 2200 millió rupiányi tőkeberuházási költséggel, akkor megállapithatjuk, hogy utóbbi még mindig 50 %-kal magasabb.

Idővel azonban a programnak egy magasabb fokát is elérjük - és ezzel kapcsolatban nem volna célszerü részletekbe bocsátkoznom, mert biztos vagyok abban, hogy amit most mondok, az öt év alatt megváltozik. Már az eddig elmondottak alapján is várható, hogy a nukleáris energiakapacitás fejlesztése kilowattonként 1400 rupiába kerül, ezzel szemben a széntüzelésü erőmüvek beruházási költsége továbbra is a jelenlegi 1600 rupia/kW alapon marad. A termelt villamosenergia ára 2,6 századrupia lesz a jelenlegi 4 századrupiás kilowattóránkénti árral szemben. Röviden ez az alap, amelyből elindulva energiaprogramunk megvalósitásához kezdünk.

Csak annyit kell még hozzátennem, hogy bár nem végleges a tervünk, a harmadik program során előállitandó energiát illetően mégis született egy döntés: 1966-ig legalább egynegyed millió kilowatt kapacitásu nukleáris energiaforrást kell üzembe állitanunk.

KFKI 200

Alonso /Kuba/:

Nem kérdést teszek fel, hanem inkább megjegyzést szeretnék füzni Dr.Lewis munkájához, melyben kifejti, hogy a következő évtizedben már meglesz a lehetősége annak, hogy egyes atomerőművek gazdaságosan müködjenek, amint azt Dr. Bhabha is emliti India atomenergiahelyzetére vonatkozólag.

Örömmel használom fel az alkalmat annak közlésére, hogy tüzetes - részben technikai, részben gazdaságossági - vizsgálatok eredményeként a Kubai Gazdaság- és Társadalomfejlesztési Nemzeti Bank két hónappal ezelőtt jóváhagyta egy atomreaktor épitésének tervét, tekintettel arra, hogy Kuba nyugati vidékén a fütőanyagok ára magas és az energiatermelési lehetőségek igen korlátozottak, ugyhogy az atomenergia ezen a vidéken minden valószinüség szerint gazdaságos lesz. Ez a reaktorterv egy részét képezi egy több mint 15 millió dolláros villamositási tervnek, melyet ezen a vidéken szándékozunk megvalósitani. A reaktor épitésére vonatkozó tárgyalások már befejeződtek, s reméljük, hogy 1961-ben vagy a következő évtized elején a reaktor már müködni fog, s bebizonyosodik, hogy az atomenergia elő fogja tudni segiteni legalábbis az emberiség egy csoportjának gazdasági fejlődését és jólétét.

Mr.Eklund:

Mr.Davishez, az Egyesült Államok küldöttéhez van egy kérdésem. Eddig, mint Ön mondja, egyetlen reaktortipust sem ejtettek még el azon a cimen, hogy a megfelelő reaktorkisérlet megépitése vagy müködése során nem bizonyult volna kielégitőnek.

Emellett jelenleg további sokatigérő tipusokat is épitenek. Vajon lesz-e vége egyszer ennek a tipus-keresésnek? Mikor és hogyan szükitik le a vizsgálandó területet? Melyik volna a legbölcsebb követendő eljárás olyan országok számára, ahol korlátozott tőkével rendelkeznek.

Mr.Davis /Egyesült Államok/:

Meglehetősen hosszu kérdés. Ugy vélem, hogy már megközelitjük azt a pontot, ahol bizonyos tipusu reaktorokat, ha azok már tul vannak a reaktorkisérlet stádiumán, alkalmatlannak lehet minősiteni. Még igen sok nem érte el ezt a pontot. Los Alamosban folyik bizonyos kisérleti munka, amely ennél a pontnál,ugy látszik, nem nagyon megy tovább. Ez példát szolgáltat olyan esetre, amikor még néhány idevonatkozó reaktor-kisérleti munka után a tipust végleg el lehet ejteni. A kisérletek száma egyébként nem tulságosan nagy azon sokféle lehetőséggel összehasonlitva, amelyekre a reaktort használni lehet. Igy aztán szükséges a kisérletek folytatása, hogy a különböző esetleges rendeltetések szempontjai mind sorrakerüljenek. E kisérletek nem vezetnek szükségszerüen nagy számban a kérdéses tipus elejtéséhez.

Arra a kérdésre vonatkozólag, hogy mit tegyenek azok az országok, amelyeknek nincsen meg az anyagi lehetőségük, hogy ilyen kisérleti munkát folytassanak, egyetlen logikus válasz az, hogy vagy dolgozzanak együtt egymással,vagy pedig társuljanak olyan országokkal, amelyek megfelelő lehetőségekkel rendelkeznek. Valószinü, hogy az elkövetkezendő években ez egyre inkább alkalmazott eljárás lesz.

Mr.Balke /Német Szövetségi Köztársaság/:

A nukleáris energia problémájának fejlődését a Német Szövetségi Köztársaságban a következőkben lehet összegezni. Először a nukleáris energia rendszeres kutatása és fejlesztése csak 1955-től indult meg, és az szigoruan csak a békés felhasználásra korlátozódik. Másodszor, hogy ezen a téren megfelelő szilárd alapot teremtsünk a további kutatásokhoz, munkánkat a kutatásra, a személyzet kiképzésére és több kutatási berendezés megépitésére összpontositottuk. Máig három kutató-reaktor müködik, és a negyedik néhány héten belül eléri a kritikus állapotot. Kettő uszoda-tipusu és kettő vizforraló tipusu - amerikai tervezésü. Két angol tervezésü

kutatási reaktor - egy Merlin és egy Dido mintáju - épités alatt áll. A karlsruhei Kutatási Központban egy további reaktor teljesen német felfogás szerint épül. Ez a természetes uránium-reaktor a széleskörü kutatási és anyagvizsgálati célokra igen megfelelő lesz. 1959 közepére várható a kritikus állapot elérése.

Harmadszor: körülbelül két évvel ezelőtt kezdődött meg az energia-reaktor terveinek kidolgozása. A mi kielégitő energiaellátottságunk következményeként nem nagyon éreztük szükségét egy azonnali teljesméretü nukleáris erőmü épitésének. Jelenleg néhány ipari társaság, részben külföldi cégek bevonásával, a következő tipusok tervezésével foglalkozik: először gázhütéses, grafitmoderátoru reaktor, természetes uránium fütőanyaggal. Másodszor egy nehézvizzel moderált és hütött urániumreaktor tipusa. Harmadszor: vizmoderátoros, vizhütésü enyhén dúsitott urániummal müködő reaktor. Negyedszer: módositott tervezésü gázhütésü, nagyhőmérsékletü reaktor, melyhez dúsitott urániumot használnak. És ötödször: szerves hütésü, nehézvizmoderátoru reaktortipus. Előreláthatólag 1965-ben már müködni fognak e nehézviz/szerveshütőközegü reaktorok, egyenként kb. 100 MW elektromos kapacitással. Továbbá megfontolás tárgyát képezi két vagy három kisérleti reaktor. A német közmüvek egyike már rendelt egy 15 MW-os elektromos kapacitással biró vizforraló reaktort. Ezenkivül tervbe vettük a sugárzási kémiai kutatások kiterjesztését is a reaktorok belsejének erős aktivitása, ill. a kiégett fütőanyag radioaktivitásának felhasználásával. Véleményünk szerint ennek a tervnek sikere nemcsak uj távlatokat nyit a kémiai eljárások fejlődése terén, hanem bizonyos értelemben a nukleáris energia gazdaságosságához is hozzájárul majd.

Végül fejlesztési programunk vázlatát összefogva, különösen nagyrabecsüljük a nemzetközi együttmüködést. A

tudományos és müszaki értesülések kicserélése és a két vagy többoldali egyezmények alapján történő különleges anyagellátás jelentős segitséget ad saját erőfeszitéseink megvalósitásához, és növekvő tapasztalatunkkal - ez leghőbb vágyunk - az őszinte nemzetközi együttmüködés szellemében mi is hozzáadjuk tudományos eredményeinket a nukleáris energia békés felhasználásához.

M.Angelini /Olaszország/:

Olaszországban a magánvállalatok és az állami érdekeltségü vállalatok gazdaságossági kereteken belül és az Euratom-szerződés irányelveinek megfelelően érdeklődnek az atomenergia békés felhasználása iránt.

Ezzel kapcsolatban a kormányszervek most tanulmányozzák egy idevonatkozó törvényjavaslat benyujtását. Többszörösen tárgyalták ezt a javaslatot különösen abból a szempontból, hogy meddig terjedjen az állami ellenőrzés és melyik legyen az a terület, amelyen az ipart és melyik az, amelyen az államot illesse a kezdeményezés joga.

Az olasz kormány a szakemberek és tudósok javaslata alapján magára vállalta, hogy az elkövetkező években az atomenergia felhasználására megtegye a kezdeményező és előkészitő munkálatokat.

A program első szakasza 1952-ben, az Országos Atomkutatási Bizottság megalakitásával vette kezdetét, amely kutatási területen az ország legképzettebb tudósai és müszaki vezetői közül többnek a közremüködését sikerült biztositani.

A Bizottság inditotta el mind az alapvető elméleti kutatást, mind a meghatározott célra irányuló ugynevezett alkalmazott kutatást. Most azon dolgozik, hogy bizonyos akadémikus tevékenységeket előmozditson és összehangoljon, ugyanakkor pedig megfelelő személyzetet oktasson és képezzen ki az atommagtechnika terén részben az elméleti kutatás továbbfejlesz-

tésére, részben azért, hogy a megvalósitandó, az atomenergia felhasználására szánt létesitmények felépitésében és kihasználásában közre tudjanak müködni.

Egyidejüleg a Bizottság a következőket kivánja elinditani és elősegiteni:

1./ Biztonsági kérdések tanulmányozását a Közegészségügyi Intézettel együttmüködésben különösen egészségvédelemre vonatkozó vizsgálatokkal.

2./ Geológiai vizsgálatokat és feltárási munkát uránium és egyéb, az atomenergia fejlesztésével kapcsolatban érdekes fémek felkutatására.

3./ Az első, már felépitett, vagy megvalósitás előtt álló energiafejlesztési szempontból érdekes reaktortipusok tanulmányozását.

Jelen konferencia első ülése óta a Bizottság rendelkezésére álló kisérleti eszközök száma jelentősen megnövekedett. Néhány hónap mulva befejezést nyer az Ispra-ban Milano mellett felállitandó CP-5 kisérletezési reaktor épitése.

Tekintettel előadásunk tárgyára, itt nem térünk ki az országos magfizikai kutatóintézetünkben folyó alapvető elméleti kutatómunkára.

Az Atomkutatási Bizottsággal történő tanácskozások eredményeképpen a kormány az Egyesült Államok és Nagybritannia kormányával hasadó fütőanyag szállitására vonatkozó szerződéseket kötött. Ezeket a szerződéseket azután beépitették abba a megállapodásba, melynek alapján Olaszország résztvesz az Euratom-ban.

Mindeddig még semmiféle atomenergiát felhasználó létesitmény nem valósult meg Olaszországban. Azonban ilyen tervezetekkel foglalkozunk és a kérdés erősen közeledik a dön-

tés felé mind a magánipar, mind az állam és az állami érdekeltségü vállalatok vonalán.

Ezek a programok, melyekről most röviden beszélünk, összeségükben 900 MW teljesitményt szolgáltató erőmüvek felállitását irányozzák elő. Ha felidézzük az 1955. évi konferenciáról Giordani professzor /Bizottságunk volt elnöke/ fejtegetéseit arra vonatkozólag, hogy Olaszország szokványos erőforrásai mennyire nem kielégitők Olaszország jövőbeni energiaigényeinek fedezésére, akkor ugy találjuk, hogy ez a program nem is valami nagyratörő.

Most pedig ismertetjük annak az 5 olasz vállalatnak a programját, melyek atomerőmüvet szándékoznak felállitani:

1. A SELNI /Olasz Elektronukleáris Társaság/ mely többségében az Edison magáncsoport tulajdonában van, Északolaszországban vezető energiatermelő vállalat. Ez a társaság megállapodást kötött az amerikai Westinghouse vállalattal egy viznyomásos 135 MW elektromos teljesitményü reaktort használó erőmü felépitésére vonatkozólag.

2. A SORIN /Atomenergiakutató és Fejlesztő Társaság/ két jólismert olasz iparvállalat részvételével alakult. Ezek: a vegyipari cikkeket gyártó Montecatini és a különösen autógyártással foglalkozó Fiat Müvek. Ez az uj társaság Északolaszországban az atomenergia gyakorlati felhasználását kutató központot állit fel, uszoda-tipusu reaktorral és több fizikai és metallurgiai laboratóriummal. Ez a kutatóközpont, mely egyuttal megfelelő technikai személyzet kiképzésére is szolgál, két atomerőmü létesitésének tervét tanulmányozza, melyek közül az egyikben természetes uránium-fütésü reaktor, mig a másikban dúsitott urániumreaktor termelné az energiát. Ennek a programnak a megvalósitása azonban csak akkor válik majd esedékessé, amikor az atomerővel termelt energia költsége versenyképessé válik az azonos teljesitményü szokványos erőmüvek által termelt energiával szemben.

KFKI 200

3. Az AGIP, mely az ENI csoportosuláshoz tartozó vállalat. Laboratóriumokat és müszaki irodákat létesitett az atomenergia felhasználására irányuló berendezések tanulmányozására és megvalósitására. Az AGIP szerződést kötött az angol atomenergiabizottsággal, melynek értelmében egy angol magánvállalat a Nuclear Power Co. természetes urániummal fütött reaktorokat épit Olaszország számára. A szerződés keretében épülő reaktorokból az első az AGIP társaságé lesz.

4. SIMEA /Délolaszországi Atomenergia Társaság/, melynek legnagyobb része ugyancsak az ENI-é. Ez a vállalat Latina-ban, Rómától néhány tiz kilométernyi távolságban, szándékozik egy 200 MW-os atomcentrálét épiteni. Ennek üzembehelyezése 1962-ben várható. SIMEA is Angliával kötött szerződést az atomerőmü felállitásához szükséges alkotóelemek behozatalára.

5. A SENN /Olasz Elektronukleáris Társaság/. Ezt a vállalatot az olasz kormány bizta meg Délolaszországban egy 150 MW teljesitményü atomüzem felállitásával, melyet egy "Progetto ENSI" elnevezésü szervezet fog megvalósitani az Országos Atomenergiabizottság és az International Bank for Reconstruction and Development felügyelete mellett.

A "Progetto ENSI"-t a World Bank atomenergiaügyi müszaki tanácsadójának, Corbin Allardice-nak, egy tanulmánya inditotta el, mely egy az atomenergia müszaki fejlődésének mai fokán gazdaságilag életbevágóan fontos felhasználási lehetőségéről szólt.

Jelen konferencián a "Progetto ENSI-t és annak fejlődését két tanulmány ismerteti; az elsőt Allardice és prof. Ippolitó, a másodikat pedig Matteini professzor a SENN elnöke és munkatársai állitották össze.

A szept.4-i ülésen Allardice a "Progetto ENSI" nemzetközi irányitószervei összejöveteleinek eredményeként adó-

ió lehetőségeket ismerteti. Ezen az összejövetelen ennek a tervezetnek egyéb részletei is megvitatásra kerülhetnek.

Ishikawa /Japán/:

Bemutatom a Japánban alkalmazandó atomerő-reaktorok távlati tervezésének rövid leirását.

Bár Japánban a nukleáris tudomány kezdetének időpontja a háboru előttről számitható, az atomenergia békés felhasználásához való hozzájárulás igazi kezdete 1954. Az Atomerő Bizottságot 1956. januárjában alakitották meg, azután egy egész sor, atomenergiával foglalkozó törvényt hoztak.

Az atomenergiakutatás és -fejlesztés munkájának jobb megszervezése érdekében létrehozták a Japán Atomenergiakutató Intézetet /Japan Atomic Energy Research Institute/ a Nukleáris Fütőanyag Társaságot, majd a Nemzeti Radiológiai Intézetet. A programban ezeken kivül résztvesznek más országos kutató intézetek, egyetemek és magán iparivállalatok is. A mult novemberben alakult meg a Japán Atomfejlesztési Társaság, azzal a céllal, hogy Japánba nukleáris erőmüveket importáljon és üzemeltessen.

Az Atomerő Bizottság legutóbb teljesitményreaktorok fejlesztésére távlati tervet dolgozott ki. Az itt bemutatott dolgozatban ennek a tervnek körvonalait adjuk meg. Ez a terv - bár tapasztalataink bővülésével még módositások is várhatók rajta - a teljesitményreaktorok technológiájának bevezetéséhez és fejlesztéséhez utmutatóként szolgál majd.

Az energiaszükségletről röviden szólva, a mi hazai széntermelésünk nem elégiti ki a hazai igényeket, és a nyersolajszükségleteknek csak alig egy-két százalékát fedezi a hazai termelés.

1956-ban az energiaszükséglet 108 millió tonna szénnel volt egyenlő; ennek 23 %-át külföldről kellett behozatni. 1957-ben a teljes energiaszükséglet 271 millió tonna szénnel lesz egyenlő, amelynek már 48 %-át kell majd importálni. Az elektromos energiaszükséglet 1956-ban 60 milliárd kilowattóra volt, ez a szám 1975-re 185 milliárdra, azaz a jelenlegi szinvonal háromszorosára fog nőni.

Azért, hogy ez az állandóan növekvő elektromossági igényt ki lehessen elégiteni, 23 millió kW kapacitásu uj vizierőművet és 18 millió kW teljesitményü hőerőművet kell meginditani, és erőmü-fütőanyag céljára 45 millió tonna szénnel egyenlő anyagot kell felhasználni. A fejlettebb tipusu nukleáris erőművekben a termelt elektromos energia ára jelenleg ugy alakult, hogy egyenlőnek tekinthető a Japánban alkalmazott uj széntüzeléses erőművekével. Ezért elhatároztuk, hogy minél előbb alkalmazni fogjuk az atomenergiát a célból, hogy ennek segitségével 1965-ben már 600 000 kW-nyi és 1975-ben pedig már 7 millió kilowattnyi elektromos teljesitményt érjünk el.

A reaktor tipusát tekintve a távlati atomenergiafejlesztési terv során elsősorban a természetes urániumfütésü grafitmoderátoru, gázhütéses teljesitményreaktorok és a dúsitott urániumfütésü, vizhütéses teljesitményreaktorok jönnek számitásba. Végső célunk - az üzemanyagciklus jövő gazdaságosságát figyelembevéve - a szaporitótipusu teljesitményreaktorok kutatása és fejlesztése. Továbbá rendkivül nagy érdeklődést tanusitunk a fuziós reakciók felhasználási lehetősége, mint a jövő energiaforrása iránt is.

A nukleáris fütőanyagból az évi szükséglet 1975-ben - durván számitva - 3000 tonna természetes uránium lesz. A becslések szerint a hazai urániumtermelés évente kb. majdnem 200 tonna, és bár ezt a jövőben növelni fogjuk, mégis nagymennyiségü nukleáris fütőanyagnak behozatalára van szükségünk.

E tervnek megvalósitásához szükséges pénzügyi fedezet előteremtése jelenti a másik problémát. Elképzeléseink szerint a nukleáris erőmüvek és a hagyományos hőerőmüvek beruházási költségei között a jövőben nem lesz nagy különbség. Jelentős devizamegtakaritás várható azonban, ha az importált kőolaj költségeit összehasonlitjuk a pótlására szükséges fütőanyag költségeivel.

Röviden körvonalaztam a dolgozatot, amelyet az értekezletnek bemutattak, nagyon boldog lennék, ha az Önök véleményét is hallhatnám erre vonatkozólag.

P. Schierbeek /Hollandia/:

Önök előtt fekszik az a program, amelyet 1957 juliusában nemzetgazdasági miniszterünk mutatott be parlamentünknek az atomenergia felhasználásáról.

Alá kivánom huzni, hogy ez a tervezet igen rugalmas és kisérleti jellegü. Elsősorban a villamosenergia-termelők számára szolgál irányelvül, akik végrehajtásáért egyedül lesznek felelősek. Erre azonban csak akkor kerül sor, ha ők már ugy látják, hogy az atomenergiából nyert villamosenergia versenyképes a hagyományos módon előállitott energiával.

Mint ahogy a dolgozatokból megállapithatják, 1955-ben teljes hazai energiafogyasztásunknak csak 53 %-át tudjuk saját forrásainkból előállitani, és ez a szám a becslések szerint 1960-ra 45 %, 1975-re pedig 33 %-ra csökken majd.

Az Európai Gazdasági Bizottság szervezetében levő országoknál ez a szám 80, 77, ill. 63 %, az Acél- és Szénközösségben pedig ugyanez 77, 67, ill. 60 %. Ugy vélem, hogy ezek a számok világosan mutatják, milyen távol áll az energiahelyzetünk attól, hogy kedvezőnek mondhassuk.

Atomenergiaprogramunk szerint azt reméljük, hogy 1975-ben villamosenergiatermelésünk 50 %-át nyerjük majd nukleáris uton és ez az akkori teljes elektromos energia-

termelő kapacitásunk 35 %-át jelenti majd. A nukleáris forrásokból nyert elektromos-termelés ekkor teljes energiafogyasztásunk 15%-át fedezi majd. Mégis ekkor egész energiaszükségletünk 52 %-át import utján kell fedeznünk, szemben az 1955-ös 47 %-kal. Ez azt jelenti, hogy 1975-ben a fütőanyag-import szinvonala 10 millió tonna szénnel lesz egyenlő, amely magasabb, mint az 1955-ös, és a fütőanyag-import stabilizálást még mindig nem érték el.

Mivel mi csak akkor kivánunk elektromosságot előállitani a nukleáris energiaforrásokból, ha az versenyképes lesz a hagyományos módon fejlesztettel szemben, igen örvendetes volt számunkra, hogy költséganalizisünk a nukleáris erőmünél 12-13 mill-es árat eredményez kW-ként /a számitásokat egy gázhütéses, grafitmoderátoru természetes uránium üzemanyagu reaktorra végeztük el/, szemben a modern széntüzeléses erőmü 12 mill/kW-os egységárral.

Az 1957 elején végzett gazdaságossági számitások alapját a nukleáris erőmüvek 475 US dollár/kW-ra becsült beruházási költsége és a szén 20 US dollár/tonna ára szolgált alapul. Nagyon érdekes, hogy a szén világpiaci ára ebben az évben 14 US dollárra csökkent, mig a nukleáris erőmüvek beruházási költsége becslések szerint 370 US dollár/kW lett. Ezeket a számokat figyelembevéve, a mi költséganalizisünk szerint a nukleáris erőmüvek kb. 10-11 mill-ért /a dollár ezredrésze/ termel 1 kWó elektromos energiát, ezzel szemben a hagyományos erőmüvekben termelt áram ára 10 mill/kWó.

Most már a mi elektromosságot előállitó szerveinken áll - 80 %-uk közmü-jellegü - annak eldöntése, vajon egy tetszésük szerint legjobbnak tartott nukleáris erőmü gazdaságosan termel-e villamosenergiát.

Ami a jövő fejlődését illeti, becsléseinket arra alapozzuk, hogy a beruházási költség az 1962 - 1965-ig terjedő

időszakban kialakuló 475 US dollárról az 1965-1970 között 395 US dollárra csökken, és 1970-1975 között eléri a kW-kénti 320 US dollárt. Ugyanebben az időszakban a teljes elégés a becslések szerint uránium-tonnánkénti 3000 MW-ról 5000 ill. 9000 MW-napra növekszik, amivel együttjár az, hogy a fütőanyagárak kiszámitásánál a plutonium-hitel ezzel forditott arányban fog csökkenni. Az uránium-tonnánkénti kapacitás mai vélemények szerint 2 1/2 MW-ról 5-7 MW-ra növekszik.

Dr.Pawel Nowacki professzor /Lengyelország/:

Elnök ur, annak a szerepnek, amelyet a nukleáris energia fejlesztése játszik majd a következő két évtizedben Lengyelországban, van néhány jellegzetessége. Lengyelországnak gazdag széntartalékai vannak, és igen jelentős lignitkészlettel is rendelkezik. Ezek a tartalékok lehetővé teszik számunkra, hogy egészen 1975-ig kielégitsük Lengyelország által fogyasztott évi 146 millió tonna szén, ill. 50 millió tonna lignit szükségletet. Az olaj nem jöhet számitásba, mert országunknak nincs ilyen fütőanyaga.

Ami a földgázt illeti, ezen a téren a legutóbbi idők óta biztató kilátásaink vannak, a földgázt azonban jelenleg még nem tekinthetjük villamosenergia termelésére alkalmas fütőanyagnak. Igen szerények a vizienergia-készleteink, és ezeknek teljes felhasználása is csak igen szerény, 13 milliárd évi kW-ot adna, szemben azzal a tétellel, hogy 1975-ben a villamosenergia termelése 85 milliárd lesz.

Más oldalról Lengyelországnak elegendő urániuma van ahhoz, hogy egy aktiv nukleáris energiaprogramot inditson meg.

Két fontos problémát kell megoldani: az egyik, helyesen kell megválasztani azt a pillanatot, amikor a nukleáris erőmüvek megkezdik müködésüket; a másik, a nukleáris

erőmükapacitás alakulását az idő függvényeként kell előre meghatározni.

Lengyelországban elméletileg az elkövetkezendő husz év folyamán, a széntermelés eröltetésével, el lehet tekinteni a nukleáris program bevezetésétől, de gyakorlatilag több korlátozással kell számolni.

1/ A szénbányák kiaknázásának jelenlegi ütemét nem lehet korlátlanul növelni, mivel millió éveket vesz igénybe, hogy a Nap energiája szénné alakuljon át.

2/ Igen határozott irányzat mutatkozik arra is, hogy a szénbányászat költségei - a növekvő bérek, beruházási költségek és a mélyülő aknák miatt emelkedni fognak.

3/ Időre van szükség, hogy uj bányákat nyissanak meg, és a régieket modernizálják.

4/ Lengyelország szénbányái a sürünlakott sziléziai vidéken helyezkednek el, gazdag acél- és vegyiparral egyetemben, ezért a munkaerő-lehetőségek is korlátozottak, valamint a felszinre szállitási és elszállitási problémákkal is számolni kell

5/ Azt is figyelembe kell venni, hogy Lengyelország mint szén-exportőr meg akarja a jövőben is tartani szerepét a világban.

A lengyel energiaprogram számára igen veszélyes kockázatot rejtene magában az a tény, ha további összes beruházásait teljesen egyoldaluan a gőzenergiával müködő hagyományos erőmüvekre alapozná, és tüzelésre belátható időn belül kizárólag ezt az értékes szenet használná fel.

Az eddig elfogadott elvek szerint - ezek 1975-től lépnek életbe - már nem épitenek hagyományos erőmüveket, csak nukleárisokat.

Ennek a célnak biztositása érdekében a nukleáris erőmüvek összes kapacitásának 1975-ben 1600 és 2000 MW között kell mozognia.

1965-ig az első 200 MW kapacitásu erőmünek meg kell kezdenie müködését. Ennek a kapacitásnak 1970-ig fel kell emelkednie 800 MW-ra. Ugy gondoljuk, hogy ezen erőmüreaktorok első sorozata természetes urániummal, grafitmoderátorral és gázhütéssel müködő tipus lesz, ez a tipus felel meg ugyanis a legjobban természetadta lehetőségeinknek.

Azt várjuk, hogy ez a tipus 1965-ig versenyképes lesz a hagyományosokkal, és reméljük, hogy a mi körülményeink között a jövő nukleáris erőmüvei még versenyképesebbek lesznek, mint a hagyományos tipusok. Ez pedig annak köszönhető, hogy fejlesztésének területén az elmult 15 év folyamán az ipari fejlesztés olyan szorosan követte nyomon a tudományos kutatást, hogy erre még soha nem volt példa semmiféle technológia vagy uj technika történetében.

J.V. Otero Navascues /Spanyolország/:

Spanyolország 1940 óta iparosodás terén nagy lépésekben haladt előre s a fejlődés ritmusa egyre gyorsabb. Ezt tükrözi az elektromos energiatermelés állandó emelkedése. 1957-ben a fogyasztás némileg meghaladta a 15 000 millió kilowattórát; a fogyasztás átlagos emelkedése az utóbbi 11 évben 8,6 %, az elmult öt év átlagára vonatkoztatva azonban 10 %-os az emelkedés.

Spanyolország villamosenergia-szükségletének legnagyobb részét hagyományos alapon, vizienergiaberendezésekkel állitja elő, és csak a legutóbbi években került sor hőerőmüvek felállitására, de a fogyasztás 73 %-át ma mégis vizienergiából állitjuk elő. Ez azt jelenti, hogy az energiaellátás nagy mértékben függ az időjárási viszonyoktól, és igy csapadékszegény években a vizienergia termelés 20 %-kal csökkenhet.

Energetikai tartalékainkat felmérve arra az eredményre jutottunk, hogy vizi erőművekből nyerhető energiából évi 44 milliárd kilowattóra, hőerőművekből pedig 8 milliárd kilowattóra áll rendelkezésre.

Eddig a vizierőművekben előállitott kilowattóra ára alacsony volt, a hőerőművekben termelt kilowattóra pedig a fütőanyag ára miatt drága. A fütőanyag ára, amennyiben hazai fütőanyagot használunk, 7 - 10 tized-dollárcenttel szerepel kilowattórányi elektromos energia előállitási költségében; ha importált - akár folyékony, akár szilárd - fütőanyagot használunk, 6 - 8 tized dollárcent kilowattóra lesz a fütőanyag tétel a teljes előállitási költségben.

Ilyen körülmények között a nukleáris villamosenergia nálunk sokkal előbb fel fogja tudni venni a versenyt a bányászott fütőanyagot tüzelő hőerőművekkel, mint az Amerikai Egyesült Államokban és Kanadában, ahol ugy vélekedtek, hogy a még épités alatt álló nagy atomerőművek, - annak ellenére, hogy a fütőanyagot importálják, - előnyösebbek, mig az erőműveknek az a sorozata, mely jelenleg még szerkesztés vagy tervezés alatt áll, a devizaigényesség miatt valószinüleg veszteni fog versenyképességéből, amennyiben beigazolódnak a jelenlegi jóslatok és a harmadik reaktor generációra nézve biztosra vehető, hogy az atomerőművek mind devizakiadás, mind általános gazdaságosság szempontjából előnyösebbek lesznek.

Hogy energiahiányunkat fedezzük, 1972-ig évente egymillió kilowatt atomenergiát kell beinditanunk, ami 400 millió dollár kiadást jelent. 1977-ig évente 2,2 millió kilowatt atomenergiát leszünk kénytelenek beinditani, évi 880 millió dollár költséggel.

A nemzeti jövedelem szembe tud nézni ezekkel a kiadásokkal, a külkereskedelem azonban nem, mivel 1972-ben előreláthatólag csak 1010 illetve 1977-ben 1330 millió dollár devizakeret fog rendelkezésére állni, és ennek valószinüleg

csak 4 %-át költhetnénk atomerőmü berendezések vásárlására; Spanyolország tehát arra a következtetésre jutott, hogy s a j á t atomipart fog kiépiteni, hogy energiaszükségletét a nukleáris fütőanyag segitségével megoldhassa.

Az 1951-ben létesült Atomenergiabizottság e problémák megoldása céljából három irányban látott munkához: alapanyag-felkutatás, technikai eljárások meghonositása és az ehhez szükséges személyzet kiképzése.

1951-től 1958-ig egymillió tonna urániumércet kutatott fel, melynek urániumtartalma 1 és 3 ezrelék között változott; tiszta urániumsókat állitott elő; 1953-ban üzembehelyezett egy vegyi fémfeldolgozó kisérleti üzemet; 1957-1958 folyamán egy fütőanyag "tokozó" /canning/ üzem létesült és most fog elkészülni Andujar-ban egy napi 200 tonna kapacitásu érckoncentráló üzem, melynek méretezése azonban ezer tonnára is elegendő lesz, ha majd a bányák többet tudnak szállitani. Az év végén indul meg egy kisebb nehézviz-előállitó ipari üzem. Ezt a periódust az Atomenergia Bizottság madridi központjában felállitott 3000 kilowatt hőteljesitményü "uszoda" tipusu reaktor november hónapban történt üzembehelyezése fogja lezárni; a reaktort az amerikai General Electric Company és az Egyesült Államok Kormányának közremüködésével épitettük, mely utóbbi a segélynyujtási program keretében 350 ezer dolláros kölcsönnel járult a reaktor felállitásához.

A fenti időszakot összefoglalva azt mondhatjuk, hogy költségvetésünk elérte az évi 8 millió dollárt, személyzetünk létszáma: 230 mérnök, vagy egyetemi végzettségü és 1200 különböző technikus.

A kormány jelenleg egy hat éves program felállitását tervezi, melynek főbb célkitüzései közé tartozik egy kettős rendeltetésü reaktor épitése; ugy gondoltuk ugyanis, hogy fütőanyagainknak a reaktorban történő technológiai vizs-

gálatát összekapcsolhatjuk 20 000 kilowatt elektromos energia előállitásával, s e reaktorra vonatkozólag az amerikai Atomics International-lel közösen folytatunk vizsgálatot. - Egy az Andujar-i fémkoncentráló telepet kiegészitő ipari fémfeldolgozó üzem, valamint a fütőelemgyártás ipari szinten való meginditása lesznek az Atomenergia Bizottság további fontos programpontjai ebben az időszakban. Erre a programra 60 millió dollárt irányzunk elő.

Az Atomenergia Bizottság célja elősegiteni Spanyolországban az atomenergiaipar kialakulását; enélkül, amint már mondottam, nem tudnánk felállitani azokat az erőműveket, melyekkel energiaszükségletünket kielégithetjük. Másfelől az Atomenergia Bizottság számit arra, hogy ezeknek az atomerőműveknek létesitése és üzemeltetése a magán- és állami iparvállalatokat is érdekeltté teszi; már három ipari csoport létesült Spanyolországban atomerőművek épitésére; ezek üzembehelyezése 1965-1966-ra várható, éspedig ugy, hogy épitésüket akkor kezdik el, midön az Atlanti Oceánon innen és tul épülő atomerőművek üzemeltetéséből az első tapasztalatokat már levonhatjuk.

Az emlitett három csoport a következő: az INI-állami; a NUCLENOR csoport, mely Észak-Spanyolország villamosenergiatermelő vállalatait foglalja magába, és az Ebro felső szakaszán egy 220 000 kilowattos erőművet fog felállitani; a CENUSA közép- és délspanyolországi vállalatokat egyesit, és Közép-Tajoban egy 200 000 kW-os erőművet fog épiteni.

Ezeknek az erőműveknek tipusa és jellegzetességei még nincsenek eldöntve, megvárjuk a most épülő erőműveknél adódó tapasztalatokat.

Spanyolország az atomenergia terén létfontosságunak tartja a nemzetközi együttmüködés kifejlődését; ezzel a meggondolással kötött kétoldalu szerződéseket az Egyesült Államokkal és kezdeményezett tárgyalásokat Nagy-Britanniával

úgyancsak kétoldalu megállapodás érdekében; igen baráti kapcsolatot tart fenn Franciaország, Németország, Olaszország és Portugália testvérintézményeivel; tagja az Európai Atomenergia-Közösségnek, az Európai Atomenergia-Kirendeltségnek, valamint a Nemzetközi Ügynökségnek.

Cederwall /Svédország/:

Hazám, Svédország energiahelyzete néhány olyan jellemvonással rendelkezik, amely más országoktól megkülönbözteti. Hasonlóképpen áll a helyzet Svédország atomerő problémájánál is. Svédország nem rendelkezik fosszilis fütőanyagokkal, de vizienergia igen nagymértékben áll rendelkezésére. A mi elektromos energiaszükségletünket gyakorlatilag teljesen kielégitik a vizienergia-hajtotta elektromos berendezéseink. Még akkor is kielégithetők a szükségletek, ha ezek gyors növekedést érnének el. Az elkövetkezendő 10-15 évre minden igény kielégitése biztositva lenne. Ami az egyéb energia-hordozókat illeti, szenet és petróleumot importálunk. A szén fontossága folyamatosan csökken, mig a kőolajtermékeké állandóan növekszik. A kőolajtól való függőségünk, - ugy vélem - teljesen egyedülálló Nyugat-Európában. Igy teljes energiaszükségletünk 75 %-át importból fedezzük, és ennek majdnem a fele kőolajtermékből áll.

Ami az atomenergia alkalmazását illeti, ugy gondoltuk, hogy az első szakaszban fütési célokra használjuk fel, főleg ott, ahol sürünlakott területeken lakásokat lehet vele füteni. Célunk az, hogy az ipar bizonyos ágaiban is megfelelő mértékben alkalmazzuk szintén fütési célokra, különösen olyan iparágaknál, ahol nagymennyiségü enyhe-hőre van szükség, mint például a pulp-iparban. Elektromos energia termelésére csak később kivánjuk az atomenergiát felhasználni.

Ugy véljük, hogy ez a hőtermelés hamarosan versenyképes lesz az olajfütéssel. Továbbá azt is figyelembevettük, hogy ez lesz a legjobb terület arra, hogy az atomenergia jövőbeli felhasználására tapasztalatokat szerezzünk. Ez annak

a programnak a lényege, amelyet az értekezletnek bemutatott dolgozatban leirtunk.

Sajnos az elmult hónapokban mi ugyanazt tapasztaltuk a nukleáris erőmüvek költségeinek fejlődésében, mint amit már más országok is tapasztaltak. A beruházási költség végső alakulása a korábbi becsléseknek kb. kétszeresét mutatta. Ebben a helyzetben az a döntés született, hogy erőfeszitéseinket egyelőre két párhuzamos erőmü helyett egyetlen reaktorra összpontositsuk. A megmaradt terv, amelyet a dolgozatban leirtunk, az R-3 Adam, egy nehézviz moderátoru és nehézviz hütésü reaktor, amelyet elektromos energia termelésére és Stockholm elővárosainak fütésére használnak majd fel.

Az abbahagyott terv finanszirozói - azaz az Állami Energiatanács és az ASEA Társaság most Stockholm város Elektromos Müveivel és az Atomenergia Bizottsággal együtt, közös erőfeszitéseket tesznek a megmaradt terv végrehajtása érdekében. Az anyagi és szellemi erőforrások ezen összpontositása ugy reméljük, hozzájárul a svéd nukleáris energiaprogram fejlődésének meggyorsitásához.

Hangsulyozni kivánom, hogy mi ugy véljük, az atomerő felhasználása fütési célokra olyan gondolat, amely a mi szükségleteinknek megfelelően alkalmazható. Azt várjuk, hogy a nukleáris eredetü hőenergia megfelelő idő után a hagyományos fütőanyagokkal termelt hővel fel tudja venni a versenyt. Ennek megvalósitására szükséges lenne egyszerü tipus-reaktorokat épiteni, saját fütési célokra.

Közben a most emlitett első ipari rendeltetésü erőmü, mint a fejlesztési program része, épités alatt áll azért,hogy további munkához tapasztalatokat szerezzünk. A következő lépés egy atomerőmü lesz, R-4 EVA, amelyre az R-3 ADAM után összes erőfeszitéseinket összpontositjuk.

1960 közepére készen lesz az első atomreaktor. Ennek a nehézviz moderátoros természetes urániumfütésü reaktornak elektromos kapacitása a tervek szerint 100 megawatt lesz. Reméljük azonban, hogy a külföldön szerzett tapasztalatok segitségével, valamint a sajátunkkal is, az elektromos teljesitményt tekintélyesen sikerül majd megnövelni, amely már ebben a szakaszban közelebb visz bennünket a nagy hatásfoku ipari atomerőmühöz. A tervünknek az a célja, hogy egész vizienergia kapacitásunk üzembehelyezése után, tehát kb. a hetvenes évek elejétől kezdve, minden további elektromos energiaszükségletet már tisztán az atomerőmüvek segitségével elégitsünk ki.

EGÉSZSÉGÜGYI ÉS BIZTONSÁGI TAPASZTALATOK REAKTOROK ÜZEMELTETÉSE SORÁN

II. Genfi Konferencia G/5 általános ülésének szószerinti jegyzőkönyve

Elnök: W.B. Lewis

G.C. BUTLER /Kanada/ megtartotta P/184 jelzésü előadását "Egészségügyi és biztonsági rendszabályok a kanadai üzemekben" cimmel, és az alábbiakat füzte hozzá:

A sugárzással kapcsolatos egészségügyi és biztonsági rendszabályokat az "Atomic Energy of Canada Limited"-nél /Kanadai Atomenergia Rt/ azzal a céllal szerkesztettük meg, hogy átvigyük a gyakorlatba az "International Commission on Radiological Protection"/Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság/ javaslatait. Röviden vázolom egyes eljárásainkat és ismertetem az eredmények összefoglalását ugy, hogy Önök ennek alapján felmérhetik ezeknek az eredményeknek a jelentőségét.

A Chalk River Project /C.R.Létesitmény/ esetében az általános biztonsági rendszabályok közé a dolgozók sugárzási veszélyekkel kapcsolatos oktatása és nevelése, valamint az ott végrehajtott müveletek gondos felülvizsgálása tartozik, olyan testületek részéről, mint amilyen a Pile Operating Committee /Atomreaktor Müködtető Bizottság/, a Criticality Panel /Kritikus Állapotot Vizsgáló Bizottság/ és a Central Safety Committee/Központi Biztonsági Bizottság/.

Munka közben a dolgozókat a külső sugárzás ellen árnyékolással és távmanipulátorok alkalmazásával védjük. A dolgozókat a sugárzási szint mértékére helyhezkötött figyelő müszerek, valamint a Radiation Hazards Control /Sugárveszély Ellenőrző Osztály/ személyzete által végrehajtott gyakori környezetellenőrzések figyelmeztetik. Helyhezkötött- és a személyi riasztó-doziméterеket alkalmazunk abból a célból

is, hogy figyelmeztessük a dolgozókat, ha a sugárzás váratlanul veszélyes szintre emelkedik.

A sugárhatás alapvető figyelési módja, a külső sugárzások esetében megfelelő filmcsikok alkalmazása, amelyeket az összes dolgozók állandóan hordanak, ha az üzemben tartózkodnak. Az a sugárhatás, ami ezeket a filmeket éri, az A.E.C.L. /Atomic Energy of Canada Limited - Kanadai Atomenergia Rt/ minden egyes dolgozójára vonatkozóan rögziti az illető "sugárvédelmi történetét".

Mintegy 2 évvel ezelőtt már számitani lehetett arra, hogy a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság csökkenteni fogja az ajánlott évi maximális külső besugárzási dózist, éspedig az addig ajánlott szint 1/3-ára, azaz 15 röntgenről 5 röntgenre kivánja azt leszállitani. Ennek megfelelően 1957 januárjában az A.E.C.L. uj szabályzatokat adott ki, amelyekben az MDE /maximum dose of external radiation/ - maximális külső sugárzási dózis értékét évi 5 röntgenre csökkentettük, vagyis átlagban véve heti 100 milliröntgenre. Ez igen sok nehézséget támasztott az üzemi személyzet számára, és először ugy látszott, hogy lehetetlen ilyen kis szint mellett dolgozni.

1.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv azt mutatja, hogy a helyzet a gyakorlatban hogyan alakult. Láthatják, hogy határozott javulás következett be 1957-ben, különösen a 3-5 röntgenes tartományban, annak következtében, hogy nagymértékben csökkentettük a kémiai feldolgozó eljárásokat és hogy valamennyi dolgozónk nagyobb erőfeszitéseket tett annak érdekében, hogy eleget tudjon tenni az uj előirásoknak. Láthatják egyébként, hogy még mindig két probléma áll fenn; az egyik a reaktorüzem rudmozgató személyzeténél, a másik pedig a "Commercial Products Division" /Kereskedelmi Termék Osztály/ esetében, amely a Co^{60} izotopok és a rádium előállitásáért és elosztásáért fe-

lelős. A nehézségek ellenére azonban mégis ugy gondoljuk, hogy ha bizonyos további kiigazitásokat hajtunk végre, akkor lehetővé válik, hogy rendes üzemet tartsunk fenn anélkül, hogy a személyzetet évi 5 röntgennél nagyobb sugárzás hatásának tennők ki.

A rádioizotopok az emberi testbe belégzés utján, szájon át, vagy a bőrön keresztül végbemenő abszorpció utján kerülhetnek be. Az utóbbi kettőt könnyü megakadályozni, a belégzés kérdése azonban olyan, hogy állandó nehézséget okoz. Mi két általános óvórendszabályt alkalmazunk e veszély minimálisra csökkentése céljából. Az összes rádioaktiv berendezést és létesitményt állandóan gondosan ellenőrzi a Ventilation Panel /Szellőztető Bizottság/. Arra törekszik, hogy a biztonságos szellőzéssel minimális sugárzási standardértékeket érjen el. A másik óvatossági rendszabály: állandóan törekszünk, hogy felkutassuk és eltávolitsuk a felületi szennyeződéseket. Ötven főből álló csoport foglalkozik külön a készülékek, szerszámok, szállitóeszközök, helyiségek, sőt egész épületek fertőtlenitésével. Az üzemi körzetekben az összes felületeket olyan szintnek megfelelő mértékig tisztitják meg, amelyről törlés utján már nem lehet további rádioaktivitást eltávolitani és amelynél a rögzitett /megtapadt/ rádioaktivitás 2 milliröntgen/óra értéknél kisebb sugárzásszintet hoz létre, a felület közvetlen közelében.

Mindezeknek a rendszabályoknak a helyességét véglegesen vizeletelemzéssel ellenőrzi a biológiai vizsgálatokat végző laboratórium. Ez a laboratórium vizsgálja azokat a személyeket, akiknél gyanu merül fel arra vonatkozólag, hogy belső fertőzés lehetősége áll fenn; ezen kivül ez a laboratórium helyszini vizsgálatokat is végez, olyan körzetekben, ahol aggasztó a helyzet. A pozitiv vizsgálati eredmény messze a legmeggyőzőbb bizonyitéka annak, hogy az elővigyázatossági rendszabályok nem felelnek meg és hogy helyesbitő intézkedéseket kell tenni.

Az A.E.C.L.-nél /Kanadai Atomenergia Rt/ az egyes, a szervezetbe került radioizotópok kiválasztásának maximálisan megengedhető mértékét azoknak az adatoknak az alapján számitjuk ki, amelyeket az ICRP /Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság/ bocsájtott rendelkezésünkre abból a feltételezésből kiindulva, hogy ez a kiválasztási mérték olyan állandó napi besugárzásból származik, amely 40 év leforgása alatt az emberi testben megengedhető maximális adaghoz vezet el. A gyakorlatban az urinális kiválasztás csak egyetlen besugárzás eredménye, ugy hogy - egységes urinális toleranciát megszabva - az emberi testben megengedhető adag nem lehet több, mint a megengedett maximum 1 %-a.

2.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv az utóbbi három évre vonatkozó biologiai vizsgálatok eredményének összefoglalása. Látható, hogy 1957-ben jelentős csökkenés következett be a pozitiv vizsgálati eredmények terén. Ezt az eredményt egész sor tényezőnek lehet tulajdonitani; ezek közé tartozik először az, hogy 1957-ben fokozottabb mértékben ügyeltünk a sugárzásbiztonságra; másodsorban csökkent a fütőelem-rudak kémiai eljárással való reprocesszálása; harmadszor eredményesebben alkalmaztuk azokat a tökéletesitett légzőkészülékeket és védőruházatokat, amelyeket az AECL /Kanadai Atomenergia Rt/ dolgozott ki, végül pedig az, hogy tökéletesitett üzemszervezési intézkedéseket és szellőzési rendszabályokat foganatositottunk, amelyek bevezetését a vizeletvizsgálatok eredményei tettek szükségessé.

A radioaktiv hulladékokat állandóan el kell távolitani az atomenergia létesitményeknél, ha biztositani akarjuk, hogy az ilyen intézményekben emberek tartózkodhassanak; a radioaktiv hulladékokat azonban olymódon kell kezelni, hogy biztositsuk azt, hogy a közönség /lakosság/ ne legyen fertőzés veszélyének kitéve. Ez különösen fontos, mivel a közönség vonatkozásában megengedhető maximális sugárdózis a szak-

mában dolgozóknál megengedett sugárdózis 1/10-e és 1/30-a között mozog.

A Chalk River Project /CR.Létesitmény/ esetében azokat a folyékony radioaktiv hulladékokat, amelyek már nem tartalmaznak nagyobb mennyiségü sugárzó anyagot, mint a szakmában dolgozók ivóvizénél maximálisan megengedett radioaktivitás, /nuklid/, az Ottawa folyóba bocsájtják. A hasadási termékekből álló tömény oldatokat acéltartályokban tárolják. Jelenleg az a terv, hogy ezeket az oldatokat koncentrálják, és a visszamaradó anyagot /reziduumot/ mesterséges üveggé olvasztják. Ezt az eljárást egyébként a C-21. ülés keretében L.C.Watson fogja ismertetni.

A közepes radioaktivitásu oldatokat és mindennemü szilárd radioaktiv hulladék anyagot a talajba temetik az üzemtől mintegy 2 km-re elterülő radioaktiv hulladék-temető körzetében olymódon, hogy ha a radioaktiv anyagok a talajban tovább mozognának, akkor ezt a mozgást olyan mértékben késleltessék, amennyire az egyáltalán lehetséges, mielőtt kikerülnek a kijelölt kerületből. A radioaktiv anyagok mozgását futólyukakból nyert talajminták és vizminták vételével ellenőrizzük; továbbá ugy, hogy izotop-ellenőrző méréseket hajtunk végre a felszini vizekben, valamint a körzetben összegyüjtött növényi- és állati termékmintáknál.

3.sz. diapozitiv

Ezen a diapozitiven azokat a módszereket soroltuk fel, amelyeket a folyékony radioaktiv hulladékok eltemetésénél alkalmaztunk.

A radioaktiv anyagok mozgása főleg a táblázatban található első és utolsó tétel vonatkozásában volt tapasztalható. Az első tétel a "vész-árok". Ezeket a "vész-árkokat" használták annak a fertőzött hütőviznek eltemetésénél, ami az 1952. évi NRX[x/] balesetből származott.

x/ NRX = National Research Experimental - Országos Kutató és Kisérleti reaktor.

A hulladéktemetőből származó radioaktiv anyagok a felszin közelében maradtak, és a stroncium-90 már a hulladéktemetőtől 100 m távolságban lévő mocsárban is kimutatható. Az utolsóként felsorolt kisérleti radioaktiv hulladéktemetőnél a radioaktiv anyagok mélyebbre hatoltak, úgy hogy jelenleg a stroncium-90-et már a helyszintől 200 m-re levő fúrólyukban lehet detektálni. Annak alapján, hogy a laboratóriumi vizsgálatokkal kimutatták, hogy a savtartalom nagymértékben csökkenti talajunk kation-cserélő képességét, azzal számolnak, hogy a talaj savas környezetben nem tudja tartani a stroncium-90-et.

A szilárd hulladékokat először homokba ásott falnélküli gödrökbe temették, azóta azonban a radioaktiv hulladékot már aszfalttal kibélelt gödrökbe vagy betonbunkerekbe temetik. Az egyetlen radioaktiv anyag, amelynél azt tapasztalták, hogy eltávolódott az eltemetés körzetéből, némi stroncium-90 volt, és ezt az egyik olyan folyó vizében találták, amely régebben radioaktiv hulladékok temetésére használt, falnélküli gödrök közelében eredt.

4.sz. diapozitiv

A 4.sz. diapozitiven látható térképen egész radioaktiv hulladéktemető-körzetünket feltüntettük. Ennek a területnek a kis Perch tó felé van lefolyása. E tó viszont a Perch Creek-en keresztül folyik le az Ottawa folyóba. Azt, hogy radioaktiv anyagok kerülnek-e viziutakba, olymódon ellenőrzik, hogy mérik a Perch Lake és Perch Creek stroncium-90 tartalmát /ez az egyetlen radioaktiv nuklid, amelyet eddig észleltek/.

5.sz.diapozitiv

Ez az utolsó diapozitiv azoknak a vizsgálatoknak az eredményeit tünteti fel, amelyeket a Perch Lake-ben és a Perch Creek-ben hajtottak végre. Láthatjuk, hogy újabban határozott növekedés volt észlelhető a Perch Lake-be folyó vizekben;

ugyanakkor viszont az Ottawa folyóba ömlő vízben a koncentráció még igy is csak negyedrésze a szakmában dolgozók ivóvizénél megengedett dózisnak. A Perch Lake-ben a radioaktivitás valamivel nagyobb, mint a hivatásszerű radiológiai dolgozók ivóvizénél megengedett dózis. Meg kell azonban jegyezni ezzel kapcsolatban még, hogy a Perch Lake vize az Ottawa folyóban 24 óra leforgása alatt 10^4 tényezőnek megfelelő mértékben higul fel. Azon a mintavételi helyen, amely folyásirányban egy mérföldnyire van az üzemtől, a viz radioaktivitása a 0-430 bomlás percenként és literenként intervallumban változott, úgy, hogy az átlagérték az utóbbi 18 hónap folyamán 60 bomlás/perc/liter volt. Az öt mérföldre levő mintavételi helynél az ennek megfelelő számszerű érték 0-250 bomlás/perc/liter; úgy, hogy az átlagérték 10 bomlás/perc/liter. A folyófenék iszapjából vett iszapminták esetében a beütések alig érzékelhetőek a háttérhez képest; számuk csökken, ami valószinűleg az 1952-ben kikerült aktiv anyagok radioaktivitásának megszünésével függ össze. A legnagyobb stroncium-90 tartalom, amelyet a folyóból vett szerves mintáknál észleltek, 3,6 bomlás/perc/gramm volt, az egynyaras sügér halfajtánál.

Ezeknek a tanulmányoknak az eredményeként néhány egészen általános következtetést vontunk le: először is a többcurie erősségű radioaktiv hulladékot vizmentesen záró tartályokban kell eltemetni; másodszor: a savas radioaktiv hulladékok gyorsan haladnak a talajon át; harmadszor: nagy folyékony radioaktiv hulladékmennyiségeket, amelyek felborithatják a talaj hidrológiai viszonyait, olymódon kell kezelni, hogy megszüntessük a radioaktivitásukat, mielőtt a szabadba engedjük; negyedszer: a leggyorsabban haladó radioizotópok a mi radioaktiv hulladéktemetőnk esetében a ruténium-106 és a kén-33. A stroncium-90 nem mozog ilyen gyorsan. A plutonium-239 rendkivül lassan mozog.

Végül, úgy gondolom, érdekes lesz, ha felhivom a figyelmet arra, hogy azon e g é s z s é g v é d e l m i

és biztonsági rendszabályok költségei, amelyeket ismertettem, a Shalk River Project esetében az üzemi költségvetésnek mintegy 5 %-át teszik ki.

Az Amerikai Egyesült Államokban a reaktorok üzembentartásával és reaktorok biztonsági berendezéseivel kapcsolatban szerzett tapasztalatok

C.R. McCullough megtartotta P/1551 jelzésü előadását és ehhez az alábbiakat fűzte még hozzá:

Előadásomban kizárólag csak az Amerikai Egyesült Államok reaktorainak biztonságával kapcsolatos legfontosabb tapasztalatainkkal foglalkozom; éspedig a reaktorok szerkesztése és működése szempontjából. További részletek az ezzel kapcsolatban a közzéteendő tanulmányban találhatók.

Bármilyen nehéz feladat, úgy gondolom, rendkivül fontos az a követelmény, hogy megtartsuk a helyes egyensúlyt egyrészt a dolgozók és a nagyközönség védelmét biztositó rendszabályok - amelyek arányban állnak azokkal a veszélyekkel, amelyekkel, mint mai ipari életünk meglévő jelenségeivel, számolnunk kell - másrészt pedig az atomenergia békés célokra való felhasználása terén szükséges fejlődés követelményei között.

Az 1945-től 1957-ig tartó 12 éves időszak során az atomreaktorok működésével kapcsolatban az Amerikai Egyesült Államokban 105 olyan baleset fordult elő, amely bizonyos mértékű sugárveszélyt idézett elő. E balesetek közül 11 volt az olyan balesetek száma, amelyek kritikus állapottal kapcsolatos kisérletek /criticality experiments/ során fordultak elő; és 10 volt azoknak a baleseteknek a száma, amelyek reaktorok működése során következtek be. Már előzőleg beszámoltunk a kezdeti, kritikus állapottal kapcsolatos kisérletek folyamán előfordult azon balesetekről, amelyek kö-

zül kettő 1945-ben, egy pedig 1946-ban történt, amelyek során három személy életét vesztette, kettő pedig súlyosan megsebesült. 1952-ben újabb, kritikus állapottal összefüggő kisérlettel kapcsolatos baleset következett be, amely négy személyt érintett; ebben az esetben a sugárzási szint 100 röntgen körül mozgott. Erről a balesetről az első Genfi Konferencia alkalmával már beszámoltunk. Ezeken kivül nem fordultak elő további olyan, a kritikus állapottal összefüggő kisérletekkel kapcsolatos balesetek, amelyek jelentős mértékű radioaktiv sugárzáshoz vezettek volna.

A reaktorokkal előforduló 10 baleset közül egyiknek sem lett az a következménye, hogy az érintett személyeket 21,5 röntgennél nagyobb sugárzási szint érte volna. Ezek között csak két olyan baleset van, amelyet a reaktorok rendes üzembentartásával összefüggőnek lehet tekinteni. Az összes többi baleset rendellenes, vagy kisérleti jellegű működés káros következménye volt.

Ez a baleseti statisztika jobb, mint amilyent egyáltalán várni lehetett. Komolyan kételkedünk azonban abban, hogy szakértelmünk és gondosságunk elég-e ahhoz, hogy meg tudjunk előzni minden balesetet. Éppen ezért fel kell vértezni magunkat az olyan balesetek ellen, amelyek kétségtelenül bekövetkeznek még akkor is, ha minden lehetséges erőfeszitést megteszünk megelőzésük érdekében.

Oktatási célokra és számos kisméretű kisérlet végrehajtására igen kivánatos lehet a reaktornak a tanteremhez közeleső telepitése. A gyártó cégekre bizzuk, hogy meggyőzzék Önöket az általuk készitett reaktor biztonságosságáról.

Abban az esetben, ha nagyobb teljesitmény elérése, a tanterem szempontjából pedig könnyű megközelités kivánatos, akkor a hely megválasztása már problémát jelent.

Az USA-ban sűrűnlakott körzetekben is vannak reaktorok.

1.sz. diapozitiv

A diapozitivon Boston város belső területéről készült légifelvételt mutatunk be; a képen látható nyil az MIT [1] reaktor helyét mutatja.

2.sz. diapozitiv

Ezen a diapozitivon fenti MIT reaktor más irányból látható.

Ezek a diapozitivok olyan sűrűn-lakott területet mutatnak be, amilyen csak lehetséges. Ebben az esetben megfelelő együtt-tartásról és árnyékolásról gondoskodtak, úgy, hogy még az elképzelhető legsúlyosabb baleset esetében sem fordulhat elő az, hogy az érintett lakosság megsérüljön. Szeretném ehhez még azt is hozzáfűzni, hogy rendkivül nagy gondot forditottak ezeknek a berendezéseknek tervezésére és arra, hogy kisérleti programjuk megfeleljen telepitési helyüknek.

Ha ezekután áttérünk az anyagvizsgáló reaktorokra, megállapithatjuk, hogy az USA-ban négy ilyen reaktor van. Éspedig: General Electric Company 35 MW-os reaktora, a 40 MW-os MTR [2] reaktor, az ETR, vagyis Engineering Test Reactor /Műszaki Vizsgáló Reaktor/, amelynek 175 MW a teljesitménye és az ORR, vagyis az Oak Ridge Research Reactor /az OR. Kutató Reaktor/, melynek teljesitménye 30 MW.

Ugy számoljuk, hogy további két vizsgáló reaktort helyezünk üzembe jövőre. Ezek: a National Advisory Committee for Aeronautics /Országos Repülésügyi Tanácsadó Bizottság/,

---

1/ MIT = Massachusetts Institute of Technology - M. Technológiai Intézet reaktora.

2/ MTR = Materials Testing Reactor - Anyagvizsgáló reaktor.

60 MW-os reaktora és a Westinghouse cég 20 MW-os reaktora. A három magántulajdonban levő reaktor légmentesen zárt acélburkolatban van elhelyezve. Az ORR reaktor olyan épületben van, amelyben a ventillátorok a levegőt szűrőkön keresztül távolitják el. Mind a négy, általam fentebb emlitett reaktor elővárosokban vagy mezőgazdasági körzetekben nyert elhelyezést, úgy, hogy kisérleti programjuk megfelel telepitési helyüknek.

Az Egyesült Államok Atomenergia Bizottsága intenziv anyagvizsgálati programját vagy az MTR reaktorban, vagy az ETR reaktorban végzik. Ez a két reaktor nincs ellátva burkolattal, de az ETR reaktor elrendezése olyan, hogy szellőztetése szűrőberendezéseken keresztül történhet.

3.sz. diapozitiv

A diapozitivon feltüntetett két reaktor az Idaho sivatagban van. Láthatják a képről, hogy ezen a környéken igen kevesen laknak. A fenti telepités ellenére a reaktornál végrehajtott kisérleteknél rendkivül gondos ellenőrzést hajtanak végre, mielőtt valamely kisérlet beinditásához hozzákezdenének. Ennek az a célja, hogy amennyire csak képesek, biztositsák, hogy ne fordulhasson elő baleset.

Rátérve ezekután az energiafejlesztő reaktorokra, - mint Önök is tudják - az USA-ban egy nagyteljesitményű energiafejlesztő reaktor van üzemben, nevezetesen a "Pressurized Water Reactor" /PWR-nyomás alatt álló vizzel működő reaktor/ Shippingportban, Pennsylvania államban. Ennek a reaktornak távolsága Pittsburghtól 25 mérföld.

4.sz. diapozitiv

Ez a Shippingport-i reaktor képe. A fényképet bizonyos mértékig retusálták, a célból, hogy kiemeljék a burkolótartályokat. E felvétel alapján Önök már képet alkothatnak a reaktor általános környezetéről.

Négy nagyteljesitményü energiafejlesztő reaktor üzembehelyezését irányozták elő 1960-ra. Ezek: "Commonwealth Edison Company" cég, Dresden-i atomerőművek, melynek névleges teljesitőképessége 180 elektromos MW, ez az atomerőmű Chicagótól 35 mérföldre van délnyugatra; az Edison Company of New-York vállalat Indian Point Plant elnevezésű atomerőműve, amely 24 mérföldre terül el New-York City északi határától - ezen atomerőmű elektromos teljesitménye 255 MW, a "Power Reactor Development Corporation", Monroe-beli atomerőműve, melynek villamos teljesitménye 100 MW; végül pedig a "Yankee" reaktor, ami Massachusetts gyérenlakott körzetében helyezkedik el, és amelynek névleges teljesitőképessége 134 eMW.

5.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv ad képet a "Yankee" atomerőmű környezetéről.

6.sz. diapozitiv

Mint a diapozitiven is láthatják, ez az erőmű Massachusetts gyérenlakott körzetében van.

7.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv a Dresden-i reaktor környékének térképét mutatja. Láthatják ebből, hogy - bár ezen a térképen maga Chicago nincs is feltüntetve, - a Dresden-i körzet körül néhány, aránylag kis, szétszórt település terül el.

8.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv az erőmű tartályát és a turbinaépületet mutatja; a képből is láthatják, hogy a reaktor közvetlen környéke egyáltalán nem sűrűn lakott.

9.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv a reaktor épitésének másik szakaszát mutatja.

Ezek a diapozitivok szépen szemléltetik azt az elgondolást, hogy hogyan lehet nagyteljesitményű atomerőművet mezőgazdasági körzetben, nagy városoktól mintegy 25 mérföld körüli távolságban is felépiteni, ha a szóbanforgó atomerőmű megfelelő felépitésű és maga a reaktor acéltartályba kerül.

Szeretném ugyanakkor hozzáfűzni ehhez azt is, hogy ezekből a megállapitásokból nem szabad arra következtetnünk, hogy a jövőben bármikor épülő reaktornál is szükség lesz acélburkolatra, sem pedig azt, hogy az ilyenfajta reaktorokat kizárólag csak mezőgazdasági körzetekbe szabad telepiteni. Az én egyéni nézetem az, hogy ez a megállapitás mindössze csak azt a felfogást tükrözi, ami jelenlegi ismereteinken alapul és ugyanakkor az a véleményem, hogy a jövőben felépitésre kerülő minden egyes atomerőművet és telepitési helyét, a szóbanforgó atomerőmű adottságai alapján külön-külön kell megvizsgálni.

Az utóbbi évek során igen nagy súlyt helyeztek a reaktorok stabilitásának kérdésére, különös tekintettel a reaktorokba beépitett leállitó berendezésekre és a reaktorok öncsillapitó tulajdonságaira. A reaktorok hőmérsékleti- és hézagkoefficienseit, valamint teljesitmény-tényezőit mind elméleti, mind pedig kisérleti vonatkozásban egyaránt tanulmányozták. Kiderült, hogy ezek igen bonyolult fogalmak, mind hatásuk részleteit, mind pedig az effektusnak a reaktoron belül kiválasztott helytől való függésüket tekintve. Azt a lehetőséget, hogy a véletlen folytán a reaktorparaméterek olyan értékeket vegyenek fel egyidejűleg, hogy ez azután a reaktor oszcillációs viselkedését idézheti elő, ami azután divergenssé válhat, már egy ideje elméleti sikon felismerték. Az utóbbi évek során meg is figyelték ezt a viselkedést, azonban kizárólag csak kisérleti viszonyok között. Bár ezeket a jelenségeket másutt már ismertették, mégis célszerünek tartottam, ha ezzel kapcsolatban Önöknek két diapozitivot mutatok be.

10.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv azt az öncsillapitó oszcillációt mutatja be, amit a "Spert" [1] reaktornál észleltek.

11.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv divergens oszcillációt mutat be, amit ugyanennél a reaktornál észleltek egy átmeneti periódusban.

Ugy gondolom, hogy jogosult az a nagy érdeklődés, amit jelenleg az oszcilláció iránt tanusitanak, ha figyelembevesszük, hogy súlyos következményekkel járó olyan balesetek fordulhatnak elő, melyek oka a változók kölcsönhatása. Reméljük, hogy ezzel a tárgykörrel kapcsolatban az elméleti és kisérleti kutatások továbbfolynak, s reméljük, hogy ezzel kapcsolatos ismereteink növekednek.

Az erőmű üzeme és a reaktor biztonsága közötti összefüggés igen fontos kérdés. Az USA-ban nagy gondot fordítottak valamennyi tipusú reaktor üzemeltetésének megszervezésére és lebonyolitására. Tekintettel arra, hogy a nagyteljesitményű reaktorokkal kapcsolatos felelősség az olyan nagyipari szervezetekre hárul, amelyek igen járatosak nagyüzemek működtetésében és vezetésében, úgy gondoljuk, hogy a reaktor-biztonság problémáját ebben a stádiumban megfelelően oldják meg. Vannak még tisztázandó kérdések, amelyek arra vonatkoznak, hogy a kisebbteljesitményű energiafejlesztő reaktorokat milyen üzemeltető csoportokra bizzuk, különösen akkor, ha ezek a reaktorok oktatási- vagy kutatóintézetekben működnek. Bölcseségre van szükség ahhoz, hogy meg tudják oldani azt az ellentétet, amely a megfelelő szervezés és a megfelelő eljárások, illetve az ilyen intézetekben rendelkezésre álló személyek és pénzügyi eszközök között áll fent, nem is beszélve az ilyen intézetek kialakult szokásairól.

1/ Spert = kritikusság-feletti üzemmódok vizsgálatára épült reaktor.

A fentieket úgy foglalhatjuk talán össze, hogy a reaktorok működtetése terén szerzett tapasztalataink eddig jók voltak. Azzal számolunk és reméljük, hogy a helyzet ezen a téren továbbra is ugyanez marad.

Az USA-ban bizonyos dilemma előtt álltunk. Az volt a célkitűzésünk, hogy nagymértékben fejlesszük tovább a nukleáris energiatermelést, különösen villamosenergia fejlesztése céljából, anélkül azonban, hogy kellőképpen értettünk volna ezekhez a berendezésekhez vagy gyakorlottak lettünk volna kezelésükben, és anélkül, hogy számoltunk volna azzal a lehetőséggel, hogy ezek a berendezések felmondhatják a szolgálatot, vagy velük kapcsolatban balesetek fordulhatnak elő. Később azután rájöttünk arra, hogy a nagyteljesitményű reaktoroknál előforduló nagyobbméretű balesetek következményei sokkal nagyobbak, semhogy ezeket el lehetne tűrni. Még az USA-ban is csak kevés olyan elszigetelt hely akad, amely eleve megvédi a lakosságot a nagyméretű balesetek következményeitől. Az a megoldás, amit mi és mások is ezzel kapcsolatban elfogadtunk, az, hogy olyan tartályokat alkalmaztunk a reaktor körül, amelyek megakadályozzák a fertőző radioaktiv hasadási termékek szétterjedését, ha esetleg baleset fordulna elő. A legtöbb esetben ez a tartály légmentesen záró, acélból készült gömb.

12.sz. diapozitiv

Az első ilyen acélgömb 225 láb átmérőjű volt. Ezt az acélgömböt West Milton-ban /New-York állam/ állitották fel abból a célból, hogy ebben helyezzék el a tengeralattjáró reaktor prototipusát.

13.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv azt a gömböt mutatja, amit Önök már a Chicago közelében lévő Dresden-i energiafejlesztő reaktor esetében, egy előbb bemutatott diapozitivon már láttak. Ennek a gömbnek az átmérője 190 láb.

Talán meglepetéssel fogják tudomásul venni, hogy ilyen acélgömböt alkalmazunk az EBR-2 számú kisérleti gyorsszaporitó/reaktor körül is, amit az Idaho-i National Reactor Testing Station telepén állitottunk fel.

14.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv a gömb épitésének kezdeti szakaszát mutatja. Ezenkivül újabb képet ad ennek a körzetnek lakatlanságáról.

15.sz. diapozitiv

Ez a felvétel két héttel ezelőtt készült, /1958 augusztusában/, és azt mutatja, hogy milyen haladást sikerült elérni e tartály épitése során.

Hogy megfelelő tartályról gondoskodunk ennél a reaktornál, ilyen lakott helyektől távoleső elhelyezés esetében is, azzal az volt a célunk, hogy megteremtsük a lehetőséget további, új reaktortipussal való kisérleti programunk megvalósitásához, anélkül, hogy különösebb mértékben kellene gondoskodnunk a lakosság védelméről, - különösen azért, mert ez a reaktor nagy plutoniummennyiségeket fog tartalmazni.

16.sz. diapozitiv

Ezen a diapozitivon, más, nem gömbalakú tartályokat láthatunk. Emlékeztetnem kell Önöket, hogy az MIT reaktornál "tank"-alakú tartályt láttunk.

17.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv azt a "tank"-tipusú tartályt mutatja, amit a "National Advisory Committee for Aeronautics" /Országos Repülésügyi Tanácsadó Bizottság/ kisérleti reaktora számára épitettek, amelyet jövőre helyeznek üzembe.

18.sz. diapozitiv

Ez a diapozitiv további részleteket mutat be a

Shippingport-i viznyomásos reaktor burkolási módjáról. Kérem Önöket, figyeljék meg az összekötő acéltartályokat, és ugyanakkor kisérjék figyelemmel azt is, hogy a középen látható reaktor-burkolat a többi tartály szintje alatt van. Végül mindezeket a tartályokat betonfalak veszik körül.

Engedjék meg, hogy ezek után áttérjek a biztonsági szabványokra és előirt kritériumokra. Ezideig még nem léteznek reaktor-berendezések biztonságos tervezésére vonatkozó elfogadott szabványok - legalábbis nem olyan számszerű adatok, vagy részletes előirások formájában, amelyeket meg kell tartani ahhoz, hogy az Egyesült Államokban megadják reaktorok épitéséhez és üzemben tartásához az engedélyt. Nehéz dolog egyáltalán ilyen számszerű adatokat megállapitani, tekintettel arra, hogy számos, különböző konstrukciójú reaktorberendezés épitése van folyamatban. Tapasztalatainkhoz tartozik az is, hogy ha egyszer leirtunk egy számot valamilyen szabványban, akkor ezt már rendkivül nehéz megváltoztatni. Az a megoldás tehát, hogy a technológia jelenlegi fokán ilyen számszerű adatokat rögzitünk, könnyen ahhoz vezethetnek, hogy esetleg késleltetné a reaktorok fejlődésének ütemét.

Mindenesetre azonban fennáll annak a lehetősége, hogy azon reaktorok jellemző adatai alapján, amelyek felépitését és üzembehelyezését az Egyesült Államokban engedélyezték, bizonyos általánositásokat vezethetünk le, amelyek azt mutatják, hogy vannak bizonyos olyan kritériumok, amelyeket jelenleg figyelembe vesznek. Igy pl. az engedélyezett reaktorok specifikációiból kitűnik, hogy minden reaktor esetében megkövetelték a negativ hőmérsékleti- és hézagkoefficienst és a negativ teljesitménytényezőt. Követelmény az is, hogy egynél több szabályozórúd álljon rendelkezésre.

Ha van önműködő szabályozórúd, úgy hatásának kisebbnek kell lennie, mintsem hogy azt idézhetné elő, hogy a reaktor prompt kritikus állapotba kerülhessen. 10 MW-nál nagyobb teljesitőképességű energiatermelő reaktornál biztonsági tartályt kell alkalmazni, hacsak a reaktort nem rendkivül

lakatlan körzetben épitik fel. Végül 100 MW-nál nagyobb teljesitményű reaktorok esetében legalább 1500 láb sugarú tilos területet kell megállapitani.

Ezekután meg kell azonban állapitanom, hogy amint e szakasz fejtegetésének kezdetén már megállapitottam, ezek a kritériumok nem hivatalosak; ugyanakkor nem is kizárólagosak és irásba se foglalták őket, még ideiglenes jelleggel sem, mint olyanokat, amelyeket a reaktor-tervezőknek figyelembe kellene venniök. Arra szeretnék ezzel kapcsolatban rámutatni, hogy olyan reaktor esetében, amely eltér ezektől az általános kritériumoktól, sokkal részletesebb ellenőrző vizsgálatokat hajtanak végre, mint az olyan reaktoroknál, amelyek megfelelnek a fenti kritériumoknak.

Ugy gondolom, hogy lehet tenni valamit annak az érdekében, hogy rövidesen kialakuljon egész sor olyan általános jellegű kritérium, mint fentebb, amelyet ezután a reaktortervezők elfogadhatnának és felhasználhatnának. Ugy gondolom azonban, hogy nem lenne szerencsés megoldás megnehezíteni olyan reaktorok tervezését és felépitését, amelyek ugyan nem felelnek meg a kritériumoknak és mégis megbizhatóak és biztonságosak. Részemről nem értek egyet azzal a követelménnyel, hogy bizonyos teljesitményszint felett minden reaktornál biztonsági tartályt kell alkalmazni. Reménykedem ugyanis abban, hogy az ügyes tervezés meg fog tanitani bennünket arra, hogy ezt hogyan mellőzhetjük. A probléma az, hogy olyan megegyezésekre kell jutni e kritériumok tekintetében, amelyeket elfogadható reaktor-rendszerek építésénél fel is lehet használni, ugyanakkor viszont kerülni kell azt, hogy az ilyen kritériumok túlzottan megkössék a kezünket és megváltoztathatatlanok legyenek.

Összefoglalva megállapithatjuk, hogy a reaktorok működtetése az Egyesült Államokban komoly balesetek nélkül volt megoldható, kivéve azt a néhány kritikus állapottal kapcsolatos kisérleti berendezést, amely a kezdet kezdetén

három balesetet okozott. Minden tőlünk telhetőt meg fogunk tenni annak érdekében, hogy biztonsági vonatkozásban megtartsuk ezt az állapotot, garanciát e tekintetben nem nyújthatunk. Bizonyosmértékű eredményeket értünk el a reaktorok szempontjából megfelelő telepitési helyek megválasztása terén, és sikerült olyan kompromisszumos megoldást találni, amely lehetőséget nyújt megfelelő működés és megfelelő biztonság összehangolására. Igen sok munkát végeztek a reaktorok tervezése terén a megbizhatóság és a biztonságosság érdekében. Jelenleg a legtöbb reaktorban szerepelnek beépitett stabilizáló berendezések; az oszcilláció problémáját felismertük és ezt mélyrehatóan tanulmányozzuk is annak megakadályozására, hogy ez a reaktor balesetek előidézőjévé váljon. Reaktortartályok alkalmazását vezettük be olyan eszközként, amely előmozditja a nukleáris energia békés célokra való felhasználását anélkül, hogy ez feleslegesen veszélyeztetné a lakosságot. Remélhetőleg ez átmeneti rendszabály. Küzdünk olyan kritériumok kialakitásáért, amelyek nem kötik meg túlzott mértékben a kezünket, mégis megfelelő biztonságot nyújtanak. Nagyobb erőfeszitésekre van szükség a célból, hogy helyesen értsük meg az ezzel kapcsolatos kritériumokat és meg kell egyeznünk abban is, hogy ezek közül melyek a fontosak. Reméljük, hogy a jövőben még gyorsabb fejlődés tanui lehetünk a nukleáris reaktorok tervezése és üzembent tartása terén, a megbizhatóság és a biztonság vonatkozásában.

A VITA

Az elnök: Rendkivül nagyszámú hozzászólásra vonatkozó jelentkezés futott be. Sajnos nincs lehetőségünk arra, hogy valamennyivel foglalkozhassunk. Éppen ezért tehát mindenekelőtt ülésünk tárgyát tartom szem előtt, ami - mint tudjuk - egészségügyi és biztonsági vonatkozásban szerzett üzemi tapasztalatok; azoknak a hozzászólóknak adok elsőbbséget, akik üzemi tapasztalatokkal kapcsolatos kérdéseket vetnek fel. Ez azt jelenti, hogy egyes másirányú kérdéseket mellőzünk; szeretném azonban ezzel kapcsolatban megemliteni,

hogy az a kérdés, amelyet Mr.Burt /Délafrikai Unió/ vetett fel, inkább illik egy Mr.Simpson /Kanada/ és mások által tartott előadáshoz, amely bányában fellépő sugárveszéllyel foglalkozik. Két kérdés érkezett be dr. Gambel-tól /Törökország/ ezek közül az első ismét csak olyan, hogy inkább egy másik ülés keretébe illik bele, éspedig külső besugárzási kísérletekkel foglalkozó ülés keretébe. Szeretném még általánosságban megjegyezni azt is, hogy azok a kérdések, amelyek a sugárvédelem terén nemzeti vagy nemzetközi törvények kívánatos voltára vonatkoznak, messze túlnyúlnak ma délelőtti vitánk keretein. Ugy hogy - bár ezek a kérdések valóban fontosak - mégis mellőzni fogom őket.

Ezekután rátérek a tulajdonképpeni kérdésekre, s megjegyzem, hogy egész sor kérdést más nyelven tettek fel. Amikor azonban az egyes előadóknak a kérdést felteszem - ma délelőtt minden előadó angolul beszélt - a kérdések angol fordítását fogom felhasználni, ami már rendelkezésemre áll. Ezt azután a fordítók természetesen lefordítják és igy az, aki a kérdést feltette, eredeti kérdésének visszafordított szövegét fogja hallani. Éppen ezért tehát felkérem a kérdésfeltevőket, hogy úgy helyezkedjenek el, hogy a technikai személyzet felismerhesse őket és odavihesse hozzájuk a mikrofont, hogy azután a kérdés feltevője közölhesse, hogy a leforditott és ismét visszaforditott kérdés lényegében megegyezik-e azzal, amit kérdezni szeretne.

Az első kérdés, Mr. Hubert /Belgium/ kérdése dr. Buttlerhez. A kérdés igy szól: "tudna-e részleteket közölni arra az 5 % költségre vonatkozóan, amit Ön emlitett? Ebben az 5 %-ban csak üzemi költségek szerepelnek-e, vagy benne vannak-a a tőkeköltségek is? Fel tudná-e Ön röviden mérni azt, hogy ez az 5 % költség mennyivel növekednék abban az esetben, ha a tolerancia-dózist 50 %-kal szigoritják?"

Mr. Buttler /Kanada/: Ez csak az üzemi költség.

Mr. Hubert /Belgium/: Igen, de szeretnék választ kapni a kérdés másik felére is, nevezetesen arra, hogy milyen

mértékben emelkednék ez az 5 % költség, ha a toleranciadózist 50 % - kal megszigoritanánk? Mit jelentene ez a költségek növekedése szempontjából?

Mr.Butler: /Kanada/ Sajnálom, de erre csak hosszabb gondolkodás és számitás után tudnék megfelelő választ adni.

Elnök: A következő kérdés Mr. Libby /EÁ/ kérdése: "Azok a sugárzási szintek, amelyeket jelenleg mérnünk kell, alacsonyabbak, mint amelyet a normális filmszalagok érzékelni képesek. Folyik-e a kutatómunka érzékenyebb filmszalagok kidolgozása érdekében, az Egyesült Királyságban?"

Mr. McLean: /Egyesült Királyság/ A tartós besugárzással kapcsolatos szinteknél rendkivül nagy mértékben nőtt meg a kis dózis-szintek mérésével összefüggő probléma jelentősége. Komoly fejlesztési munka van e téren folyamatban, és úgy gondolom, hogy meglehetősen széleskörű vita fog kialakulni e körül a kérdés körül az ülésszak későbbi szakaszában. Meg vagyok győződve róla, hogy Mr. Libby tájékozott erről a tevékenységről, különösen arról a kutatómunkáról, amelyet nemrég Spiers professzor végzett ezen a téren, Leedsben, Angliában.

Elnök: A következő kérdés Mr. Spitsyn /Szovjetunió/ dr. Buttlerhez intézett intézett kérdése: "Mi a talajviz szintjének magassága az Önök folyékony radioaktiv hulladéktemetőjénél? Nem észlelték-e az Ottawa folyó üledékében az aktivitás emelkedését? A folyó fenekén képződött üledékre gondolok.

Mr. Buttler: /Kanada/ A talajviz szintje a mi radioaktiv hulladéktemetőnk körzetében széles határok között változik. A viz egy része a felszinen van, de a talajviz szintje lehet 20 vagy 30 láb mélységben is. Előadásomban megemlitettem, hogy milyen volt a radioaktivitás szintje. Az Ottawa folyó fenekén a radioaktivitás éppen csak hogy érzékelhető, és csökkenő tendenciát mutat.

Elnök: A következő kérdés Mr. Daniliuk /Szovjetunió/ kérdése, dr. McLeanhez: "A bemutatott ábrákból, különösen pedig a 45. táblázatból, az tűnik ki, hogy az ipari csoport negyszer akkora sugárzás hatásának van kitéve, mint a kutatóegyüttes. Az is kitűnik, hogy az elmúlt év folyamán az ipari csoport besugárzása még tovább növekedett. Tudna-e ezzel kapcsolatban magyarázattal szolgálni?

Mr. McLean /Egyesült Királyság/: Kétségtelen, hogy az ipari csoport lényegesen nagyobb sugárzásnak van kitéve, mint a kutatócsoport. Az ipari csoport igen nagymennyiségű radioaktiv anyaggal dolgozik, különösen a kiégett fűtőanyagok feldolgozása során. Az ipari csoportban dolgozók száma lényegesen nagyobb, mint a kutatócsoportban működők száma. Ugy gondolom, hogy az a megállapitás, hogy a besugárzás mértéke az elmúlt évek folyamán emelkedett, talán nem egészen megokolt; ennek az lehet az oka, hogy a közölt adatok sokszor megtévesztőek. Valójában az Atomenergiahatóság munkája megnövekedett, és igy az alkalmazottak száma is emelkedett, úgy, hogy az integrált sugárhatás is fokozódott, de ugyanakkor az átlagérték kétségtelenül csökkent némileg; az olyan személyek száma pedig, akiket 5 rad-nál nagyobb dózis ért, az 1956.évi 240-ről 1957-ben 200-ra csökkent.

Elnök: A következő kérdés Mr. Szedov /Szovjetunió/ kérdése, amelyet ugyancsak McLean úrhoz intézett. "Helyesen értettük-e, hogy az angol reaktorok - Windscale-ben nagyobb mértékben és Calder Hall-ban kisebb mértékben - gáznemű- és aeroszol-állapotban radioaktiv anyagot juttatnak a légkörbe? Ellenőrzik-e a felgyülemlett radioaktivitást ebben a körzetben? Mik ennek az ellenőrzésnek az eredményei?"

Mr.McLean /Egyesült Királyság/: A W i n d s c a l e i r e a k t o r o k l é n y e g é b e n n y i t o t t, l é g h ű t é s e s r e a k t o r o k é s i g y k é t s é g t e l e n ü l j e l e n t ő s m é r t é k ű r a d i o a k t i v i t á s ú a n y a g o t j u t t a t n a k a l é g k ö r b e . Ezzel szemben a C a l d e r H a l l-

ban működő reaktorok g á z h ű t é s ü e k é s n y o m á s a l a t t á l l n a k . Az a radioaktiv anyagmennyiség, amely itt az atmoszférába került ki, rendkivül kicsi; az ellenőrzés alapja pedig mindkét esetben az, hogy méréseket végeznek a kilépés helyén, részben pedig az, - és ez a lényegesebb - olymódon, hogy széleskörű és állandó felügyeletet és ellenőrzést gyakorolnak az érintett körzetben. Ez az ellenőrzés kiterjed a füvekből, esetleg a talajból és a vizből szabványositott sorozatos mintavételre, vagy bizonyos esetekben állati termékekből /mint amilyen pl. a tej/, vett minták gyűjtésére is; ezeket az eredményeket vagy legalábbis bizonyos részüket, tudomásom szerint, e konferencia folyamán meg fogják még tárgyalni. Ezek az ellenőrzések és vizsgálatok minden esetben - még olyan esetben is, mint a Windscale-i eset volt - azt mutatták, hogy a radioaktivitás szintje mind Windscale-ben, mind pedig Calder Hall-ban jóval a lakosság számára elfogadott maximálisan megengedett szint alatt maradt.

Elnök: A következő kérdés Mr. Fry /Ausztrália/ kérdése, amit dr. Buttlerhez intézett: "A tritium-okozta sugárhatás 1955 és 1956 között jelentős mértékben csökkent. Szeretném megtudni, hogy ez a sugárhatás hogy jött létre, és hogy milyen intézkedéseket tettek a sugárhatás csökkentése céljából.

Mr. Buttler /Kanada/: Ugy gondolom, hogy a tritium - okozta sugárzás oka az előző évben közvetlenül egy baleset eredménye, vagy ha nem baleseté, akkor legalábbis bizonyos anyagok kezelésével kapcsolatos gyakorlaté. Amikor azt tapasztaltuk, hogy ezek a személyek fertőződnek, akkor megváltoztattuk ezen anyagok kezelési módját. Valószinű, hogy ez az oka annak, hogy a tritium-okozta sugárzás mértéke csökken. Kétségtelenül onnan ered, hogy besugárzott nehézvízzel dolgoznak.

Elnök: Mr. Fry, kielégiti Önt ez a válasz?

Mr Fry /Ausztrália/ Igen, ez nagyon is kielégitő; a táblázatban azonban ez az adat reaktor-üzemre vonatkozik, és igy szerettem volna megtudni, hogy ez a hatás nem annak volt-e a következménye, hogy fütőelemeket szereltek ki nehézvizzel müködő reaktorból.

Elnök: Mr. Steward, óhajt válaszolni erre a kiegészitő kérdésre?

Mr. Steward /Kanada/: Nem, a sugárhatás okozta fertőzés nem a fütőelemek kiszereléséből eredt.

Elnök: Tekintettel arra, hogy ismerem ezt a kérdést, szeretném ehhez még hozzáfüzni azt is, hogy ez a sugárhatás változás a szivattyúknál végrehajtott módositásokkal áll összefüggésben; de kapcsolatban áll ez az olyan balesetekkel is, amikor nehézviz-kifröccsenés következett be.

A következő kérdés Mr. Spitsyn /Szovjetunió/ kérdése, amit dr. McLean-hez intézett: "Mi most a rádióaktivitás szintje a Temze vizében, Londonnál, 1945-höz képest?

Mr. McLean /Egyesült Királyság/: Ez egyike azoknak az ábráknak, ami éppen nincs kéznél. Meg vagyok azonban győződve róla, hogy ez az adat rendelkezésre áll, és vannak a Hatóság Harwell-i és más csoportjaitól is jelen olyan képviselők, akiknél megvan ez az adat, és akik rendelkezésre fognak állni e kérdés megvitatásához az "Effluent Disposal" /Rádióaktiv hulladékok kiengedése/ kérdésével foglalkozó szakasz megtárgyalásánál.

Mr. Spitsyn /Szovjetunió/: /franciául/. Én meg vagyok elégedve, nem tudom azonban, hogy mások is meg vannak-e elégedve a válasszal?

Elnök: Van valaki esetleg a részvevők közül, akinél véletlenül rendelkezésre áll ez az adat? Talán dr. Marley?

Mr. Marley /Egyesült Királyság/: A Temze folyó ak-

tivitásának szintje London közelében, de kétségkivül minden más ponton is, amely kb. 1 mérföldnél távolabb esik attól a helytől, ahol nukleáris hulladékokat engednek bele a folyóba, kimutathatóan nem különbözik a viz természetes rádióaktivitásától, bármilyen rádiókémiai, vagy fizikai detektáló módszert alkalmazunk is. Ugy gondolom, hogy ez a valóságos helyzet. Ami annak a környéknek egészségvédelmét illeti, nálunk az a rendszer, hogy a rádióaktiv anyagok folyóba való bebocsájtását a kormány megfelelő szerve engedélyezi, amely figyelemmel kiséri a folyóvizbe kerülő rádióaktivitás mértékét. A maximálisan megengedett rádióaktivitás-szintet a hivatásos radiológiai dolgozók tolerancianivójának /occupational permissible level/ századrésze alatt tartjuk.

Elnök: Sajnálattal kell megállapitanom, hogy közeledünk a vitára rendelkezésre álló idő végéhez. Számos érdekes kérdés és hozzászólás van még a kezemben. Jelen pillanatban azonban még e/konferencia elején tartunk csak, és remélem, hogy nyilik majd alkalom arra, hogy ezeket a hozzászólásokat, illetve kérdéseket más ülések alkalmával vessék fel, illetve tegyék meg. Éppen ezért tehát még csak egy kérdést teszek fel, nevezetesen azt a kérdést, amit dr. McCullough-hoz Mr. Sidorenko /Szovjetunió/ intézett: "Van-e összegyüjtött tapasztalat olyan vizhütéssel hosszabb ideje működő reaktorral kapcsolatban, amelyeknél a hütőviz aktivitását vizsgálták? Mit használnak védelem céljából és melyek a hütőanyag rádióaktivitására vonatkozó határértékek? Milyen óvórendszabályokat alkalmaznak Önök rádióaktiv gázok disszipálódása ellen olyankor, amikor a hütőkörök fertőtlenitését végzik?"

Mr. McCullough /USA/: Mindenekelőtt valamennyi vizhütéses reaktorunknál, amelynél zárt kör szerepel, szürők és ioncserélő berendezések vannak beépitve abból a célból, hogy megtisztitsuk a vizet minden belekerülő rádióaktiv anyagtól. Másrészt viszont, amint azzal mindnyájan tisztában vagyunk, gondoskodni kell védelemről, tekintettel a nitrogén rádióaktivitásának rövid élettartamára. Éppen ezért nem túl

nagy a jelentősége annak az üzemeltetők besugárzása szempontjából - hogy a hasadási termékek mennyiségét zérus szinten tartsuk; ugyanakkor volt alkalmunk tapasztalatokat szerezni tönkrement fütőelemekkel kapcsolatban. Az a tapasztalatunk azonban, hogy nem helyes tovább működtetni az olyan reaktort, amelynél hasadási termék szerepel a vizben, mivel ez a karbantartást rendkivül költségessé teszi. Igy azután arra törekszünk, hogy a vizet annyira tisztán tartsuk, amennyire ez csak lehetséges, bár kényelmi szempontból bizonyos ideig tovább dolgozunk akkor is, ha a fütőelemek egy része tönkrement.

Sajnálom, de nem tudok Önnek számszerü értéket mondani arra vonatkozóan, hogy milyen volt az általunk használt hűtőközeg aktivitása. Ez változik, de megtettünk mindent annak érdekében, hogy megtisztitsuk a hűtőközeget olyan gyorsan, ahogyan csak lehetséges.

Ami a kilépő rádióaktiv anyagokat érinti, olyankor, amikor valamely hűtőrendszer fertőtlenitésére kerül sor, ha szerepelnek rövid felezési idejű rádióaktiv anyagok és gázok, és ha a szóbanforgó reaktor eléggé távoleső területen van, akkor ezt a környező légkörbe bocsájtjuk ki mindaddig, amig a rádióaktivitás az elfogadott türési határokon belül marad. Egyes, az Országos Légügyi Tanácsadó Bizottság berendezéseihez tartozó reaktorok esetében olyankor, amikor olyan kisérleteket végeznek, amelyek balul üthetnek ki, tárolóberendezésekről gondoskodtak a felszabaduló gázok számára, ahol ezeket a gázokat mindaddig tárolják, amig aktivitásuk szintje oly mértékben le nem csökken, hogy ki lehet bocsájtani őket a környező levegőbe. Kielégitő-e ez a válasz a feltett kérdésre?

Elnök: Köszönöm, dr. McCullough.

A MŰSZAKI SZEMÉLYZET KIKÉPZÉSE ÉS OKTATÁSA

II.Genfi Konferencia, G/23.a számu általános ülésének jegyzőkönyve

Elnök: W.G. Whitman /Egyesült Államok/

Nukleáris technikai és tudományos nevelés az Egyesült Államok egyetemein

Az ELNÖK: - Az ülésszak a müszaki személyzet kiképzésével és oktatásával foglalkozik. Nyolc nemzet képviselői elmondják, hogyan oldják meg náluk a nevelési problémákat.

Először röviden az Egyesült Államok egyetemein folytatott technikai és tudományos oktatás nukleáris szempontjai /P/2392/ cimü saját előadásommal foglalkozom. Ez az előadás az atomenergiával kapcsolatos müszaki problémáknak viszonylag uj területét tárgyalja.

Kezdetben a háboru alatt különféle mérnökök és tudósok fejlesztették reaktor-technológiánkat. Ők jelentették a tudományos magot. Ahogy a reaktorfejlesztés programja szélesedett, természetszerüleg növelni kellett ezt a magot is. Igen sok müszaki embernek kellett elsajátitania a reaktorépitéshez szükséges uj technológiát. Egyesek meghatározott időre az Argonne laboratoriumba nyertek beosztást. 1950-ben létrehozták az Oak Ridge-i reaktortechnológiai iskolát, itt 11 hónapos oktatási programot dolgoztak ki a szakemberek nevelésére. Oak Ridge jellege nagyban megváltozott, amikor később az egyetemek átvették az oktatást, de mig ezek fel készültek ilyen irányu szakoktatásra, addigra Oak Ridge kb. 600 szakembert képzett ki.

Az Argonne laboratoriumban 1955-ben alakult International School of Nuclear Science and Engineering lehetőséget nyujtott a külföldiek számára is, hogy ezt a tudományágat ta-

nulmányozhassák. Ezt az iskolát egy másik beszámoló irja le, amelyet ezen az értekezleten felolvasnak. Az intézmény működésében két egyetem vesz részt. Az egyetemeken bevezetendő atomtechnikai oktatás kivánatos voltát több oktatási vezető felismerte és az Atomenergia Bizottság is támogatta ezt a gondolatot. Az olyan fiatalemberekből, akik alapos kiképzést nyertek és élénk érdeklődéssel fordulnak a nukleáris vállalkozások felé, lesznek a jövő vezetésre alkalmas szakemberei. De hogyan tudja az ember megteremteni az értesülések és elképzelések cseréjének szabad folyását a tanár és hallgató között a jelenleg fennálló szigoru biztonsági rendszabályok között? Hogyan tudnak az iskolák megfelelően képzett oktatókat adni erre a teljesen uj területre? Továbbá, hogyan tudják az iskolák előteremteni az előreláthatóan nagy költségeket? Szerencsére ezek közül az akadályok közül az első - az értesülések kicserélése - az "atom a békéért" politika áldásos tevékenysége nyomán csakhamar eltünik; az 1955-ben megtartott, az atomenergia békés felhasználásáért összehivott ENSZ értekezletet követően ez általánosan tapasztalható. A két másik lényeges probléma - a pénz és a személyzet - még mindig fennáll.

Az Egyesült Államok Atomenergia Bizottsága /AEC/, hogy az egyetemeken folyó oktatást ösztönözze, néhány segitségnyujtási lehetőséget dolgozott ki az elmult években.

/1./ A bizottság hasadó anyagokat és nehézvizet kölcsönöz; az egyetemek reaktoraiban elégetett fütőanyagot ellenszolgáltatás nélkül reprocesszálja; továbbá tápelemeket gyártat.

/2./ Az oktatáshoz szükséges laboratoriumi felszerelések megvásárlására pénzt folyósit. Az idén tavasszal 68 oktatási intézmény majdnem 7 millió dollárt kapott.

/3./ A bizottság különleges egyetemi ösztöndijakkal támogatja az atomtechnikai diplomák megszerzését, különös hangsullyal a reaktorok fejlesztését illetően. Ezen segit-

ségével 81 hallgató tanulmányozta az elmult évben az alapvető atomtechnikai problémákat.

/4./ A fenti szerv segitséget nyujt az oktatásban résztvevő nevelők számára is. Ezen a nyáron 100 iskolából kb. 190 oktató iratkozott be ezekre a különleges tanfolyamokra.

További támogatást kapnak az egyetemek az Országos Tudományos Alaptól és más magánforrásokból is. Ennek ellenére igen sok főiskola huzódozik attól, hogy saját korlátozott pénzügyi eszközeit nukleáris oktatási berendezések és uj tanszékek létesitésére, sőt további folyamatos fenntartására használja fel. Hetvenöt olyan iskolát vizsgáltunk meg, amely már többé-kevésbé bevezette a nukleáris oktatást és megállapitottuk, hogy mindössze egy tucat van köztük olyan, amely meglehetősen teljes, főiskolai szinvonalú, nukleáris kiképzést nyújtana.

Az Egyesült Államokban ma sok véleménykülönbség áll fenn abban a kérdésben, hogy a nevelési feladatokat hogyan kell megoldani, de bizonyos nézetek már igen széleskörü helyeslésre találtak. Igy megegyeztek abban, hogy a nukleáris mérnöki oktatás nem képezheti az első egyetemi fokozatok megszerzése előtti tanulmányok tárgyát, hanem ezt már specializáltan a későbbi /"graduated"/, egyetemi tanulmányok során kell elvégeztetni. Az atomreaktorok fejlődése sok különböző adottságú szakembert követel meg ebben az iparágban, igy: olyan emberek kellenek, akik képzettek a fizika, a fémkohászat, a vegyészet, a gépészet vagy az elektromosság terén, ezeket mérnöki szinvonalon ismerik és akik aztán foglalkozásuknak megfelelően szakositják magukat a nukleáris problémák területén. Ezért logikus, hogy csak olyan hallgatókat szabad ezekre a tanulmányok utáni felsőfokú tanfolyamokra engedni, akiknek széles skálájú tudományos és technikai előképzettségük van.

Egyáltalán nem reális arról beszélni, hogy valamiféle "nukleáris mérnök" fogalmat kieszeljenek, aki minden

területen egyaránt képzett és képes arra, hogy a reaktorok rácsszámitásait elvégezze, megtervezze a hőkicserélő berendezést, kidolgozza az elégetett üzemanyag reprocessz álásának módszerét, valamint olyan uj anyagokat fedezzen fel, amelyek a megkivánt tulajdonságaikat megtartják a reaktorban is. Ezek a fizikus, a gépészmérnök, illetőleg a fémkohász feladatai. De olyan feladatok is vannak, amelyekhez a nukleáris technológia jellemvonásainak átfogó ismeretére van szükség.

A végzett hallgatók specializálása ennek az átfogó tudománynak elsajátitását célozza. A feladat, amelynek megoldását a továbbképzés céljául tüzte ki: ki kell képezni azokat a fiatal kutatókat, akik az uj eljárásokat bevezetik és továbbfejlesztik, megtervezik a gazdaságos erőmüveket és végső soron ők lesznek az atomkorszak ipari vezetői.

A MIT-nek, az én iskolámnak, tapasztalata szolgáljon illusztrálásként a nukleáris mérnöki oktatási program számára.

A nukleáris technika oktatását, mint az egyetemi tanulmányok utáni tanfolyamot az MIT-nál 1951-ben inditották meg 2-es létszámu előadógárdával. Megszervezték a reaktorelmélet és reaktortechnika oktatását; meginditották más különleges tantárgyak oktatását is a Fizikai Tanszéken.

Ma az oktatószemélyzet kilences létszámu és 94 hallgató tanult a mult évben - 25 közülük a doktori cimet kivánja megszerezni, mig a többiek a kandidátus cimért folytatják tanulmányaikat.

A kilenc tanár előképzettségének sokoldalusága szépen illusztrálja azt, hogy milyen széles szakmai körből kell összeállitani a teljes nukleáris technika oktató személyzetét.

Képzettségük a következő: ketten kisérleti fizikusok, egy reaktorfizikus, egy elméleti fizikus, egy biofizikus, egy vegyészmérnök, egy elektromérnök, egy gépészmérnök; egyikük pedig egy személyben vegyészmérnök és fizikokémikus is.

A hallgatók összetétele is hasonlóképpen heterogén. Legtöbben a fizikusok, vegyészmérnökök és gépészmérnökök vannak, de rajtuk kivül a hallgatók még vagy tiz különböző tudományágat képviselnek egyetemi alapképzés nivóján. Egyébként a hallgatóknak kb. 20 %-a külföldi és másik 25 %-a az Atomenergia Bizottság /AEC/ ösztöndijával került a tanfolyamra.

1951-ben már olyan vélemény alakult ki, hogy az egyetemen a reaktorra nincs is szükség. De 1953-ban teljesen megváltozott ez a felfogás, mert kitünt, hogy valamilyen reaktorra feltétlenül szükség van az egyetemi oktatásban. Azonban még mindig nagy a bizonytalanság, hogy milyen tipust használjanak és honnan teremtsék elő a pénzügyi alapokat. A MIT elhatározta, hogy a reaktorhoz szükséges anyagi fedezetet saját alapjából veszi, gondolva arra, hogy üzemanyaggal majd az Atomenergia Bizottság /AEC/ látja el.

A reaktort eredetileg ugy képzelték el, mintha erre csak az atomtechnikai oktatásban lenne szükség. De amikor a tervek hire az intézet különböző tanszékein elterjedt, nagy érdeklődés nyilvánult meg a reaktor iránt az abban rejlő kutatási lehetőségek miatt. Ez megváltoztatta az eredeti felfogást és a tervezett reaktort ugy módositották, hogy az több kutatási célra megfelelő legyen. A végső terv messze tulszárnyalta az eredeti elképzeléseket és költségvetéseket. Az Országos Tudományos Alap a felmerült külön költségekhez 500 000 dollárral járult hozzá és a Rockefeller-alapitvány 250 000 dollárt biztositott, hogy a reaktor a gyógyászati kutatásokhoz szükséges felszerelést is magába foglalhassa majd.

El kell ismerni, hogy a MIT reaktor tulságosan költséges ahhoz, hogy máshol igy járjanak el, feltéve, hogy ezt csak a nukleáris technikai oktatásban használják fel. Tekintsük azonban ugy, mint sokoldalú kutatási berendezést, amely igen sok, ma talán még előre nem látott célra is felhasználható.

Összegezve, mi az Egyesült Államokban, ugy véljük, hogy:

1./ A nukleáris technika a legkülönbözőbb képzettségü egyetemet végzettek számára speciális szakterület;

2./ A legnehezebb probléma a különböző szakterületekről összeválogatott oktatógárda kialakitása, amely eleget tud tenni a vele szemben kialakult várakozásnak.

3./ Ez a program igen költséges különösen akkor, ha az intézetet megfelelő kutatási berendezésekkel látják el és igy valószinü, hogy komoly pénzügyi támogatást kell kérni a kormánytól.

Mielőtt a következő előadót szólitanám,közölnöm kell Önökkel, hogy bizottságunk a mult kedden ügyrendi értekezletet tartott. A tagok azt javasolták, hogy én, mint elnök, vessek fel néhány kérdést bevezető megjegyzéseim során; néhány olyan pontról van szó, amely nevelési problémáinkat illetően általános érdeklődésre tarthat számot. Ennek a csoportnak bármelyik tagja a kérdések bármelyikére vonatkozólag szabadon kifejtheti véleményét, miután saját beszámolóját elmondotta.

A kérdések, amelyek az előzetes értekezleten szóbakerültek a következők:

1./ Folytassunk-e nukleáris oktatást az egyetemeken?

2./ Milyen oktatási stádiumban kell a hallgatóknál elkezdeni a nukleáris képzést?

3./ Hogyan lehet megfelelő radioizotop alapkiképzést adni a különböző szakmai képzettséggel és érdeklődési terü-

lettel rendelkező hallgatók számára?

4./ Hogyan lehet az oktatási programban az előadásokat és a gyakorlati munkát összeegyeztetni?

5./ Országában mennyi ideig tart a nukleáris kiképzés és mekkora a kiképzett hallgatók száma?

6./ Mi az előnye a külföldön folytatott tanulmányoknak?

Dr. Gomes /Brazilia/:

Ugy látszik, hogy általánosan elfogadják azt a tényt - legalább is az Egyesült Államokban - hogy a speciális nukleáris technikai oktatást az egyetemi tanulmányok elvégzése után kell megkezdeni. Az egyetemeken a jövő mérnökeit olymódon kell előkésziteni, hogy ott megbizható alapot kapjanak mind az alapvető, mind az alkalmazott atomfizika és magfizika területén.

Igy lehetőség nyilik arra, hogy olyan tartalék-mérnökgárdával rendelkezzünk, amely minden túlzott specializálás nélkül végezheti munkáját egy atomenergia-központban, anélkül azonban, hogy a mérnökök annyira egyoldaluakká válnának, hogy ez megnehezitené esetleges későbbi elhelyezkedésüket más szakterületen.

Ez rendkivül fontos olyan ország számára, mint Brazilia, ahol a magenergia termelése még nem ért el olyan fokot, hogy lehetséges volna az atomenergiaprogram végrehajtásaihoz szükséges mérnökök számának ésszerü tervezése.

Lényegében, amit mi tenni kivánunk, az a következő:

1./ A mérnökképzés során az alapvető atom- és magfizika területéről szabadon választható tanfolyamokat inditunk a legkülönbözőbb képzettségü hallgatók számára.

2./ Az atomenergia-központokban egyetemet végzettek számára tanfolyamokat inditunk. Itt alapvető technikai kiképzés fog folyni; sokra kerülnek az atomenergiaprogram végrehajtásához szükséges speciális mérnöki alapproblémák is.

Figyelembevéve a fizika, a kémia és a matematika oktatási szinvonalat a brazil müszaki főiskolákon, elhatároztuk, hogy a következő fakultativ tanfolyamokat tartjuk:

/A/ Matematikai kiegészitések
/B/ Atomfizika és atommagfizika
/C/ A modern fizika általános technikája
/D/ Alkalmazott magfizika

Ezeket a tanfolyamokat a legkülönbözőbb képzettségü hallgatók számára nyitják meg és az a céljuk, hogy olyan mérnököket adjanak, akik az atomenergiaközpontokban szükséges alapképzettséggel rendelkeznek. E központokban az egyetem befejezése után a mérnökök specializált nukleáris mérnöki tanfolyamon vesznek részt. Ezeken a tanfolyamokon az alapvető müszaki tárgy a reaktorok általános elmélete lesz, különös tekintettel a szokatlan feltételekre, mint a sugárveszély, a biztonság és megbizhatóság. Ezen alaptanfolyamok után a hallgatókat szakositják és azok olyan különleges témákkal foglalkoznak, mint a reaktorszabályozás, az alkalmazott magkémia stb. Ezeknek a diploma utáni tanfolyamoknak időtartama egy szemeszterre terjed egész-napos tanulás mellett.

Ez a szkéma négy év alatt szerzett tapasztalataink eredménye, amelyeket annak során szereztünk, hogy az atomenergia felhasználása céljára mérnököket képeztünk ki. A nyert eredmények azt mutatták, hogy a Braziliában folytatott rendes mérnöki oktatásból igen kiváló egyéniségek kerülnek ki a különböző mérnöki szakokról, ha fizikai kiképzésüket olymódon bővitik ki, hogy a tanulás során az atom- és a magfizika legfontosabb témakörei sorrakerüljenek; és ha ezt az oktatást később még jobban szakositott tanfolyamokon folytatják.

E kiképzési programmal a legkülönbözőbb szakképzettségü mérnökökből álló gárdát tudjuk kialakitani, akik munkacsoportként dolgozhatnak. Közös alapképzésük folytán elérhető az, hogy egy vegyész valamely kémiai problémát olyan mó-

don oldjon meg, hogy ennek következtében ne lépjenek fel megoldhatatlan problémák a reaktortervező munkája során, vagy vice-versa. Ez a közös kiképzés aztán megszünteti azt a veszélyt, hogy egy olyan reaktort épitsenek, amely csak különböző területről vett önálló problémák halmaza. Ez a helyzet továbbá minden kutatóban tudatositja, hogy az ő munkája szorosan kapcsolódik a többiekéhez és igy egyre szorosabb lesz az együttmüködés.

Most pedig arra a kérdésre utalva, hogy helyes-e nagy mértékben támaszkodni a külföldi központokban folyó kiképzésre, az a véleményünk, hogy legjobb az atomközpontok személyzetének azon tagjait kiküldeni, akik már a nukleáris technikai alapkiképzésen otthon átestek. A külföldre küldött mérnökök vagy speciális tanfolyamokat végezzenek el, vagy ami még jobb, dolgozzanak egy speciális feladattal foglalkozó kutatócsoport tagjaként. Igy az alaptanfolyamok megismétlése elkerülhető.

Ugyanakkor ugy véljük, hogy a külföldi utból a speciális területen dolgozó fizikusok vagy a vegyészek többet nyerhetnek, mintha otthon tanulnának.

Lényegében ugy véljük, hogy a külföldi országok együttmüködése sokkal kellemesebb és hasznosabb lesz, ha az eszmecserék a már magasabb szinvonalon álló problémákra és a megfelelően specializált témákra korlátozódnak.

B.Kvazil /Csehszlovákia/:

A Csehszlovák Köztársaság kormányának 1955. augusztus 25-i határozata alapján a Károly Egyetemen T e c h n i k a i , F i z i k a i é s M a g f i z i k a i K a r t szerveztek, és Magfizikai Technikum nyilt meg.

A prágai Károly Egyetem Technikai, Fizikai és Magfizikai Karán az oktatást három irányban: az atomtechnika, a magfizika és a magkémia terén végzik.

Az atomtechnika tanfolyama öt és féléves. Az atomtechnika alkalmazásainak megfelelően tanulmányozása két szakterületen történik. Az első terület lényege: hogy a hallgatók megfelelő ismereteket sajátitsanak el a reaktorok és atomkutató telepekhez szükséges különleges gépi berendezések tervezésében. A másik szakterület a magfizikához és az atomtechnikához szükséges kisegitő elektronikus berendezések megszerkesztésére, valamint a reaktorok méretezésére, vezérlésére forditja a fő figyelmet.

A fő tantárgyak mellett, melyek megegyeznek a gépipari és az elektrotechnikai karokon oktatott tantárgyakkal, a fenti tanfolyamon nagy figyelmet forditanak az atomfizika alapjaira, az atommag fizikájára és a magfizika kisérleti módszereire. Mindkét szak fő tantárgya a reaktorok elmélete és szerkesztése. Ezenkivül az első szakterületen tanulmányozzák az atomkutató telepek gépi berendezését és a reaktorok technológiáját, a második szakterülethez, mely inkább kisérleti jellegü, kiegészitőleg felveszik a magfizikához az elektronikát, és tanitják a reaktorok vezérlésének és méretezésének módszereit. A hallgató diplomamunkáját a tizenegyedik félévben készíti el.

A magfizika oktatásának ideje öt esztendő. E szak fő tantárgyai: az atom- és a magfizika alapjai, a magfizika kisérleti módszerei, kvantummechanika és a sugárzás kvantumelmélete, az atommag elmélete, a neutronfizika, reaktorok fizikája, a magfizikával kapcsolatos elektronika. A magfizika tanulmányozását a szakdolgozattal fejezik be. A szakdolgozaton a hallgatók a negyedik és ötödik évfolyamon dolgoznak.

A magkémiai oktatás ugyancsak ötesztendős. E területen a főtantárgyak: radiokémia, a radioaktiv elemek kémiája, radiokémiai preparátumok előállitása, nyomjelző vegyületek előállitása, radiokémiai elemzés, hasadási termékek kémiai feldolgozása és a radioizotópok előállitása, magkémiai technológia. A magkémia tanulmányozását az ötödik évfolyamon szakdolgozat elkészitésével fejezik be.

Az a nagy kereslet, mely magfizikus mérnökökben mutatkozik, szükségessé tette, hogy a gépgyártás, az elektrotechnika és a vegyészet terén dolgozó mérnökök részére továbbképző tanfolyamokat szervezzenek. Ilyen tanfolyamot Csehszlovákia több főiskoláján inditottak, nevezetesen a prágai Károly Egyetem Technikai, Fizikai és Magfizikai Karán és Pilsenben a Gépipari Karon. A továbbképző tanfolyamokon azok a hallgatók, akik már elvégezték a gépipari, elektrotechnikai vagy vegyészmérnöki szakot, kiegészitik ismereteiket a gépgyártás és az elektrotechnika terén atomtechnikai ismeretekkel is.

A magfizika problémaköre sok más tudományághoz kapcsolódik. Ezért elhatározták, hogy az atomfizika alapjait az összes főiskolán tanitani fogják.

Atomerőmüvek és radioizotópokkal dolgozó intézetek épitéséhez a főiskolai képzettségü munkatársak mellett müszaki középkáderekre is szükség van. Ezért a kormány határozata alapján Magtechnikai Ipariskolát létesitettek. Ezen az ipariskolán három szak van: magfizikai, magtechnikai és magfizikai berendezések elektronikája szakok.

A magfizikusok képzésénél Csehszlovákia arra a nagy segitségre támaszkodik, melyet a többi országok nyujtanak neki. Különösen értékes a Szovjetunió segitsége. A Szovjetunióban olyan főiskolákon, ahol magfizikai szak is van, mintegy 140 csehszlovák állampolgár tanul, néhányan már be is fejezték tanulmányaikat. Mintegy 120 csehszlovák kutatónak és mérnöknek volt lehetősége arra, hogy szovjet tudományos intézetekben végezzen szakgyakorlatot. E tudományos munkatársak közé számitjuk azokat is, akiket az első csehszlovák kisérleti atomreaktor üzemeltetésére képeztek ki; e reaktor 1957 szeptemberétől kezdve van üzemben a Magfizikai Intézetben, továbbá azt a csoportot, melyet az épülő ciklotron ellátására képeztek ki. Fiatal csehszlovák állampolgárok, tudományos aspiranturán tudományos munkát végeznek a Szovjetunióban, a disszertációjuk megvédése a tudományok kandidátusi fokozat elnyerésének előfeltétele.

Csehszlovák szakértők nagyobb csoportja járt a Szovjetunióban az első csehszlovák nukleáris berendezés tervének elkészitésével kapcsolatban.

A csehszlovák atomfizika fejlődése szempontjából igen értékes, hogy Csehszlovákia tagja az Egyesült Atomkutató Intézetnek és a csehszlovák tudományos dolgozók résztvesznek Dubnában az intézetnek a maga nemében páratlan berendezésein folyó munkákban.

Az utóbbi időben a csehszlovák kutatóknak lehetőségük nyilt arra, hogy részt vegyenek a nyugat-európai országok tudományos intézeteinek munkájában, nevezetesen a Laboratoire de chimie nucléaire /College de France/, a Saclay-i francia tudományos intézet, a Clarendon Laboratory /Oxford/ és más intézetek munkájában.

Értékes ismereteket és tapasztalatokat szereztek a csehszlovák szakértők más atomfizikai kutatással foglalkozó intézetekbe és ipartelepekre történő utazásaink során: Harwell, Calder Hall, Chatillon, Le Bouchet, Orsay, CERN és mások megtekintésekor.

Feltételezhetjük, hogy a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség tevékenységének fejlődésével a magfizikus szakértők képzése terén kibővülnek a nemzetközi kapcsolatok, főképpen az egyes országok közötti kölcsönös együttmüködés irányában.

Jean Debiesse /Franciaország/:

Franciaország, mint sok más, tudományos és technikai téren fejlődőben levő modern ország, néhány év óta mérnök- és tudóshiányban szenved. Ez a hiány egyre sulyosabbá válnék, ha leküzdésére nem történtek volna megfelelő intézkedések.

Az alapvető kutatások és alkalmazott kutatások szorosan kapcsolódnak egymáshoz. A mérnökök és tudósok képzésének ezekhez az uj tényekhez kell igazodnia s tudomást kell vennie arról, hogy a tudomány jelenlegi állapota nyomban kihat az iparra.

A fenti két ok volt az, amely a S a c l a y - i M a g k u t a t ó K ö z p o n t o t /C.E.N./ oktatások megszervezésére vezette.

A Magkutató Központban az oktatás eleinte belső célokat szolgált, az elméleti atomfizika és az atomtechnika számára képzett ki az intézet munkatársaiul választott fiatal tudósokat és mérnököket. Ezek az előadások és szemináriumok alakjában folyó időszakos oktatások lassanként átalakultak tanfolyamciklusokká és megnyiltak intézeten kivüli hallgatók számára is.

1949-ben, az Országos Egészségügyi Intézet és a Tudományos Kutatások Országos Központja együttmüködésével nyilvános oktatás indult meg mérnökök, tanárok, orvosok, gyógyszerészek részére, melynek tárgya a radioaktiv elemek alkalmazása volt.

Folyamatosan megszerveztek kvantummechanikai, elméleti fizikai, magfizikai és atom-mérnöki tanfolyamokat is.

A C.E.N. /Magkutató Központ/ ugyanakkor egyre nagyobb számban vett fel gyakornokokat az iparból és a felsőoktatásból.

Igy a C.E.N. egyre inkább egyetem szerepét kezdte betölteni és szükségessé vált egyrészt az, hogy hivatalosan elismerjék a Saclay-ban elvégzett tanulmányokat, másrészt, hogy a hivatalos oktatási szervekkel: az egyetemekkel és a főiskolákkal semminemü elvi összeütközés ne támadjon.

Mindezeket a problémákat megoldotta az 1956. junius 18-i határozattal S a c l a y b a n m e g a l a k u l t O r s z á g o s N u k l e á r i s T u d o m á n y o s é s M ü s z a k i I n t é z e t . Ez az intézet a Miniszterelnökség /az Atomenergiaügyi Kormánybiztosság feletes szerve/ és az Oktatásügyi Minisztérium fennhatósága alatt áll s Oktatásügyi Tanácsát

a C.E.A. /Atomenergiaügyi Kormánybiztosság/
az Ipari és Kereskedelmi Minisztérium,
a Földmüvelésügyi Minisztérium,
az Egészségügyi Minisztérium és
az Oktatásügyi Minisztérium

képviselői alkotják.

Az Oktatásügyi Minisztérium képviselői az Egyetem természettudományi kari dékánjaiból, az Egyetem orvosi és gyógyszerészeti kari dékánjaiból, a minisztérium igazgatóságainak vezetőiből és a párisi és vidéki egyetemek tekintélyes professzoraiból tevődnek össze. Az Oktatásügyi Tanács áttanulmányozza az Országos Nukleáris Tudományos és Müszaki Intézet /I.N.S.T.N./ oktatási terveit és programjait; ezeket az intézet igazgatója terjeszti elő, akit egyébként a miniszterelnök és az oktatásügyi miniszter együttesen nevez ki.

Az I.N.S.T.N. oktató testületét a miniszterelnök és az oktatásügyi miniszter által kinevezett tanárok, kari professzorok, Saclayban dolgozó mérnökök és magániparbeli mérnökök alkotják, akiket megbiztak a tanfolyamok vezetésével.

A z I n t é z e t - egyes egyetemi fakultatásokkal történt megegyezés alapján - d i p l o m á k a t

adhat ki, melyek egyenértékűek az egyetemi fakultások 3. tagozatának oklevelével.

Diplomatételeket is ki lehet dolgozni az I.N.S.T.N.-ben és igy az Intézet egyes területeken /3. tagozat/ a Természettudományi Kar szerepét tölti be.

Egyébként az Atommérnöki Főiskolán kiképzett mérnökök oklevelet kapnak, melyet Franciaországban az illetékes szervek hivatalosan elismernek.

Az I.N.S.T.N. jelenlegi helyzete

Az oktatás tárgykörei jelenleg a következők:
/1957-1958 egyetemi év/

A - Felsőoktatás

kvantummechanika /1/
részecskegyorsitók elmélete és technikája /2/
speciális fémkohászat /2/
radiobiológia /3/
folyadékok hőtana és mechanikája

/1/ Ez az oktatás a Sorbonne 3. tagozatán nyert oklevél keretébe tartozik.
/2/ Ezek a Saclay-ban elvégzett tanulmányok diplomával járnak, mely egyenértékű egy egyetemi alapvizsgai oklevéllel.
/3/ Ezeknek a tanulmányoknak elvégeztével a hallgató az Oktatásügyi Minisztérium által bejegyzett címet /oklevelet/ kap.

Az e csoportba tartozó tanfolyamok hetente 3-4 óra előadásból, továbbá a gyakornokok laboratóriumi munkájával

kapcsolatosan 1-2 munkamegbeszélésből állnak.

B - Atommérnöki oktatás

Az ipari mérnökök, akik ezeket a tanfolyamokat hallgatják, egy évet töltenek Saclay-ban, mintegy 130 előadást hallgatnak, gyakorlaton vannak Marcoule-ban a reaktoroknál és a reaktorterveket tanulmányozzák.

A C.E.N. /Magkutató Központ/ ilyen módon több mint 200 atommérnököt képzett ki.

C - Széleskörü oktatás

Néhány hetes /2-6 hétre terjedő/ gyakorlatokat szerveztünk meg mérnökök, tanárok, orvosok és gyógyszerészek számára.

Pedagógiai szempontok az I.N.S.T.N. oktatásban

A laboratóriumi gyakorlatra alapitott, fokozottan kisérleti jellegű oktatáson kivül más uj követelményekhez is kötötték a Saclay-i vizsgákat:

a vizsgák főleg az egész egyetemi év folyamán nyert jegyektől függnek,

a 3. tagozat diplomájának elnyeréséhez vizsgát kell letenni egy külföldi tudományos nyelvből és szakirodalomból,

az irásbeli vizsgákon a jelöltek igénybe vehetik a könyvtár klasszikus munkáit.

Egy további ujitás az, hogy a nyert oklevél nem végleges jellegű. Ezentul az atommérnöki oklevelet 5 éven belül meg kell ujitani. Ezen idő elteltével az oklevél tulajdonosának további tizenöt napos gyakorlatot kell végeznie az I.N.S.T.N.-

ben, amivel igazolja ismereteinek felfrissitését és meghosszabbitja oklevelének érvényességét.

A munka előmozditása céljából 1957. októ-ber óta működik egy technikusokat mérnökökké továbbképző oktatási tagozat.

Ez az Állami Technológia védnöksége alatt áll, s jelenleg a C.E.A. 160 tagja vesz benne részt; két éven belül remélhetőleg ki fognak tudni válogatni a hallgatók közül mintegy husz-harmincat, akiket az Oktatásügyi Minisztérium ösztöndijával egy évi - teljes idejű - továbbtanulásra küldenek az Állami Technológiára. A legjobbak azután, ha már eredeti kutatómunkáról tudnak beszámolni, mérnökök lesznek.

Ezzel a gyorsitott kiképzéssel a technikusokból 4 év alatt mérnökök válhatnak.

Az ismertetett oktatási rendszereken kivül megindult egy általános, széleskörü akció. Sajtótájékoztatások, előadások, kiállitások, látogatások Saclay-ben, a rádió, a mozi, a televizió mind azt célozták, hogy felkeltsék a közönség érdeklődését s igy az ifjuság megismerje a tudományos pályák nyujtotta lehetőségeket s kedvet kapjon az uj szakmákhoz.

Mérnökök mentek el a gyárakba, állami gimnáziumokba, müszaki középiskolákba, mérnöki továbbképzőkbe, a természettudományi karokra és vetitéssel és gyakorlattal egybekötött előadássorozatokat tartottak.

Saclay-ban gyakorlati studiumokat szerveztek második egyetemi fokozatú tanárok, müszaki iskolai tanárok és a felsőoktatás tanárai számára, hogy megismertessék velük az "élő" tudományt.

A C.E.N. szivén viselve a magenergia jövőjét s szükséges tudós- és technikusgárda gyors kiképzését, nagy mértékben járult és járul hozzá ma is a cél megvalósitásához.

KFKI 200

Mr.Anbar /Izrael/:

A Rehovoth-ban lévő Radioizotóp Kiképző Központot /Izrael/ három évvel ezelőtt állitotta fel a Weizmann Tudományos Intézet, hogy kielégitsék az ország radioizotóp technikában jártas szakemberekre vonatkozó szükségletét. 1956 óta 8 tanfolyamot tartottak, beleértve a kémikusok, fizikusok és biológusok, mérnökök és középiskolai tanárok részére szánt tanfolyamokat. Az ezeken a tanfolyamokon résztvevők teljes száma 130, valamennyien izraeli születésüek. Éppen mostanában rendeztünk speciális nemzetközi tanfolyamokat a Nemzetközi Atomenergia Hatóság részére. Ezen az értekezleten bemutatott P/1616 számu dolgozatban a központok berendezésének részletes leirása és a tanfolyamok tanmenete kerül ismertetésre. Amint láthatók az adott értekezésben szereplő leirásból, igen sokféle berendezésünk van ahhoz, hogy kisérleteket végezzünk a magfizika és a radioizotóp-alkalmazás különböző területein, másrészről viszont korlátoz bennünket a laboratóriumok befogadóképessége, amely a résztvevők számát csoportonként 12-18-ra szoritja le. Ennek a korlátozásnak megvan az a nagy előnye, hogy lehetővé teszi speciális tanfolyamok tartását olyan kis csoportoknak, amelyek közös tudományos alapképzettségü és az izotóp-alkalmazással rokon területeken érdekelt személyekből állnak. Bár az összes Rehovoth-i tanfolyam alapvető kiképző kurzus, valamennyi alkalmazkodik a résztvevő csoport alapismeretéhez és igényeihez. A különféle tanfolyamok tanmenete között fennálló különbségeket kimutattuk dolgozatunkban.

A tanulmányi anyagnak és a kisérleti technikának e különleges elsajátitása képessé teszi a tanfolyam hallgatóit, hogy érdeklődési területükön késedelem nélkül alkalmazzák a radioizotópokat. Ugy találtuk, hogy egy átlagos egyetemet végzett hallgató számára kb. 120 előadási és 120 laboratóriumi gyakorlati óra az a szükséges minimális idő, amely alatt a nukleáris fizikát megfelelően elsajátitja, megérti,

megfelelő gyakorlatra tesz szert a radioizotópnak saját érdeklődési területén való alkalmazásában. Ehhez még 250 otthoni órát is számitottunk tanfolyamonként. Ezek a követelmények a tanfolyam időtartamát 10-14 hétben állapitják meg abból kiindulva, hogy a résztvevők teljes idejüket a tanfolyamnak szentelik.

Ennek a rendkivül hatékony tanfolyamnak az az eredménye, hogy a hallgatók 70 %-a, amint befejezte a tanulmányaikat, azonnal alkalmazza a radioizotópokat intézményénél. A végzetteknek több mint 30 %-a vissza-visszatér a központba további útmutatásért és tanácsért. Azáltal, hogy hallgatóinkkal nem mint tanárok, hanem mint konzultánsok érintkezünk, értékelhetjük és birálhatjuk saját oktatási módszereinket.

Az ilyen intenziv egész napos, három hónapig tartó program alig illeszthető be az egyetem tantervébe. Továbbá laboratóriumaink lehetőségei aránytalanul jobbak, mint a szokásos egyetem utáni tanfolyamok programjáé. Ezért Whitman professzor kérdésére azt válaszolhatom, hogy az ilyen jellegű tanfolyamok sokkal inkább az atomkutató központokba valók, mint a szokásos egyetem utáni tanfolyamokra.

Whitman professzor feltette a gyakorlati munka és az előadások közötti együttmüködés kérdését is. Ez egyike a legkomolyabb didaktikai problémáknak, amelyekkel szembe kell néznünk; azt kell mondanom, hogy ezt még nem oldottuk meg, mert az oktatásban jelentkeznek más problémák is, amelyeket le kellett győznünk, néha anélkül, hogy végső megoldást találtunk volna.

Ezért azt javasolom, hogy olyan programot dolgozzunk ki, amely lehetővé teszi a különböző radioizotóp-kiképző központok együttmüködését és információinak kicserélését.

Amint a különböző radioizotóp-kiképző iskolák által az értekezlethez beterjesztett előadásokból látható, az ösz-

szes ilyen jellegű intézmények hasonló problémákkal küzdenek, s az elgondolások és tapasztalatok cseréje mindnyájunk számára nagy fontossággal birna.

Javaslatunk az, hogy a radioizotóp oktatási központok cseréljék ki tanmeneteiket, eredményeik kritikai értékelésével együtt.

A különleges müszerezést, amelyet az oktatás céljára készitettek, meg kell osztani a különböző oktatási központok között. Reméljük, hogy a Nemzetközi Atomerő Ügynökség lesz az a szerv, amelyik támogatni fogja ezt az együttmüködési programot.

Mr.Goedkoop /Norvégia/ beszámolója:

Mint az már általánosan ismert, a nukleáris energiaprogram irányitását végző felelős szervek már régen együttmüködnek Norvégiában és Hollandiában. Ennek egyik formája az Egyesitett Atomenergiai Kutató Intézet Kjellerben, /Joint Establishment for Nuclear Evergy Research/ Norvégiában. Ez év áprilisában e létesitmény mellett megnyilt a Holland-Norvég Reaktor Iskola. Néhány részletet már elmondtam erről az iskoláról abban az előadásban, amelyet a két kormány közösen terjesztett be e konferencia elé.

Az iskola annak a fejlődésnek logikus eredménye, amelyet a két ország 1951-ben kezdett meg az együttmüködés területén Kjellerben. Mint ahogy a neve is mutatja, ennek az intézménynek elsődleges célja a kutatás volt, és az is maradt mind a mai napig. Egy olyan kutató állomás, amely teljesen uj területen dolgozik, nem kerülheti el azt, hogy egyidőben oktatási központ is ne legyen, hiszen saját személyzetét is tanitania kell. A létesitmény első napjától kezdve a két ország elsőszámu kiképző helyévé lett az atomtudomány és nukleáris technika területén, sőt kisebb számban külföldiek is dolgoznak itt. Pontosabban: az elmult években Hollandián és Norvégián kivül 13 egyéb országból, 30 tudós dol-

ozott a központban félévtől egy évig terjedő időtartamig, vendégként, és ők egyrészről szaktudásukkal segitséget nyujtottak, másrészről tapasztalatokat szereztek Kjellerben.

A Kutatóintézet növekedésével elérték azt az állapotot, amikor már nem volt többé kielégitő a normális munka során elsajátitott ismeret és egyre szükségesebbnek tünt a kiképzés sokkal formálisabb fajtájának bevezetése. Igy müszaki dolgozóink számára lehetővé tették a hosszabb ideig tartó tanfolyamok lehetőségét, hogy gyorsabban és biztosabban ismerkedjenek meg ezzel a területtel.

A Reaktoriskola meginditásával a kiképzés és a kutatás elkülönitése Kjellerben sokkal határozottabbá lett, mint annak előtte. Az iskolában egésznapos tanfolyamon foglalkoztak a nukleáris energiával. Itt egyaránt tanultak kutatószemélyzetünk ujonnan felvett tagjai és olyan hallgatók, akik Kjellerben csak a tanfolyam idején tartózkodtak. Az iskola igy hasonló az Egyesült Államok és az Egyesült Királyság ugyanilyen jellegü, de régebbi intézményeihez.

Az egyik kérdés, amelyet a tisztelt Elnök ur felvetett, az volt, hogy vajon helyes-e a nukleáris kiképzést a kutatóközpontokban összpontositani, és nem kellene-e az egyetemek keretein belül hagyni ezt az oktatást. Ugy gondolom, hogy Norvégiában és Hollandiában inkább a központi oktatást kedvelik jobban, mert hosszulejáratu megoldást eddig csak igy tudtak gyakorlatilag és biztonságosan megteremteni. Mint más országokban, ugy nálunk is a nukleáris energia történelmi fejlődése oda vezetett, hogy kutatóközpontunkban összpontosult mind a felszerelés, mind pedig a gyakorlott személyzet.

A két országban a felsőoktatási intézmények nem rendelkeznek saját reaktorral és kiképzett személyzettel és igy nem folytathatnak megfelelő fokú oktatást. Ezért az az általános vélemény, hogy legalább is a jelen pillanatban a leg-

praktikusabb lépés az, hogy a kiképzést a kutatóközpontokban kell megvalósitani. Természetesen egyetemeink fokozatosan megkezdik saját hatáskörükben az oktatást és a Delft-i müegyetemen már folyamatban van egy saját reaktor épitése. Ezen tulmenően a kutatóközpontok és az egyetemek között gyakorlati megállapodások jönnek létre magasabbfoku tanulmányok megvalósitása céljából ugy, hogy a hallgatók a kutatóközpontokban dolgoznak disszertációjukon az egyetem felügyelete alatt.

Iskolánk néhány gyakorlati részletét kivánom megemliteni. A Reaktoriskola épületében 30 személyes előadóterem, egy laboratórium és néhány dolgozószoba kapott helyet. A szokásos tanfolyam 9 hétig tart, heti öt tanitási nappal. Délelőtt előadások vannak, délutánonként az iskola laboratóriumában dolgoznak a hallgatók, vagy a Kjeller-i nehézviz reaktornál végeznek kisérleteket. A tanfolyam ideje alatt a hallgatók meglátogatják a Halden-i vizforraló reaktort, a norvég Agrártudományi Egyetemét; megnézik Stockholmban a közös svéd-norvég vállalkozást, az exponenciális kisérletet. Az előadók főleg saját kutatószemélyzetünkből kerülnek ki, de időről-időre más kutatókat is meghivunk, mint vendégelőadókat,létesitményünkhöz.

Az első 9 hetes tanfolyam az idén 1958. áprilisában kezdődött, és ezen holland, norvég és svájci hallgatók vettek részt. Az a vélemény alakult ki, hogy igen jól sikerült. A következő tanfolyam mához egy hétre kezdődik.

Ezeken az általános tanfolyamokon kivül néhány különleges tanfolyam tartására is felhasználtuk az iskolaépületet. Ezen a nyáron például norvég és holland középiskolai tanárok számára rendeztünk tanfolyamot, és egy kéthetes összejövetelen az Európai Gazdasági Együttmüködési Szervezet OEEC felügyelete alatt a magasbeosztásu müszaki vezetők egy csoportját is oktattuk.

Összefoglalva: sokat várok a még elhangzó vitáktól. Meg szeretném említeni, hogy az elkövetkezendő években néhány változást tervezünk a Norvég-Holland Társaságban. Mint ahogy az valószinüleg köztudomásu, ez a Társaság soha semmiféle politikai elképzelést nem tett magáévá; pusztán csak a tiszta gyakorlati követelményekkel és elképzelésekkel foglalkozott. Azonban mindkét országban ujabb elképzelések születtek, és az elkövetkezendő években a Társaság formáját ezekhez kivánjuk majd igazitani. Az történik majd, hogy ahelyett, hogy Norvégiában müködnének együtt egy intézetben, a két országban több specializált intézetet állitanak fel - mindig abban az országban, ahol a legpraktikusabbnak találják. Ebben az uj helyzetben majd ezt a reaktoriskolát, mint a közös létesitmények egyikét müködtetjük.

Mr. Duran /Spanyolország/:

A tudósok és technikusok kiképzése a spanyol Atomenergia Bizottság müködésének első éveiben megindult, egyidejüleg a kisérleti munka megkezdésével; kiküldötték őket különböző országokba, hogy ott egyes tárgykörökben megszerezzék az elméleti alapismereteket, másrészt, hogy jártasságot szerezzenek egyes konkrét müszaki kérdésekben. 1955 végén, amikor az Atomenergia Bizottság már széleskörü kutatási programot valósitott meg, szükségesnek mutatkozott szabályszerü tanfolyamok megszervezése; ezek kettős céllal alakultak: az első cél müszaki személyzet kiképzése volt, olyan személyzeté, amelyet fel lehet használni az iparban; a másik cél pedig olyan emberek kiképzése volt, akik később majd alkalmasak lesznek arra, hogy az Atomenergia Bizottság saját laboratóriumaiban dolgozzanak.

Az első tanfolyamot 1956. első hónapjaiban rendezték és csak két hónapig tartott. 12 hallgató vett részt benne, 8 a mérnöki és 4 a természettudományi szakon. Az emlitett tanfolyamon a következő tantárgyakat adták elő: reaktor-fizika és reaktor-technika, müszerezés, radioaktiv elemek lelőhelyei és bányászata, uránium-kémia, fémfeldolgozás, radioaktiv izotópok felhasználása, egészségügyi fizika és hőátadás.

A kisérleti munka alapvetően magfizikára irányult és abból állt, hogy meghatározták egy sugárzást mérő detektor jellegzetességeit, a radioaktiv bomlások felezési időit, az alfa és béta sugarak abszorpciós koefficienseit bizonyos anyagokban, lassu neutronok befogási keresztmetszeteit bórban és rézben. Urániumkémiai és metallurgiai gyakorlatok terén pedig potenciometeres, polarografiás és spectrofotometriás analiziseket végeztek urániumérceken, az uránium hőciklusaiban, a korrózió vizsgálatoknál stb. továbbá részletes vizsgálatokat végeztek az Atomenergia Bizottság berendezéseinek bevonásával.

Közvetlenül ezután, ugyanebben az évben alakult meg egy másik uj tanfolyam azonos programmal és időtartammal, amelyen szintén 12 hallgató vett részt, ugyanolyan tantárgyszerinti megoszlással, mint az előbb emlitett tanfolyamon.

Az első két tanfolyamon szerzett tapasztalatok alapján egy hosszabb, hét hónapos tanfolyamot szerveztek, 1956. november 1-től 1957. junius 1-ig. 15 hallgató vett részt rajta: 8 mérnök, 4 fizikus és 3 kémikus. Ötöt ezek közül az iparból küldtek, kettő Uruguayból származott és egy Argentinából. Az emlitett tanfolyamon ismeretett anyag azonos volt az előzőkével, csak részletesebben tárgyalták.

A kisérleti részleg kibővült az előző kurzusokhoz képest, létrejöttek - az eddigieken felül - laboratóriumi gyakorlatok, melyek a szcintillációs számlálókkal, elektronikus áramkörökkel, az uránium fémfeldolgozásával és tisztitásával, biológiai minták autoradiografiájával, a radioaktiv por ellenőrzésével stb. foglalkoznak.

Egy második kurzus, az előzőhöz hasonló, alakult meg 1957 november 1-től 1958 junius 1-ig; ebbe beiktatták azokat a legjobb tantárgyakat, amelyeket az első tanfolyam alapján a tapasztalat javasolt. A tanfolyam két része közül az első célja az, hogy valamennyi tanuló részére általános

fogalmakat adjon a nukleáris energetikáról. A tárgyak négy alapvető irány köré csoportosultak: magfizika, magkémia, nukleáris müszerek, egészségügyi fizika.

Az első tárgykör bevezetést ad a reaktor-fizikába. A magkémia magában foglalja az urániumkémia és metallurgia alapjait és az izotópok kiválasztását. A nukleáris müszerek c. előadások tárgya annak ismertetése volt, hogyan használhatjuk ki a legjobban a detektáló és a mérőeszközöket; általános kérdésekre is kitért, anélkül, hogy részletesen leirta volna az elektronikus áramköröket és szerkesztési feladatokat. Az egészségügyi fizika tárgykörébe tartozik a radioaktivitás biológiai hatása, valamint az árnyékolás és sugárvédelem stb.

Az első rész vizsgákkal zárult, melyek arra szolgáltak, hogy kiválogassák a tanulók közül azokat, akik meg tudják szerezni az ismeretek bizonyos minimumát, valamint alkalmasak a tanfolyam második részének elvégzésére. Ez a rész négy hónapig tart és ez alatt a tanulók egy speciális területet választhatnak a következők közül: reaktorfizika, reaktortechnika, nukleáris elektronika. Ezenkivül még különböző más témákról, mint a metallurgia, szervo-rendszerek, radioaktiv izotopok alkalmazása, besugárzott tápanyagok kezelése, reaktorgazdaságosság stb. is tartanak előadásokat.

A hallgatók ezen elméleti tanfolyam látogatásával egyidejüleg az Atomenergia Bizottság különböző részlegeiben és csoportjaiban gyakorlati munkákat végeztek.

Amikor az anyagi eszközök megnövekedtek, a hallgatók száma 16-ra emelkedett, nagyobb részük - mint az előző tanfolyamokban is - az ipar területéről érkezett. A tanfolyamokon részt vett két latin-amerikai hallgató is: az egyik Columbiából, a másik Ecuadorból.

Jelenleg alakul egy másik hasonló tanfolyam, melynek 1958. novemberében kell megkezdődnie, s valószinüleg 1959.

juniusában fejeződik be. Megkezdődött sokkal szélesebbkörü tanfolyamok szervezésének tanulmányozása is, melyek előreláthatólag 1959. év folyamán indulnak meg. Ezek a tanfolyamok általános vonásaikban hasonlóak a már emlitettekhez. Szintén két részből állanak: az első rész az általános kiképzést szolgálja, a másik speciális. Ezeknek a jövőbeli tanfolyamoknak a megvalósitását elő fogja segiteni egy 3 MeV-es "uszoda"-tipusu reaktor, mely ez év októberében kerül kritikus állapotba, épül továbbá egy berendezés exponenciális és kritikus kisérletek végzésére, valamint hőlaboratóriumok és hidrodinamikai laboratóriumok.

Az Atomenergia Bizottság igen szorosan együttmüködik az összes spanyolországi felsőoktatási szervvel. Ez idő szerint nem látszik célszerünek, hogy a Bizottságtól független nukleáris tanulmányi központok létesüljenek, s ezzel kapcsolatban nagyon valószinü, hogy a közel jövőben a Közoktatásügyi Minisztériummal olyan viszony létesül, mely lehetővé teszi, hogy az elnyert diplomákat hivatalosan elismerjék és hogy az elvégzett tanulmányok alapos előkészitést jelentsenek részben a mérnöki, részben pedig a természettudományi doktorátusra. Ezért megfelelőbbnek látszik az, hogy a hallgatókat olyanok közül válogassák ki, akik kellő általános kiképzésben részesültek. Ha egyszer már megvalósult a közös előkészités, helyes lenne a későbbi tanfolyamokat specializálni, hogy szakemberekben fedezhessük a többirányú szükségletet, nem csupán a kutatás terén, hanem, hogy az ipart is elláthassuk megfelelő előképzettségü müszaki személyzettel. Ebben a vonatkozásban ki kell emelni azt, hogy az orvosi karon kezdő tanfolyamokat akarnak bevezetni, melyek előképzésben részesitik a leendő orvosokat; itt elsajátitják a radioizotópok használatát és alapvető ismereteket azokból a speciális tárgyakból, melyeket a Bizottság rendszeres tanfolyamain fognak megismerni.

Az elméleti előadásokat minden esetben tervszerü, előre meghatározott programnak megfelelő gyakorlati munkáknak kell kisérniök.

KFKI 200

Végezetül az Atomenergia Bizottság nagy jelentőséget tulajdonit a müszaki személyzet azon tagjai külföldi atomcentrumokban történő továbbképzésének, akik az alapkiképzést a Spanyolországban szervezett szabályszerü tanfolyamokon már megszerezték.

Dr. Kay /Egyesült Királyság/:

Kötelességem bemutatni az Egyesült Királyság P/269-es értekezését a reaktortechnológiai és a radioizotóp-technikai oktatásról és gyakorlatokról szóló dolgozatot. A dolgozat nyomtatásban bárki rendelkezésére áll; én viszont szivesebben ragadnám meg ezt a nekem jutott néhány percet arra, hogy hozzászóljak ama pontok némelyikéhez, melyeket dr. Whitman hozott fel megvitatás céljából.

Dr.Whitman első pontja a következő: Atomkutató központokban vagy egyetemeken menjen-e végbe az atomfizikai oktatás? Az Egyesült Királyság válasza erre az, hogy az atomfizikai oktatás folyjék mind az Atomenergia Hatóságnál, mind pedig az egyetemeken. A kettő közötti megoszlás az, hogy a hosszulejáratu oktatás az egyetemek sajátos feladata. Másrészről azonban, a nemzeti érdekekből sürgős, rövid határidejü feladatok megoldásához szükséges berendezések soronkivüli gyorsasággal történő megépitése, valamint a sürgős tanfolyamokhoz szükséges felszerelés előteremtése legkönnyebben az Atomenergia Hatóság keretén belül történhetik.

Engedjék meg, hogy erre a kettősségre néhány példát elmondjak. A Harwell-i reaktoriskola 1954-ben nyilt meg azzal a különleges céllal, hogy az iparból jött mérnökök és tudósok számára a különleges reaktor-elméleti és technológiai tanfolyamokat tartson.

Ebben az időben indult meg az Egyesült Királyságban az első nukleáris energiaprogram. Értesülésem szerint ez az iskola most körülbelül ezer hallgatóval működik. Ennek példájára 1957-ben Calder Hall-ban Üzemeltetői Iskola nyilt

meg, amelyet az emlitett hatóság ipari csoportja létesitett, abból a célból, hogy az elektromos hatóságok személyzete számára teljesitményreaktorok kezelését oktassák, és olyan mérnököket képezzenek ki, akik a nukleáris erőművek tervezéséért és kivitelezéséért lesznek majd felelősek.

Az egyetemeken is számos tanfolyamot tartottak. Én csak hármat emlitek meg itt.

Ezen a területen a manchesteri egyetem volt az első és 1955-ben Diamond professzor vezetése alatt egy rövid, diploma utáni tanfolyamot tartottak atomtechnikából.

A birminghami egyetem 1956-ban egy reaktorfizikai és reaktortechnikai egyéves, diploma utáni tanfolyamot indított meg.

A londoni egyetem 1957-ben az Imperial College-i központban atomenergia tanfolyamot nyitott meg. E tanfolyam már diploma utáni oktatást jelent; egésznapos, egyéves időtartamú.

Igy érkeztem el a 2. ponthoz, "Milyen szinvonalu előképzettséget kell megkivánni a hallgatóktól, amikor a nukleáris oktatási programban tanulni kezdenek?"

Az Egyesült Királyságban a többségnek az a véleménye, hogy mig a nukleáris energetika tudományos alapjai oktatásának az egyetemi oktatás keretein belül kell helyet foglalnia, addig az atomtechnika teljesidejü oktatása csak diploma utáni szinvonalon lehetséges. Ebben a pontban mi teljesen megegyezünk dr. Whitmannal.

Mivel rövid az idő, átsiklok a 3. pont felett, amely az izotóp kiképzésre vonatkozik és csak röviden utalok a P/269 sz. előadásra, amelyben részletesen foglalkoznak a Harwell-i Izotóp Iskolával.

KFKI 200

Most pedig nézzük a 4. pontot:"Hogyan kell összeegyeztetni az előadásokat és a kisérleti munkát az oktatási programban?" A rendelkezésemre álló időben nem adhatok összefoglaló választ az Egyesült Királyság intézeteit illetően.

Ezért az egyszerüség kedvéért csak egy példát említek meg, az Imperial College-ban müködő tanfolyamot, amelynél személyesen is érdekelve vagyok. Ezt a tanfolyamot mindenekelőtt arra tervezték, hogy kielégitse végzett mérnököknek az általános-, villamos- és vegyészmérnöki atomerőmüvek tervezésére és szerkesztésére irányuló igényeit. Kutatók, különösen fizikusok és fémkohászok részére is szolgál, akik a nukleáris reaktorok és eljárások kutatásában és fejlesztésében érdekeltek.

A különböző hallgatók különböző képzettségét és érdeklődését figyelembevéve az előadás sillabusza két fő csoportra oszlik. Az általános tanfolyam, ezen mindenki résztvesz, és itt olyan témákkal foglalkoznak, mint az alapvető reaktorelmélet, folyadékok mechanikája, hőkicserélés, nukleáris üzemanyagtechnológia, radioaktiv veszélyek és az ellenük való védekezés stb. A szabadon választható tanfolyamok magasabb szinvonalon a legkülönbözőbb témákkal foglalkoznak. Az olyan előadásoknál, mint a nukleáris sugárzás kutatása és mérése, a neutron és gamma-források használata, védekezés, laboratóriumi munkát is végeznek. A megfelelő hallgatók számára a még részletesebb kisérleti munka lehetőségét is megteremtették; például egy szubkritikus természetes uránium-grafit exponenciális berendezés használata, /ezt a mult évben épitették/, és hogy egy másik példát is megemlitsek: a nagyteljesitményü analóg számológép használata a reaktor tranziens problémáinak tanulmányozásához.

A tanfolyam különleges jellemvonása az, hogy egy teljes nukleáris erőmü, vagy egy hozzákapcsolódó folyamat üzemi tervezésének tanulmányát is elkészitik a hallgatók.

Ez a tervezés az egész akadémiai év időtartamára kiterjed, és ezzel bemutatják azt a módot, hogyan kell az alkalmazott tudományágakat összefogni az adott terv szükségleteinek kielégitésére. Minden hallgató különleges és részletes tervezési feladatot kap, amellyel egész évben foglalkozik. Speciális tervezési előadásokat és vitákat tartanak a célból, hogy előbbre vigyék a munkát, s hogy a tervezést állandóan felülvizsgálat alatt tartsák. Az év folyamán látogatásokat szerveznek különböző üzemekbe és épitkezési helyekre.

Az összes ilyen tevékenységek szoros kapcsolatban vannak az Egyesült Királyság Atomerő Hatóságával, a különböző mérnöki továbbképzőkkel, s a Központi Elektromos Tanáccsal is.

Összefoglalva, mivel a figyelmeztető lámpa már kigyulladt előttem, egyszerüen azt mondom, hogy a nukleáris energia területén folytatott nevelés és kiképzés problémájának országonként kell változnia. Az Egyesült Királyság, mivel igen nagymértékben ipárositott ország, de megfelelő üzemanyag- és energiaforrásokkal ellátva nincs, olyan nagymértékben és olyan gyorsan fejleszti a nukleáris erő alkalmazását, ahogyan csak lehet.

Eddig négy ipari rendeltetésü nukleáris erőmüvünk van, összesen 1200 megawattos teljesitménnyel, amelyek az Erőmütanács és a Délskót Elektromos Tanács számára készülnek, és jelenleg még épülőfélben vannak. 1965-ig nekünk van a világon a legnagyobb részletesen kidolgozott nukleáris épitési programunk. Ez a helyzet különleges problémát vet fel a jól képzett mérnökök kiképzését illetőleg. Az emlitett problémát az Egyesült Királyságban kezdik megoldani és hiszem azt, hogy az atomenergia békés felhasználásának nem a legjelentéktelenebb hatása az az ösztönző erő, amelyet a gépészeti és az alkalmazott tudomány egyetemi oktatásának ad.

KFKI 200

Elnök: A müszaki személyzetről folytatott vitával kapcsolatban nem kaptam kérdéseket, hanem helyettük rövid nyilatkozatok hangzottak el. A nyilatkozatok kifejtésére 2-2 perc áll rendelkezésre.

Mr. Vent /Hollandia/:

Elnök ur, a nukleáris energia területén folytatott oktatásról két hónappal ezelőtt az E.A.E.S. Delft-ben tartott szimposiumán egy kétnapos értekezlet során részletes vita hangzott el. Remélem, megengedi, hogy néhány szót szóljak a Delftben tartott vitáról.

Az E.A.E.S. Nyugat-Európában az atomenergia hatóságok társasága, amely időről-időre a közös érdeklődésre számottartó különleges témákat a résztvevők kis csoportjában megvitatja. Nem az a céljuk, hogy közös konkluziókra jussanak, hanem, hogy tájékoztassák egymást és tanuljanak egymástól. Ezért az emlitett szimpoziumon sokkal inkább azokat a pontokat vitatták meg a nukleáris energia területén végzett oktatást illetően, amelyekben különbségek vannak, mint amelyekben megegyeznek. Mi csak a tudósok és a technikusok négy, ill. ötévi egyetemi kiképzés szinvonalán való képzést vitattuk meg.

Meg kivánom jegyezni, hogy csak három vitapontról beszélek, azokról, amelyeket az ülés elnöke már emlitett. Az első helyen áll az a kérdés, hogy mennyi ideig kivánatos a kizárólagos nukleáris mérnököket nevelni, vagy a diploma megszerzése utáni szinvonalon jó fizikusokat, kémikusokat, gépészmérnököket kiképezni, hogy tisztán álljon előttünk ennek az uj technikai területnek különleges lehetősége és nehézsége.

Másodszor, eltérnek a vélemények azt illetően, hogy az oktatás az atomenergia-központokban rendezett különleges tanfolyamokon vagy az egyetemeken történjék. Itt talán megemlitendők azok az országok, amelyek már régen foglalkoznak

ezzel a kérdéssel, több speciális tanfolyamot állitottak fel, mig a többiek inkább az egyetemek, s technológiai főiskolák lehetőségeit használták föl.

A harmadik helyen megemlitem, hogy kivánatosabb a további vendégprofesszor csere azokból az országokból, amelyek nagyszámu specialistával rendelkeznek, ahelyett, hogy hallgatókat küldenének külföldre. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a már kiképzettek cseréje a különböző kutató és fejlesztő központok között nem volna különösen hasznos.

Tekintettel a szakképzés problémájának nagy jelentőségére a nukleáris energetika terén, nagyon örülök annak, hogy ezt a néhány megjegyzést megtehettem.

Mr. Silvestri /Olaszország/:

Egyszerüen felolvasom a Milanoban lévő CISE /Centro Informazioni Studi Esperienze = Tanulmányi és Kisérleti Tájékoztató Központ/ elnökének nyilatkozatát.

Az 1946-ban néhány olasz ipari vállalkozás és egy csoport fizikus kezdeményezésére alakult CISE már akkor is azt tekintette legfőbb céljának és azon dolgozik ma is, hogy kutatókat képezzen ki az atomenergia felhasználásával kapcsolatos konkrét feladatokra.

A CISE, mely jelenleg több mint százas létszámu müszaki személyzettel rendelkezik, melyek közül majdnem 60 diplomás szakember, alakulása óta laboratóriumaiban kb. 150 magas fokon specializált szakembert képzett ki, akik ma az atomenergiával foglalkozó olasz állami- és magánintézmények vezetőinek és személyzetének nagyrészét alkotják.

Jelenleg a CISE igen magas fokon specializált szakemberekből - kiknek kiképzése magával a kérdéses problémával való foglalkozás utján történik - évente kb. 30 diplomás és kb. 20 nem diplomás müszaki kádert tud kiképezni.

A területek melyeken ezek a kutatók továbbképzést nyerhetnek, ennélfogva ugyanazok, melyekkel a CISE egyes speciális laboratóriumai foglalkoznak, nevezetesen

1/ Magfizika
2/ Szilárdtestek fizikája
3/ Atomtechnika
4/ Elektronika
5/ Kémia és rádiókémia
6/ Speciális technológiák
7/ Kisérleti technika

Nemcsak olasz hallgatók élvezhették a CISE nyujtotta kiképzési lehetőségeket, ez az intézmény egyuttal 10-12 külföldi kutatónak is lehetővé tette, hogy laboratóriumaiban hosszu időn át gyümölcsöző munkát folytassanak.

Képesitett szakembereknek a laboratóriumaiban történő kiképzésén kivül a CISE kész volt együttmüködni más egyetemi intézményekkel is az atomtechnikai kiképzés terén. Ez az intézmény szolgáltatja - megalakulása óta - az atomtechnikai mérnöki továbbképző tanfolyamok /Milanoi Müszaki Egyetem, 1950 óta/, valamint a nukleáris mérnöki tanszékek rendes egyetemi előadásai előadóinak legnagyobb részét /Milanoi Müszaki Egyetem 1956 óta/. A CISE ezenkivül lehetővé teszi,hogy müszaki személyzete középfoku szakiskolákban az atomtudomány egyes ágainak oktatásában részt vegyen. A CISE eme didaktikus tevékenységének köszönhető, hogy az utóbbi években majdnem 200 mérnököt és néhány tucat technikust sikerült kiképezni, ugy hogy gyakorlati képzés céljából felszerelését és laboratóriumait rendelkezésükre bocsátotta.

Ramanna /India/:

Néhány igen rövid megjegyzést szeretnék tenni a Bombayban levő Atomenergia Szakiskolával kapcsolatban. Ez a szakiskola a Bombay-ban és Trombay-ban létesitett különböző laboratóriumokban müködik. A hallgatóknak fizikában, vegyészetben,

mérnöki tudományokban, metallurgiában nyujtunk továbbképzést és valamennyi hallgató résztvesz alapvető matematikai oktatásban.

Az első évben India minden részéből összesen majdnem 8000 hallgató jelentkezett felvételre és ezekből majdnem 3000-rel tárgyaltunk addig, mig a kivánt létszámot biztositottuk. Országunk sajátos körülményeiből fakadó megfontolások alapján ezt a továbbképző oktatást nem szükségszerüen csak magfizikára, reaktortechnikára és reaktorfizikára terjesztettük ki, hanem elméleti fizikára és kémiára is. Kisérletezünk némi vegyes kiképzéssel is,ugyhogy mérnökök meglehetősen beható fizikai és kémiai ismeretekre tesznek szert, fizikusok és kémikusok viszont jó technikai kiképzésben is részesülnek.

H I R E K

Van de Graaff tipusu részecskegyorsitót épitenek a Karlsruhe-i egyetemen az élelmiszerbesugárzás tanulmányozására.

A japán Atomenergia Bizottság Japán számára a Calder Hall-tipusu reaktort ajánlja. Az angol ipari konzorciumtól technikai csoport utazik Japánba, hogy a részleteket megvitassa.

Az U.S.AEC által kibocsátott lista felsorolja az Egyesült Államokban kereskedelmi forgalomban kapható reaktorüzemanyagokat. Ezek között szerepel a tórium, természetes urán és vegyületei, nehézviz stb. 125 fontnál kisebb mennyiségben.

Az irányitható termonukleáris fuzió-kutatást az 1961-1963-ig terjedő időszakra Harwellből áthelyezték a Winfrith Heath-i Kutató Intézetbe, mivel itt van hely a fejlesztésre.

A Harwell-i AERE izotópfelhasználásokról szóló előadássorozatán ebben az évben 300 vállalati igazgató és adminisztrátor vett részt.

A szovjet Elektrofizikai Felszerelés Kutató Intézetben épülő részecskegyorsitó a merev fókuszálás /rigid focussing/ elve alapján fog müködni, maximális energiája 50 000 MeV. Az elektromágnes átmérője 550 yard lesz, sulya pedig 22 000 tonna. A merev fókuszálás csökkenti a részecskéknek pályájukon mutatkozó oszcillációs amplitudóját és igy egyuttal lehetővé teszi a vákuumkamra méreteinek csökkentését.

Uj urániumextraháló eljárást jelentett be a spanyol Atomenergia Bizottság. Az eljárás hasznositására a német Degussa társasággal kötöttek szerződést.

Kanadában az első atomerőmü 1961 közepén készül el - mondotta a kanadai kereskedelmi miniszter. Az erőmü 20 MW teljesitményü lesz; Des Joachimban épitik. Egy további 200 MW teljesitményü erőmüvet most terveznek.

Üzemzavar az egyik szovjet reaktornál. Erről az üzemzavarról Kraszin számolt be a Genfi Konferencián. Elmondta,hogy az egyik hütőcsatornában a hütőrendszer hibája miatt

felrobbant az uránium-fütőelem, de sikerült a szennyeződést a reaktoron belülre korlátozni. Ki tudták választani a hibás elemet, sikerült vissza is helyezni és a reaktort ujra megindítani.

Az Imperial Chemical Industries Ltd. fémrészlege építi fel Nyugateurópában az első olyan üzemet, amely megmunkált berilliumot állit elő.

A nyugatberlini kisérleti reaktor, melyet a Berlini Magkutató Intézet állitott fel, julius végén kritikussá vált.

A Rajna-vesztfáliai Elektromos Müvek /RWE/ atomerőműve. A Rajna-vesztfáliai Elektromos Müvek megrendelésére épülő első német atomerőművet 1960 végéig a Majna-menti Kahl-ban, Hanau és Aschaffenburg között fogják üzembe helyezni. A reaktor 15 MW elektromos teljesitményü vizforraló tipusu. Az atomerőmü a dettingeni szénerőművel határos. A viszonylag csekély teljesitőképességü kisérleti erőmü célja a technikusok kiképzése és tapasztalatgyüjtés.

Ciklotron Drezdában. Az NDK magfizikai kutató állomásán nemrég megkezdték a tudományos munkát a Szovjetuniótól kapott 25 millió eV energiáju ciklotronnal.

Reaktorépitéstechnikai Tudományos Intézet. Az NDK Magkutatási és Magtechnikai Hivatalának vezetője, Rambusch professzor rendelkezésére Kelet-Berlinben Reaktorépitési Tudományos Technikai Intézetet állitanak fel, melynek feladata a kutatási és fejlesztési munka elvégzése.

Atommuzeum Münchenben. Münchenben megalakult az "Atom a békéért" egyesület. Célja, hogy állandó kiállitást rendezzen az atomenergia békés célokra való felhasználásának sokoldalu lehetőségeiről. Az igazgatótanács elnöke dr.Haberland /Bayer Festékgyárak/, az elnökség elnöke Hermann Römer konzul /München/.

Geestacht-i reaktor. A négy észak-német tengerparti tartomány Magenergia Bizottságának közlése szerint Geestachtban/Hamburg mellett/október 16-án indult meg a reaktor. Az épitési és berendezési költség 12,73 millió DM, ebből a szövetségi kormány és a négy tartomány 5,115 millió DM-t, s a tervezésben érdekelt üzem 2,5 millió DM-t fizet. Az első üzemeltetési év-

ben, 1959-ben 3 millió DM-re lesz szükség. Az 1959-1960. gazdasági évben a Reaktorüzemeltetési Vállalat /Hamburg/ előzetes tervek alapján el akarja kezdeni egy hajóreaktor épitését. A szövetségi kormány pénzbelileg ezt a vállalkozást is támogatja.

Német-angol teljesitményreaktor egyezmény. Az atomenergia minisztérium és az angol Atomenergia Hatóság között lefolyt tárgyalásokon megegyeztek egy kétoldalu keretszerződésben, amely szerint Anglia egy atomerőművet szállit. A tervezett szabályzat lényegében megfelel annak az egyezménynek, amely ugyanilyen céllal az USA és a Szövetségi Köztársaság között jött létre. Az Euratom és Anglia közötti tárgyalásokat ez az egyezmény nem érinti. Eddig még csak egy áramtermelő ipari csoport - Baden Württembergben - gondolt arra, hogy Angliától atomerőművet szerezzen be. Ebben az esetben egy tökéletesitett Calder-Hall tipusu modellről van szó.

A CERN 1957-évi jelentése. A CERN nyilvánosságra hozta 1957. évi jelentését, amelyből az tünik ki, hogy a Genf melletti Meyrin területén a kitüzött időre minden épitési munkát elvégeztek. 1958. elején a protonszinkrotronnál megkezdték a gyorsitórész szerelési munkáit. A szinkrociklotron 1957. augusztusa óta van üzemben. A CERN személyi állománya 1957. december 31-én 597 fő volt, s a következőképpen oszlott meg: 115 vezető- és tudományos munkaerő, 241 technikai-, 77 adminisztrativ-, 128 segéderő, 36 ösztöndijas. A kiadások végösszege 1957-ben 61 millió svájci frank volt. Ebből 31 milliót az épületekre és a környék megmüvelésére forditottak, 17 milliót a protonszinkrotronra, 3 milliót a tudományos és technikai kiadásokra, 1,6 milliót adminisztrációra, 673 000 svájci frankot elméleti tanulmányokra és 306 000 svájci frankot az általános vezetésre. 1958-ra a költségvetést 56,4 millió svájci frankban állapitották meg. 1957-ben Sir Ben Lockspeiser /Anglia/ töltötte be a CERN tanácselnöki tisztségét. Ez a tisztség most F. de Rose-ra /Franciaország/ szállt át. Dr. Heisenberg professzor lett az alelnök. A CERN tanácshoz 12 tagállam tartozik: Belgium, Dánia, Franciaország, Német Szövetségi Köztársaság, Görögország, Olaszország, Hollandia, Norvégia, Svédország, Svájc, Anglia és Jugoszlávia.

Franciaország. Üzembe helyezték Marcoule-ban a G-2 reaktort. Evenként 40 kg plutoniumot kell termelnie; emellett 30-35 MW elektromos teljesitményt nyujtania. A Marcoule-i plutoniumextraháló-üzem 1958. julius 9-én a G-1 reaktorból nyert első uránelemek megmunkálásával

indult meg. Franciaországban jelenleg 8 reaktor van üzemben. Ezenkivül 3 teljesitményreaktort épitenek. Franciaország évenkénti 1000 tonna urántermelésével Nyugat urántermelő országai között a negyedik. Az első és második helyen Kanada és az USA áll egyenként 12 000 tonnával, harmadik helyen a Délafrikai Unió évi 5 000 tonnával. U-235 előállitására Franciaország saját izotóp-elválasztó és nehézviz-előállitó üzem épitésére határozta el magát.

Anglia uj kisérleti reaktora. Julius elején az angol aldermastoni /Berkshire/ Atomfegyverkutató Intézetben egy uj zérusteljesitményü reaktort helyeztek üzembe, amelyet Horace-nak neveztek el. Dúsitott uránnal dolgozik, közönséges vizzel moderálják és hütik. Egy másik, hasonló tipusu kisérleti reaktort /Herald/ is épitenek, 5 MW-os teljesitménnyel. A Heralddal együtt Angliában összesen 35 reaktor müködik, illetve áll épités alatt.

Windscale. Az angol Windscale-i Plutoniummüvekben a biztonsági intézkedéseket a lehető leggyorsabban meg kell javitani. Ezzel akarja az angol kormány megakadályozni, hogy megismétlődjék a mult év októberében történt eset. A kormány által kiküldött vizsgálóbizottság, Sir Alexander Fleck angol atomtudós elnöklete alatt 1958 julius 3-án a Parlamentnek benyujtott Fehér Könyvben ajánlotta, hogy a plutonium üzemben a lehető leggyorsabban végezzenek különféle technikai javitásokat. Igy többek között 400 mérőmüszert kell felszerelni, hogy a reaktor tulhevülését megakadályozzák, s a reaktorkéményt jobb légszürővel kell ellátni. A II. reaktort, amely jelenleg nincs üzemben, ezeknek a technikai változtatásoknak elvégzése után ismét munkába kell állitani. A bizottság ajánlatára a reaktorban a "Wigner energiá"-t csak a technikai módositások után fogják felszabaditani.

Atomhajtásu kereskedelmi hajók. Az angol Atomenergia Hatóság közlése szerint atomenergiával müködő tartályhajók tervezése folyamatban van. Egyidejüleg a hajtómüre vonatkozóan különféle reaktor-rendszereket vizsgáltak meg. Különösen érdekes a gázhütéses, grafitmoderátoru rendszer továbbfejlesztett változata. Négy angol ipari konszern foglalkozik atomenergiahajtásu kereskedelmi hajók épitésének tervezésével.

Uj uránlelőhelyeket jelentettek Finnországból és Pakisztán északnyugati határvidékéről.

Uránbánya Grönlandban. Jelenleg vizsgálják a grönlandi uránlelőhelyeket. Az eredménytől függ, hogy a helyszinen uránércfejtő üzemet rendeznek-e be.

Nagyobb ZETA-berendezés. A harwelli angol atomkutató intézet ismertette, hogy Angliában jelenleg egy nagyobb ZETA-berendezést épitenek, amellyel 100 millió fokos hőmérsékletet fognak tudni előállitani.

Az első ausztráliai reaktort Sidney-től 20 mérföldre Lucas Heighlers-ben helyezik üzembe; "Dido"-tipusu lesz. Ausztrália saját uránérckészlettel rendelkezik /335 ezer tonnára becsülik, kb. 6,3 font tonnánkénti urántartalommal/. Anglia az Egyesült Államok és Kanada segitségével vált lehetségessé az ausztráliai atomenergia tervezet megvalósitása. Ma már komoly munka folyik a főiskolákon és kutatóintézetekben. Az ausztráliai Atomenergia Bizottság vezetője J.B.Baxler professzor. A reaktorüzem tudományos vezetője C.N.Watson Munro. Az üzem összköltsége 6 millió ausztráliai font, ebből csak 1 millió esik magára a reaktorra.

Az USA támogatja Norvégiát egy kisérleti reaktor épitésében. Az AEC nyilvánosságra hozta, hogy az USA Norvégiának 350 000 dollárt bocsájt rendelkezésre egy kutatási- és kiképző reaktor megépitésére. A reaktort Oslo-tól Észak-Nyugatra épitik. Norvégia a 16. ország, amely az USA-tól hasonló támogatást kap.

Csökken az urán ára. Kanadai hirek szerint az urántermékek csökkenő árak miatt az urán - mint energiaforrás - iránti érdeklődésnek nőnie kell. A reaktortervezők, akik a teljesitményreaktorok nagy tőkebefektetése miatt nyugtalankodtak, most már készek lesznek az uránt nagyvonalubban alkalmazni. A tudósitás becslése szerint a kanadai uránszükséglet 1980-ra évi 2 000 tonna lesz, a termelés pedig előreláthatóan eléri majd a 25 000 tonnát.

Az Egyesült Államok kormánya szavatosságot vállal az atomhajtásu kereskedelmi hajókért. Az amerikai kongresszus törvényt hozott, mely szerint az Amerikai Egyesült Államok kormánya kezességet vállal az első atomhajtásu kereskedelmi hajó, a "Savannah" minden balesetéért. A törvény a hajót az egész világon ugyanolyan kockázatok esetére biztositja, mint amelyek ellen az Amerikai Egyesült Államokban az összes kereskedelmi célra termelő atomerőmü biztositva van.

A nyugati világ legnagyobb tengeralattjáróját, a "Triton" nevü hajót, augusztus közepén Grotonban, Connecticut államban vizrebocsátották. Ez az első olyan atomhajó, melybe két reaktort szereltek. A Triton-t a General Dynamics Corporation, Electric Boot Division épitette; ugyanez a cég épitette a "Nautilus"-t is. Az USA eddig három atomhajtásu tengeralattjárót állitott szolgálatba. Ennek a sorozatnak negyedik hajóját, a "Sea Dragon"-t szintén augusztus közepén bocsájtották vizre. A Triton 5 900 tonna vizet szorit ki és ezért a legnagyobb tengeralattjáró a világon. 135 m hosszu, majdnem 30 méterrel hosszabb, mint a másik három, Amerikában forgalomban lévő atomhajtásu tengeralattjáró. A hajó a legmodernebb radar-müszerekkel van ellátva.

Az USA tengeralattjárója az Északi Sark jege alatt. A.R.Anderson kapitány vezetésével az amerikai atomhajtásu tengeralattjáró, a Nautilus, 96 óra alatt haladt át az Északi Sark jege alatt. A Hawaitól Izlandig terjedő 15 000 km-nyi utszakaszt 13 nap alatt tette meg. Átlagos sebessége 46,7 km/óra. A "Skate" atomhajtásu tengeralattjáró szintén elérte az Északi Sarkot.

Az USA Kongresszusa jóváhagyta egy atomhajtásu jégtörő épitését. Az Egyesült Államok Kongresszusa beleegyezett abba, hogy atomenergiával müködő jégtörőt épitsenek. Ezt majd az amerikai parti őrség rendelkezésére kell bocsájtani az Északi és a Déli Sarkokon. Ez a jégtörő mindenekelőtt kutatási célokra szolgál.

A Massachusettsi Technológiai Intézet 1958. julius 1-én magtechnikai tagozatot létesitett. Ide csak végzett hallgatókat vesznek fel. A következő szakokra lehetett beiratkozni: atomreaktorok tervezése és épitése, sugárvédelem, metallurgia és fémtechnológia, reaktormüszerek és vezérlés. Gyakorlati kisérletekre a legrövidebb időn belül egy reaktort bocsájtanak rendelkezésre. A tanfolyam résztvevői elsősorban mérnökök lesznek. A tantervet az intézet számára felállitott kutatási programmal is egyeztették. Az amerikai iparban jelenleg körülbelül 9 000 atomtudós dolgozik; remélik, hogy 2 éven belül ez a szám kétszeresére emelkedik.

Üzemben a Shippingport-i atomerőmü. Az első amerikai kizárólag polgári célokat szolgáló atomerőmüvet Shippingportban állitották üzembe.

KFKI 200

Atomerőmü Alaszkában. Az "Alco Products Inc." kapott megbizást az első alaszkai atomerőmü megépitésére. A reaktort /Army Package Power Reactor/ "APPR- 1-A" jelöléssel Fort Greely-ben, Fairbanks mellett épitik az amerikai hadsereg részére. Ez lesz a második szállitható reaktor; rendszere viznyomásos és teljesitménye 1 700 kW. Előtervezését az Alco, a hadsereg megrendelése alapján, 1957 elején kezdte el.

Az első kinai atomreaktor. Kinában üzembe helyezték az első kisérleti reaktort: 10 MW teljesitményü, moderátora nehézviz. A reaktort és ezenkivül egy ciklotront szovjet segitséggel épitették.

Ujfajta sugárvédelem. A sugárvédelemnek uj fajtáját találták fel. Ezt az anyagot "hidrogén-fém" elnevezéssel jelölik; acél és viz sokrétegü összetétele. Az uj sugárvédelmi anyagot Angliában a Haditengerészet Tudományos Szolgálata és a Vickers Armstrong cég közösen fejleszti. A cég jelenleg az angol atomhajtásu tengeralattjáró programmal foglalkozik.

Uránpiac. A kanadai, amerikai és délafrikai urántermelők engedélyt kaptak arra, hogy az uránt bizonyos fenntartások mellett szabad piacon árulják. Ennek következtében a konkurrens vállalatok közt versengés várható az 1963. utánra kötendő szerződésekre vonatkozóan, mivel a legtöbb szerződés akkor jár le.

Az AEC uj tagja - McCone. Eisenhower elnök 1958 junius 6-án J.A.McCone amerikai üzletembert nevezte ki.L.L.Strauss utódjául. McCone - kinek kinevezését az amerikai szenátusnak még jóvá kell hagyni - tagja lesz az öttagu bizottságnak. Még nem döntötték el, hogy az öt megbizott közül ki lesz a bizottság elnöke.

Kikötőépités atomrobbantással. Az amerikai Atomenergia Bizottság azzal a gondolattal foglalkozik, hogy Alaszkában a Sarkkörtől északra atomenergiarobbantásokkal készitsék elő a kikötőépitést.

A Siemens-Plania reaktorgrafitot gyárt. A Siemens-Plania müvek az Augsburg melletti Meltingenben az utolsó években a reaktorgrafit előállitásán fáradozik, és ezért további grafitizációs /grafitelőállitó/ berendezések épitését határozta el. Az első reaktorgrafit szállitmányok a közeljövőben indulnak utnak.

A Degussa-Uhde Müvek nehézviz előállitására nagy kisérleti üzemet épit. Többéves kisérleti és fejlesztési munkák után a Frankfurt am M.-i Degussa és Friedrich Uhde cég, /:Dortmund:/ kisérleti nagyüzemet létesit nehézviz előállitására. Becker professzor /Marburg/ nyilatkozata szerint a viz és a hidrogén közti folyékony fázisban végbemenő, katalizátorral gyorsitott nehézhidrogéncseréről van szó. Az eljárás azon alapul, hogy a nehézviz és a közönséges viz közötti egyensuly a hőmérséklet függvénye, és ezt a tényt deutériumdúsitására lehet felhasználni.

Az angol atomerőművekből plutoniumot nyernek. Az angol Honvédelmi Minisztérium közlése szerint a most épülő és tervezés alatt álló nagy angol atomerőművek közül háromnak ugy kell megváltoztatni a szerkezetét, hogy plutoniumtermelésre is alkalmasak legyenek. Ezeket az erőműveket Hinckley Point-ban, Tawsfynyddben /Észak-Wales/ és Dungeness-ben /Kent/ épitik. A kormány közlése szerint ez a módositás nem késlelteti az erőművek épitési munkálatait. Ezt az intézkedést azzal magyarázzák, hogy az 1957. őszén történt Windscale-i szerencsétlenség miatt megszünt a plutonium szállitása. A plutoniumkinyerés szempontjából fontos, hogy a reaktor fütőanyagát gyakrabban cseréljék.

Kritikussá vált a Dounreay-ben a DMTR /Dounreay Materials Testing Reactor/. Teljesitménye 10 MW. Erősen dúsitott uránnal, nehézviz-hütéssel és -moderátorral dolgozik.

Nehézviz-export. Az USAEC közlése szerint az utolsó három évben 250 tonna nehézvizet adtak el külföldnek. Az 1957. évi export: Franciaországnak 11 t, Kanadának 63,5 t, Svájcnak 9 t, Ausztráliának 11 t, Angliának 11 t, Svédországnak 28 t, Norvégiának 17,6 t, Belgiumnak 225 kg. Az AEC 1958-ban 100 tonnával nagyobb exportra számit.

Metánelőállitás szénből sugárkémia segitségével. A columbiai egyetemen azzal foglalkoznak, hogy metánt állitsanak elő sugárkémiai uton. Csekély értékü szenet és kokszot hidrogén jelenlétében, kb. 500°C-on, 210 kg/cm2 nyomáson 1 400 curie-erősségü kobalt-60 forrással besugároznak. Még nem gondoltak arra, hogy az eljárást ipari méretekben is alkalmazzák, de a földgáz-készletek belátható időn belül bekövetkező kimerülése esetén, nyilván több figyelemre méltatják s addigra a módszer gazdaságossá is válhat.

Hőfejlesztés izotópokkal. Az AEC a Glenn L. Martin Co., /Baltimore/ atomfizikai részlegének megbizást adott olyan hőforrás kialakitására, mely radioaktiv izotópok sugárzó energiáját használja fel. Remélik, hogy alkalmas izotópok kiválasztásával sikerülni fog olyan megbizható és biztos hőforrásokat konstruálniok, melyek karbantartási munkát sokáig nem igényelnek és néhány kg-nyi anyaggal 5 esztendőn keresztül 2 000 W energiát szolgáltatnak.

Radioizotópok felhasználása a malária elleni harcban. Az Amerikai Egyesült Államokban kisérleteket folytatnak, hogy kinyomozzák a maláriát okozó moszkitók tenyészhelyét. A kisérleteknél a feltételezett "tenyészhelyeken" a vizfelületet radioaktiv vegyszert tartalmazó moszkitó tápszerrel permetezték be. Ebből a moszkitók elegendő radioaktivitást szednek fel ahhoz, hogy később, felnövekedésük után, mérőmüszerekkel felfedezhessék őket.

A Nebraska-i atomerőmü alapkőletétele. Az alapkő letételével 1958. juniusában megkezdődtek a földmunkák a "Consumers Public Power District of Nebraska" atomerőmütelepén. A berendezésnek 1961. tavaszától kell áramot szolgáltatnia, mindenek előtt a szokványos fütőanyaggal. 1960-ban meg kell kezdeni egy 75 000 ekW nátrium-grafit reaktor /SGR = Sodium Graphite Reactor/ épitését a North American Aviation Inc. cégnek. 1962-re pedig üzembe kell állitani. A reaktor az USAEC tulajdona lesz és a CPPD üzemelteti.

Kiképzési célra szolgáló reaktor /Triga és Argonaut/. A kiképzési célra szolgáló reaktorok, ellentétben a kisérleti reaktorokkal, kicsiny, relative olcsó létesitmények. Alkalmasak főiskolai oktatásra, s mint veszélytelen tan- és szemléltető eszközök használhatók egyszerü kémiai, fizikai, orvosi és biológiai kisérletekre is, mind az iparban, mind pedig a különböző kutatóintézetekben. Teljesitményhatára 10 kW, kihasználható neutronfluxus: 10^{11} n/cm^2 sec. A General Atomics /USA/ fejlesztette ki ennek érdekes tipusát, ezt nevezzük Trigának. Ez a kisérleti reaktor 1958 május 3-án lett kritikussá. Kvázihomogén közönséges vizhütésü reaktorról van szó, ennek fütőeleme dúsitott uránötvözet és cirkoniumhidrid szilárdhalmazállapotu homogén keveréke. Moderátorként cirkoniumhidrid hidrogénje szolgál. Ezt a reaktort a Genfi Konferencia idején az atomkiállitáson mutatták be. Az A R G O N A U T szintén kiképzési célt szolgáló reaktor. Ezt az Argonne-National Laboratory dolgozta ki, kritikussá 1957 febr. 9-én vált. Ezt a közönséges vizmoderátoru reaktort, amelynek állandó teljesitménye 1 kW, a Pintch Bamag cég mutatta be Genf-

ben. Fluxusa a 10 kW csúcsteljesitmény esetén 10^{11} neutron/cm^2/sec. Az aktiv zónát gyűrűs tér veszi körül. Ez a tér tulajdonképpen 60 és 90 cm átmérőjű, egymásba helyezett aluminiumtank, benne a lemezformájú hűtőelem két egymással szembenlevő kötegbe van foglalva. A gyűrűs tér többi részét grafittal töltik ki; az aktiv zónát grafit-reflektor veszi körül.

Nyugatnémet atomtörvény. A nyugat-berlini képviselőház 110 szavazattal egy szavazat ellenében elfogadott egy atomtörvényt, mely a nukleáris energia katonai célra való felhasználását a nyugat-berlini felségterületen megtiltja és minden nukleáris létesitményt a szenátus jóváhagyásától tesz függővé.

IV. Nemzetközi atomszeminárium. A Nemzetközi Tanulmányügyi Társaság Wiesbadenben 1958 november 3-8 között Nemzetközi Atomszemináriumot tartott a következő témáról: Ipari és gazdasági kilátások - beszámoló az 1958-as Genfi Atomkonferenciáról.

Kisérleti reaktor Lengyelországban. Az első lengyel kisérleti reaktort Varsótól 30 km-nyire északra a Visztula melletti Swierkben állitották fel. A reaktor "EVA"-nak nevezték el.

Szovjet dokumentáció alapján elkészült a Csehszlovák Tudományos Akadémia Atomfizikai Intézetében a hidrogén cseppfolyósitására szolgáló berendezés. A berendezés óránként 5-6 liter -235° C-os folyékony hidrogént állit elő.

Kisérleti reaktor Ausztriában. Az Osztrák Tudományos Társaság az AMF-nel kötött vásárlási szerződést egy 5 MW-os kisérleti reaktor megépitésére /tanktipus; 3,4 millió DM/. Az épitkezési munkálatokat gyorsan meg is kezdik.

Atomóra Intézet felállitását határozták el Besançonban. Az óra megszerkesztését Übersfeld professzorra bizták, aki a besançoni egyetem természettudományi karán dolgozik. Az óra egy ezermilliomod másodpercnyi pontossággal fog járni. Az órát sokféleképpen fel lehet majd használni. Mindenekelőtt a csillagászat, az aviatika és távközlő-szolgálat területén alkalmazzák. Ezenkivül a Föld forgási idejének változásait is kimutatja.

Az első jugoszláv reaktor. Az első, saját eszközökkel felépitett reaktort Belgrád mellett inditották meg. Az uránt és a nehézvizet a Szovjetunió szállitotta.

Az OEEC nehézvizelőállitási tervei Izlandban. Az Európai Gazdasági Tanács Atomügynöksége foglalkozik nehézviz előállitására berendezett, Izlandban felállitandó közös európai gyár tervével. A természeti adottságok itt főleg az energiaellátásra nagyon kedvezőek. Eredetileg az egyes tagállamok nehézvizüzemeivel számoltak, melyek külön-külön állitanak majd elő nehézvizet, főképp Franciaországban és Németországban. Franciaországban évi 40 tonnára becsülik a hozamot, Németországban 8-ra, Svájcban 2-re. Izlandban nehézviz előállitására az amerikai módszert alkalmaznák, és évente legalább 500 tonnát állitanának elő, kb olyan áron, mint Amerikában. Európai viszonylatban az évenkénti 500 tonna nehézviz nagy mennyiség. Mindazonáltal azt is figyelembe kell venni, hogy egy nehézviz-moderátorú rekator első feltöltéséhez legalább 50 tonna nehézviz szükséges; továbbá azt, hogy perspektivikusan a magfúziós berendezésekhez is sok nehézvizre lesz szükség. Európa, beleértve Angliát is, amely szintén kész arra, hogy a tervezetben résztvegyen, ma még az Egyesült Államok szállitásától függ. A nehézviz alkalmazását az atomiparban eddig az ellátás elégtelen volta korlátozta, mivel az Egyesült Államok a szállitásra vonatkozóan bizonyos ellenőrzési intézkedéseket vezetett be. Előzetes becslések szerint az izlandi gyár részére 500 tonna évi termelésnél nem kevesebb, mint 200 millió dollár szükséges. Ez európai viszonylatban figyelemreméltó összeg.

Baleset Calder Hallban. Az angol Atomenergia Bizottság 1958 június 29-én vizsgálatot rendelt el a balesettel kapcsolatban. Ez a baleset a Calder Hall-i atomerőműnél nagy anyagi kárt okozott. A bizottság közlése szerint eddig ismeretlen okból az egyik erőmű turbinája túlfutott és darabokra szakadt. Részei a gépcsarnokban szétszóródtak, és ezzel tekintélyes kárt okoztak. A keletkező tüzet csak az üzemi tűzoltóság tudta eloltani. A kezelőszemélyzet közül senki nem sérült meg komolyan. A közlés szerint radioaktivitás sem szabadult fel. A szerencsétlenség a Calder Hall-i "B"-üzemben történt, amelyet rövid idő múlva kellett volna meginditani. A tönkrement turbina csak 1958 június 25-e óta működött. Az "A"-üzemben, mely már másfél éve működik, semmiféle szerencsétlenség sem történt. Feltételezik, hogy a szelep romlott el, és ezért szaladt meg a turbina. A reaktort ki kellett kapcsolni.

Atomerőművek Svájcban. Az Energiatermelők Nemzetközi Egyesületének Kongresszusán Lausanneban Lepori szövetségi tanácsos bejelentette, hogy Svájc évi energiatermelése 16 milliárd kWó; az egy főre eső termelés igy 3 100 kWó. Az összes tervezett vizierőmű felépitése után a teljes évi összeg 1975-ig 33 milliárd kWó-ra emelkedhet. Mivel jelenleg az energiatermelés az igényeket huzamosabban nem képes fedezni, szükség van atomenergiaprogram kidolgozására. Eddig három földalatti kisérleti atomerőművet terveztek.

Svájci-kanadai egyezmény. Ottawában a svájci nagykövet és a kanadai kormány képviselője 11 tonna természetes urán szállitásáról szóló egyezményt irt alá. Ezt az uránt a würenlingeni nehézvizes reaktorban kisérleti célokra alkalmazzák. Az uránt fűtőelem formájában az Atomic Energy of Canada Ltd. szállitja, a svájci-kanadai egyezmény szerint az atomenergia békés felhasználása terén való együttműködés értelmében. A fűtőelem előállitása, melyet már megkezdtek, több hónapot vesz igénybe, ezért a hajóra-rakás kb fél év múlva történik meg.

Súlyos üzemi balesetet előztek meg norvég atomreaktor-telepen. A Halden közelében levő norvég atomreaktor-telepen majdnem súlyos üzemi baleset történt. Egy radioaktiv vizzel telt tartály túlcsordult. A baleset akkor történt, amikor a reaktor javitási munkák miatt nem volt üzemben. A géptisztitásnál használt vizet tévedésből a radioaktiv vizet tartalmazó tartályokba szivattyúzták, s igy egy tartály túlcsordult. Azonnal megtettek minden intézkedést, úgyhogy a szennyezett viz a kapcsolóterembe már nem jutott be.

A Francia Atomenergiaügyi Kormánybiztosság Marcoul-i atomfejlesztési központjában július 21-én került először kritikus állapotba a G-2 kisérleti teljesitményreaktor, amelynek épitését 1955 novemberében kezdték el. Eleinte alacsony teljesitménnyel, kényszerhűtés nélkül üzemeltetik. Kritikus tömege - a számitott 22,3 tonnával szemben - 22,5 tonna volt. A 150 ezer kW-os teljes hő-, ill. 30-35 ezer kW-os elektromos teljesitmény előállitására 115 tonna természetes urániumot fognak behelyezni a reaktorba, 36 ezer tokban elosztva. A moderátor és a reflektor grafittéglák alakjában 1 271 tonna grafit. Hűtőközeg: 15 kg/cm^2 nyomás alatti széndioxid. A reaktorhoz egy 40 MW-os gőzturbinát kapcsolnak, melyhez négy hőkicserélő fogja a gőzt szolgáltatni. A G-2 reaktor plutoniumot is fog termelni, évente kb 40 kg-ot. A G-1 reaktorral szemben, amelyet 18 hónappal a

G-2 előtt helyeztek üzembe, technikai haladást jelent a G-2 reaktor négyszeres teljesitménye, kb ugyanannyi fűtőanyag és moderátor alkalmazása mellett.

Rakéta meghajtására tervezett kisérleti reaktort a Los Alamos Scientific Laboratory, melyet a repülni nem tudó újzélandi madár után "KIWI-A" -nek neveztek el. Próbaszerelését most fejezték be, egyelőre üzemanyag nélkül. A reaktort kisérleti kocsira, sinekre szerelik. Minthogy hűtőköre nyitott lesz, s a hűtőanyag felfelé áramlik, úgyhogy a közvetlen környezet szennyeződni fog, védett helyről fogják távvezérelni.

Az USAEC HRE-2 kétzónás homogén kisérleti teljesitményreaktorát, melyet ez év áprilisában a cirkóniumtank szivárgása miatt le kellett állitani, júniusban, mint "módositott" egyzónás reaktort újra üzembe helyezték. Az oldat erősebb koncentrációjával sikerült a reaktort a szivárgás ellenére újra üzemképessé tenni.

Az 5 eMW-os DBWR /kisérleti vizforraló reaktor/ amennyiben az Amerikai Atomenergia Bizottság /USAEC/ hozzájárul az eddig erősen dúsitott lemezfűtőelemeket rozsdamentes acélba vagy zirkaloy-2-be zárt, csupán 2,3 % dúsitású oxidgömbökkel ellátott fűtőelem-rudakra szándékoznak kicserélni. Később más tipusú fűtőelemeket is alkalmazni fognak. Az üzemeltető General Electric Co. reméli, hogy a hőteljesitményt 30 000 kW-ról 50 000 kW-ra sikerül felemelni.

Üzbég magfizikai intézet. Az Üzbég Tudományos Akadémia magfizikai intézetet épit Taskenttől délre. Az intézetet korszerű felszereléssel látják el /atomreaktorral, ciklotronnal, gyorsneutron-generátorokkal, stb./. A reaktor segitségével a neutronok és atommagok kölcsönhatását fogják tanulmányozni és radioaktiv izotópokat készitenek. Az Üzbég Tudományos Akadémia Magfizikai Intézetében tadzsik és kirgiz tudósok is dolgoznak.

Kisérleti reaktor épitése Tiflisz közelében. Nem messze Tiflisztől kisérleti reaktort épitenek. A telep főépülete már készen van. Ebben állitják fel a reaktort, itt rendezik be a laboratóriumokat, valamint a segédberendezés helyiségeit. A reaktort fizikai, biológiai, orvosi, kémiai, stb. kutatómunkára állitják be. Az örmény és az azerbajdzsán tudósok is itt fognak dolgozni.

Az Egyiptomi Atomenergia Bizottság javasolja kutatócsoport kiküldését Sziriába, hogy résztvegyen az ottani uránium és egyéb reaktoranyagok utáni kutatómunkában. Az Atomenergia Bizottság igazgatója azt is bejelentette: Az Egyesült Arab Köztársaság felkérte a Német Szövetségi Köztársaságot, hogy tanulmányozza az Egyiptomban fellelhető urániumfoszfátból való uránkinyerést, továbbá egy, évenkénti 20 tonna kapacitású, nehézvizgyártó üzem felállitásának lehetőségét.

Sajtóközlések szerint a Francia Elektromos Művek érdekeltséget vállal egy, a Szaharában felállitandó atomerőmű épitésében. A Francia Elektromos Művek /EDF/ az Amerikai Atomenergia Bizottság /AEC/ és egy pénzügyi csoport külön szervezetet hozott létre erre a célra.

Atomhajtású mozdonyok és teherautók a Szovjetunióban. Konsztantyinovnak, a moszkvai Fizikai Intézet professzorának nyilatkozata szerint a Szovjetunióban a mozdonyok és teherautók atomenergiával való hajtása már közel van a megvalósuláshoz. A professzor Rómában tartott Atomtechnikai és Elektronikus Kiállitás alkalmával közölte ezt az újságirókkal.

A Dél-Afrikai Unió urántermelése 1956-ban 4 400 tonnát tett ki; ez a világ urántermelésének 20 %-át jelenti, beleértve a Szovjetunió termelését is. Az exportált mennyiség értéke igen jelentős. 1957-ben a Dél-Afrikai Unió 5 709 tonna urániumot termelt, többet, mint bármely más ország. Amint a Nagybritanniával és az Egyesült Államokkal 1963-ig, ill. 1967-ig érvényes kereskedelmi szerződéseik lejárnak, az uránt újból szabadon értékesithetik.

"Atomreggelit" szolgáltak fel Párizsban. "Az atomenergia alkalmazása a mezőgazdaságban" cimmel megrendezett négynapos konferencián a résztvevő tudósoknak a történelemben először szolgáltak fel "atomreggelit", amely csupa olyan fogásból állt, melyeket radioaktiv sugárzással sterilizáltak. A reggelin 87 tudós vett részt.

A szovjet 100 MW-os teljesitményű reaktor kritikussá vált. A szovjet delegáció vezetője, Jemeljanov professzor, Genfben bejelentette, hogy a konferencia ideje alatt a Szibériában épülő egyik atomerőmű reaktora - 100eMW kapacitással - szeptember 8-án kritikussá vált. További 5 ugyanilyen reaktor épül még itt, s igy a világ legnagyobb erőműve épül fel. Ezt a közlést

filmbemutató követte, magáról az erőműről és a környező városról, amelynek még neve sincs. Jemeljanov professzor nem adott további felvilágositásokat, csupán annyit, hogy a reaktor hűtőanyaga természetes urán.

Egy másik reaktor, amelyet most helyeztek üzembe, a BR-5, 5 MW termikus teljesitményű kisérleti, gyorsszaporitó, melyet a Volga központi kerületében, Uljanovszkban, a leszerelt BR-2, 2 termikus MW teljesitményű reaktor helyén épitettek. Átmeneti tipusnak tervezték a higanyhűtésű BR-2 és a tervezett 250 MW-os nátriumhütésü BN-50 erőmü között; nátriumhütésü 500° C maximális hőmérsékleten. Neutronfluxusa 10^{15}. Ez lehetőséget nyujt a Szovjetuniónak arra, hogy tapasztalatokat szerezzen a nátriumhütés kezelésében, valamint a BN-50 fütőelemének kipróbálásában. A 2 129.sz. dolgozat megállapitja, hogy a BR-5 reaktor magja acéltokozásu, zsugoritott plutonium-oxid elem, amely 80 hatszögletü kötegben van. A magban 1 520 db 28x5 cm nagyságu fütőelem van. A reaktorvédelem és vezérlés csak kevéssé tér el a BR-2 tipustól. Nem elektromosság előállitására szánták. Két párhuzamos hütőkör adja át a hőt a környező levegőnek és a kondenzátornak légkicserélőn, ill. kazánon keresztül.

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

Reviczky - u. 6.
Palotainé

ATOMTECHNIKAI TÁJÉKOZTATÓ

I. ÉVF. 5 SZÁM 1958. DECEMBER

AZ ORSZÁGOS ATOMENERGIA BIZOTTSÁG
MEGBIZÁSÁBÓL KIADJA A
M.T.A. KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓ INTÉZETE
DOKUMENTÁCIÓS OSZTÁLYA

ATOMTECHNIKAI TÁJÉKOZTATÓ

I. ÉVF. 5 SZÁM 1958. DECEMBER

AZ ORSZÁGOS ATOMENERGIA BIZOTTSÁG
MEGBÍZÁSÁBÓL KIADJA A
M.T.A. KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓ INTÉZETE
DOKUMENTÁCIÓS OSZTÁLYA

Szerkesztette, forditotta, lektorálta és kiadta:
a
Magyar Tudományos Akadémia
Központi Fizikai Kutató Intézete
Dokumentációs Osztálya

Felelős kiadó:
Fóti Ernő

Lektor:
Dolinszky Tamás

Készült:
a M.T.A.Központi Fizikai Kutató Intézet Romayor-sokszorositógépén
Kézirat beérkezett: 1959.jan.16.
Példányszám: 200

TARTALOMJEGYZÉK

Oldal

Energia atomból: a brit program
- UKAEA 1

Az erőművek gazdaságossága az Egyesült Államokban
- USAEC 2

Az atomerőművek gazdaságossága
- J.A.Jukes 4

A brit Egyesült Királyság atomenergiaprogramja a közgazdaság tükrében
- J.C.Duckworth és E.H.Jones 24

Az atomenergia gazdaságossági problémái
- J.A.Jukes 47

Az atomerőművek gazdaságos müködésének feltételei Lengyelországban
- W.Frankowski és T.Wojcik 68

A nukleáris villamosenergia- és hőenergiafejlesztés gazdasági helyzete
- K.M.Mayer 78

A reaktortervezés és a nukleáris fejlesztésü elektromos energia költségeinek jövőbeni alakulásáról
- Sir Ch.Hinton 118

Az ipari hőt termelő reaktorok perspektivái 151

Az USAEC ipari-gőz termelő programja
- J.F.Kaufmann és D.Steward 158

Olcsó hőtermelő reaktor
- E.L.Heller és D.O.Hubbard 161

Hőtermelő reaktorok problémái Európában 164

Nukleáris energia papiripar számára
- G.Perazich 166

"ADAM" - épületfütési célra épülő 75 MW-os nukleáris hőfejlesztő
- I.Wivstad és C.Mileikowsky 170

Radioaktiv anyagok ipari alkalmazása
- Dr.K.Hogrebe 203

Nukleáris fütőanyagforrások
- J.C.Johnson 209

H i r e k 216

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
KÖNYVTÁRA

Wolfgang Pauli

1958 decemberében rövid betegeskedés után meghalt W. Pauli svájci fizikus, a XX.század fizikájának kiemelkedő egyénisége.

1900-ban, Bécsben született. Még egyetemi hallgató korában /1922-ben/ irja meg a relativitás elméletének és irodalmának mintaszerüen tömör és világos összefoglalását. Az Enzyklopaedie der Mathematischen Wissenschaften-nek ez a kötete ma is a relativitás elméletének egyik legkiemelkedőbb és leggyakrabban kézbevett monográfiája. 1928-ban Heisenberggel együtt kidolgozza a terek kvantumelméletének általános alapjait. 1929-ben a Handbuch der Physik számára megirja a kvantummechanikai fejezetet. Ez az egyetlen olyan fejezet, amelyet változtatás nélkül átvettek az 1957-ben megjelent uj Handbuch-ba is.

Tudományos munkásságát a zürichi egyetem professzoraként folytatja. Eredményei közül legfontosabb a Pauli-elv néven ismert kizárási elv /1925/. Ez az atomfizikai tapasztalatból leszürt törvényszerüség az elemi részeknek átfogó jelentőségü rendező elvévé vált. Az elv matematikai megfogalmazását, következményeinek feltárását, Dirac, Pascual Jordan, Wigner Jenő adták meg, de a betetőzés ismét Pauli nevéhez kapcsolódik. 1940-ben a relativitás elméletére támaszkodva kimutatja, hogy a feles és egész spinü részek mindig Fermi- ill. Bose-statisztikát követnek. 1945-ben érdemei elismeréséül Nobel-dijjal tüntetik ki. A legutóbbi években tanitványának, Lüdersnek eredményét elmélyitve felállitja az un. TCP tételt, amely az elemi részeknek a kiválasztási szabályok megalkotása szempontjából fontos szimmetria viszonyai belső összefüggésére mutat rá: a relativitás elvével és a Pauli-elvvel összhang-

ban álló fizikai törvény szükségszerüen invariáns a tér, idő és töltés egyidejü tükrözésével szemben /1956/. Az elmult évben figyelmét elsősorban a Heisenberg-féle nemlineáris egyenlet problémái kötötték le.

Sokat utazott tudományos kongresszusokra, azokon aktiv résztvevő volt. Kritikai megjegyzései gyakran ostorozták az ingatag spekulativ alapokra épült elméleteket. Hazájához, Svájchoz élete végéig hü maradt.

A természetet Goethe lelkesedésével és Newton tiszteletével szemlélte. Megérthetőségében rendületlenül hitt, a valóság megismerésének egy-egy jelentős lépése mégis szinte áhitatos élmény volt számára.

Mindig megrenditő, ha olyan kutatónak kell kiválnia a tudomány területén küzdők sorából, akinek a természet nem adta meg a választ a feltett kérdésre. Megilletődöttségünk különösen mély az ő esetében, aki oly komolyan vette a természettudományt, s aki oly szenvedélyes kiváncsisággal leste a Mindenség titkainak megnyilvánulásait.

ENERGIA ATOMBÓL: A BRIT PROGRAM

/ Az Egyesült Királyság Atomenergia Hatóságának kiadványa /

A nukleáris energia költségei

A széntüzelésü erőmüvek tervezésében a háboru óta elért haladás jobb üzemeltetési hatásfokot eredményezett, és az erőmüvek továbbfejlesztése is folyik. De ezen javitások gazdasági eredményét ellensulyozza a szén árának emelkedése. Ha megfelelően számbavesszük ezt a két ellentétes tényezőt - a jobb hatásfokot, valamint az emelkedő tüzelőanyagárakat - akkor arra a becslésre jutunk, hogy 1960-tól kezdve a villamosenergiának modern széntüzelésü erőmüvekben való előállitási költsége állandóan növekedni fog.

Jelenleg az atomerőmüvek létesitésének kezdeti költségei magasak. Az atomerőmüvekben előállitott villamos energiaegység költségének 65-70 %-át a beruházással kapcsolatos tőkeköltség teszi ki; széntüzelésü erőmüvekben ez az arány mindössze 20-25 %.

Az első kommerciális jellegü atomerőmüvek épitési megrendeléseinek kiadását 1960-ra tervezik és becslések szerint a nukleáris eredetü villamosenergia akkor valamivel drágább lesz, mint a legujabb széntüzelésü erőmüben előállitott áram. A jövő helyzetet illetően minden okunk megvan hinni, hogy a magas tőkeköltségeket sikerül leszoritani - ugyanugy, ahogy az évek során lecsökkentek a hagyományos gőzerőmüvek tőkeköltségei, ugy hogy 1965-re a két rendszer költségei kiegyenlitődnek, 1970-re pedig igen nagy valószinüséggel az atomerőmüvekben előállitott villamosenergia olcsóbb lesz.

Forditotta: Lendvai Ottó

AZ ERŐMŰVEK GAZDASÁGOSSÁGA AZ EGYESÜLT ÁLLAMOKBAN

/Az Egyesült Államok Atomenergia Bizottsága/

Alapvető gazdasági tény, hogy mielőtt nukleáris eredetü energia gazdaságilag versenyképes lehet az Egyesült Államokban, költségeit alacsonyabb szintre kell leszoritani,mint amely elfogadható Nyugat-Európában és más övezetekben, ahol konvencionális tüzelőanyagok hiánya mutatkozik.

A helytől függően, az Egyesült Államokban egy konvencionális erőmü épitése beépitett kilowattonként 100-200 dollárba kerül. Ha a beruházás fix költségeit évi 14,5 %-kal vesszük számitásba, ami az Egyesült Államok közszolgáltatási iparágaiban elfogadott számitási gyakorlatnak felel meg, és ha az erőmü átlagban, teljes kapacitásának 80 %-án dolgozik, ami alapterhelési üzemben a szokásos, az energiaköltségek fix része 2-4 mill/kWóra. Ehhez hozzá kell adni az erőmü üzemeltetési költségeit, amelyek általában kb. 1 mill/kWóráig mennek fel, valamint az üzemanyagköltségeket, amelyek esetleg egészen alacsonyak - 1 mill/kWóra - vagy egészen magasak - 4 mill/kWóra - szintén az erőmü helyétől függően. Igy tehát az összköltség 4 és 9 mill/kWóra között lesz. Az országos átlag 7 mill, Nyugat-Európában viszont - ugyanilyen alapon számitva - 10-12 mill/kWóra.

Jelenleg az Egyesült Államokban egy kommerciális jellegü nukleáris erőmü épitése 300-400 dollárba kerül beépitett kilowattonként. Valószinütlennek tekinthető, hogy ezeket a költségeket belátható időn belül erősen a 200-250 dollár alá lehetne leszoritani. A kedvezőbb esetben, a nukleáris eredetü energia önköltségének az amortizációból adódó része 4/5 mill/kWóra között mozogna. Az atomerőmüvek üzemeltetési költségeit ma még többé-kevésbé megbizhatóan sem ismerjük,

bár várható, hogy kb. 2 mill/kWóra nagyságrendüek lesznek, tekintve, hogy a kezelési, karbantartási stb, költségek magasabbak, mint a konvencionális erőművek üzemeltetése esetén. Ezen az alapon, ha 9 mill/kWóra önköltségü energiát kivánunk termelni az Egyesült Államokban, az üzemanyagköltségeket 2 és 4 mill/kWóra közötti határokban kell tartanunk; és hogy a versenyképesség általánosabb feltételek mellett is meglegyen, már gondolkodásmódunkban is csak minimális fix és üzemeltetési költségekről lehet szó, kombinálva ezt közelitőleg 1 mill/kWóra fütőanyagköltséggel.

Bizunk abban, hogy ezek a célok elérhetők, de világosan látható, hogy ehhez magasan fejlett technológia szükséges. Természetesen ez az oka a fentebb vázolt erőteljes fejlesztésnek. Ezért is helyez e téren az Egyesült Államok olyan nyomatékot az ipari potenciál kiépitésére.

Forditotta: Lendvai Ottó.

AZ ATOMERŐMŰVEK GAZDASÁGOSSÁGA

J.A. Jukes

A II. Genfi Konferencia A/CONF. 15/P/72 cikk

1. A Genfben 1955-ben megtartott konferencia óta sok minden történt, ami befolyásolja az elektromos energia nukleáris erőművekben történő fejlesztésének gazdaságosságát. Ebben a tanulmányban megkisérelyjük vázolni a gazdaságosságból alkotott értékelésünk megváltozását, kideriteni ennek a változásnak okait. Nézeteink megváltozásának fő okai:

a/ A müszaki ismeretek nagymértékü növekedése;

b/ Reaktor-kisérletek, villamosenergia fejlesztő kisérleti reaktorok és kettős rendeltetésü reaktorok, /melyek feladata elsősorban a plutoniumtermelés, de melléktermékként villamosenergiát is fejlesztenek/ tervezése, épitése és üzembentartása terén szerzett tapasztalatok;

c/ Az ipari vagy "kereskedelmi" célokat szolgáló nukleáris erőművek tervezése és részben épitése terén szerzett tapasztalatok;

d/ Az a fejlődés, ami a gazdasági tényezőkkel kapcsolatos nézeteink terén ment végbe.

2. Fenti tényezők mindegyike szerepet játszott nézeteink megváltoztatásában. A nukleáris erőművekkel kapcsolatban szerzett tapasztalatok előkészitettek bennünket a feladattal kapcsolatos komoly müszaki adottságok leküzdésére. A technikai fejlődés és a nézeteink terén bekövetkezett fejlődés lehetővé tette számunkra, hogy mélyebben tekintsünk bele a részletekbe, és megismerhessük a helyzettel járó nehézségeket, de a lehetőségeket is. Ugyanakkor mindezek a tényezők megfelelő szerepet játszottak abból a szempontból is,

hogy bizonyos mértékig módositották a nukleáris energia előbecsült költségeinek minden egyes fontosabb tényezőjét. Ezeket a legfontosabb tényezőket vizsgáljuk egymás után meg az alábbiakban.

A GAZDASÁGI TANULMÁNYOK CÉLJA

3. Mielőtt részletesen tárgyalnók meg az egyes tényezőket, célszerü, ha mindenekelőtt azt tisztázzuk, hogy mi is tulajdonképpen a céljuk az ilyan gazdaságossági vizsgálatoknak. Az elsődleges cél az, hogy vezérfonalat kapjunk a beruházással kapcsolatos döntések meghozatalához, beleértve a kutatás és fejlesztés valamennyi fokozatát. Amikor gazdasági tanulmányokat hajtunk végre, akkor lényegében nem bizonyos abszolut mennyiségek felmérésével foglalkozunk, hanem a különböző lehetőségek relativ költségeinek becslésével. Bizonyos mértékig ez a helyzet akkor is, amikor multbeli költségek tanulmányozásáról van szó. Igy pl. 25 év leforgása után kétségtelenül abban a helyzetben leszünk majd, hogy meglehetősen pontosan tudjuk majd meghatározni, hogy az ezekben az első atomerőművekben fejlesztett villamosenergia mennyibe került; ez azonban nem ad számszerü utmutatást a többi szóbajövő, de soha meg nem épitett atomerőművek gazdaságosságára vonatkozóan; sőt még azt sem fogjuk tudni, hogyan alakult volna a szén ára akkor, ha nem inditottuk volna el a nukleáris program megvalósitását. Bármennyire is azt hinné az ember, hogy 25 év mulva már világos választ fogunk kapni ezekre a kérdésekre, - a gazdaságosság megitélése még mindig szubjektiv jellegü lesz.

4. Számtalan esetben hangsulyozták már, hogy a nukleáris energia előbecsült költségei kizárólag csak azok között a feltételek között érvényesek, amelyre vonatkozóan az előbecslést végrehajtották. Ezen tulmenően számos ujabb

kutató hangsúlyozta /lásd pl. Roddis tanulmányát[1]/, ezeknek az előbecslésekben a szubjektiv jellegét; ezeket a számvetéseket nemcsak a szóbanforgó fizikai és gazdasági tényezők befolyásolják, hanem a számitásokat végző személy optimizmusa, vagy pesszimizmusa is. Könnyen előfordulhat az az eset, hogy valamely adott atomerőműre vonatkozóan olyan széles határok közt mozgó előbecsült költségeket kapunk, hogy az ilyan számitások használhatóságát azonnal kétségbe is vonhatjuk. Ez azonban azért van igy, mert tul sokat várunk ezektől a számitásoktól /pl. abszolut értéket a nukleáris energiahordozókból fejlesztett villamosenergia költségeire vonatkozóan/, mig a gazdasági felmérés célja csak az lehet, hogy segitségünkre legyen annak eldöntésénél, hogy fosszilis fütőanyaggal működő vagy nukleáris erőművet épitünk-e; illetőleg, hogy két különböző tipusu nukleáris erőmü közül melyiket válasszuk.

5. Ebben a tanulmányban ezért csak azt vizsgáljuk, hogy 1955 óta hogyan változtak meg a nukleáris ill. a hagyományos erőművekben fejlesztett elektromos energia relativ költségeire vonatkozó kalkulációink, illetve hogyan módosultak azok a számvetéseink, amelyekkel a különböző reaktorfajtákat hasonlitottuk össze gazdaságossági vonatkozásban. Az eddig bekövetkezett változások hozzásegitenek bennünket ahhoz, hogy a jövőre vonatkozó számadatokat nagyobb biztonsággal "érezzük" meg és pontosabban tudjuk, mennyire hiteltérdemlőek a gazdaságossági számitásaink.

6. Tekintet nélkül arra, hogy hiszünk-e számitásaink megbizhatóságában, ezeket a számvetéseket mindenképpen el kell végeznünk. Döntéseket kell hozni a különböző nukleáris energia programok méreteire, valamint a nukleáris energia területén végzett kutatási - és fejlesztési erőfeszitések irányára és célkitüzéseire vonatkozóan. Helyesebb a legjobb kalkulációk birtokában dönteni, mint minden adatra való tá-

---

[1] Roddis, L.H. How Nuclear Power Costs are Made. Atomic Energy Conference, National Industrial Conference Board /1958/.

maszkodás nélkül. A döntéseket nem lehet elodázni. Az atomenergiaprogram meginditására vonatkozó pozitiv döntés elmulasztása annyit jelent, hogy nem tartjuk megvalósitásra érdemesnek.

A KUTATÁSSAL ÉS A FEJLESZTÉSSEL JÁRÓ KÖLTSÉGEK

7. Valamely kutatási- és fejlesztési programról szóló döntés során számitásba kell venni a megvalósitásukból várható előnyöket. Az alapvető atomtechnikai kutatást az egész nemzetgazdaság feladatának kell tekinteni, hiszen az alapvető kutatás előnyei igen széleskörüek és sokszor előre-nem-láthatóak is lehetnek; felmérésük pedig nem is történhetik valamilyen egyszerü módon. Ennek ellenére uj reaktortipus kifejlesztéséhez csak akkor szabad hozzákezdenünk, ha komoly esélye van annak, hogy az olyan értékü haladást tesz majd lehetővé, ami utólag igazolja a kutatómunka elvégzését. A kutatási-fejlesztési munkát akkor is el kell végezni, ha a munkát ténylegesen végző szervnek saját magának kell finanszíroznia munkáját, mivel a költségek közvetlenül nem térülnek meg; ez azonban nem lehet akadály egy országos jelentőségü program végrehajtásának utjában.

8. Elméletileg elképzelhető, hogy a nukleáris uton való áramfejlesztés gazdasági előnyeinek felmérésével - a gazdaságosság elve alapján - korlátok közé szoritsuk az atomerőmü kutatásra forditható összegeket. A gyakorlatban azonban a várható gazdasági előnyök ilyen felmérése nemcsak hogy félelmetesen bonyolult, de az eredmény döntő módon függ olyan bizonytalan tényezőktől is, mint amilyen a kamatláb. Ezen tulmenően valamilyen uj technológiával járó előnyöket nem lehet egykönnyen felmérni, mivel ezek az eredmények igen sok esetben messze tulnyulnak a számitásbavett közvetlen terület határain és gyakran egészen váratlan, előre nem látott előnyöket is nyujthatnak.

9. A kutatási és fejlesztési költségeknek ezen a bonyolult területén két dolgot lehet kétségkivül megállapitani. Először: kivánatos, hogy a nukleáris eredetü elektromos energia költségeinek kalkulációjánál megfelelő sullyal vegyük figyelembe a kutatási- és fejlesztési költségeket is, másodszor: az utóbbi évek amerikai és angol tapasztalatai azt mutatják, hogy a reaktorfejlesztés területén meginditott mindennemü kutatómunkának elég széles perspektivájunak kell lennie ahhoz, hogy egy-egy szóbajövő tipussal kapcsolatos m i n d e n kérdésre választ tudjon adni. Semmi értelme sincs az olyan fejlesztésnek, amely egyetlen gazdaságos atomerőmü megtervezéséhez sem vezet el. Döntő fontosságu, hogy erőfeszitéseinket néhány sulyponti célkitüzésre összpontositsuk.

PÉNZGAZDÁLKODÁSI ÉS FÖLDRAJZI TÉNYEZŐK

10. Már az 1955-ös Genfi Konferencia alkalmával felhivták a figyelmet a pénzgazdálkodási és a földrajzi tényezők fontosságára. Davis rámutatott arra, hogy még az Egyesült Államokon belül is hogyan változhatnak a tőkeköltségek; az állam által finanszirozott létesitményeknél 5 1/4 %-ig, a magántőkével történt befektetéseknél 14 %-ig is emelkedhetnek. Több különböző későbbi tanulmányban hangsulyozták e kérdés nagy jelentőségét. Egyre inkább tudatára ébredtek annak, hogy a nukleáris villamosenergia költségei összehasonlitásának csakis akkor van értelme, ha ezt az összehasonlitást egy jól definiált konkrét esetre, adott pénzügyi viszonyokra, konkrét földrajzi feltételekre, ismert energiaszükségletre, az alternativaként szóbajövő egyéb fütőanyagok lokális beszerzési feltételeire, stb. vonatkozólag hajtjuk végre. Ez azután ismét arra a következtetésre vezet, hogy a költségek felmérésénél csak az lehet a célunk, hogy támpontot kapjunk a programmal kapcsolatos döntésekhez, nem pedig az, hogy általános érvényü tételekre jussunk.

11. Bár jó oka lehet annak, hogy a tőkeköltségeket megszabó kamatlábat a gazdasági életben fennálló tőkehiány alapján önkényesen vegyük fel, ahelyett, hogy az adminisztrativ előirá-

sokra támaszkodnánk, ez a kérdés a kormányok általános gazdasági politikájától függ, nem pedig a nukleáris erőmü gazdaságossági kalkulátorától. Az egyetlen megnyugtató megoldás az ő szempontjából az, ha azt a kamatlábat veszi alapul, ami a szóbanforgó közmüvekre vonatkozik. Ez pedig azt jelenti, hogy az erőmü létesitésére kapott kölcsön igénybevételének időtartamára vett átlagos kamatlábbal kell számolni a szóbanforgó közmüre elfogadott adókulcs, biztositási dijak és értékcsökkenés figyelembevételével. Ez utóbbi esetleg nem lesz azonos azzal, amit az illető közmüvek könyvelés céljaira utólag használ /ex post facto/. Például az Egyesült Királyságban mind az Atomenergia Hatóság, mind pedig a Villamosenergia Igazgatóságok rendszerint a törlesztési amortizációs "alap"-módszert használják az amortizáció kiszámitásánál, ez a módszer ugyanis állandó évi tőkeköltségekhez vezet az erőmü egész élettartama során. Igy azután a villamosenergia elméleti költsége nem változik évről évre.

Ugyanakkor azonban a Villamosenergia Igazgatóságok évi elszámolásaikban "egyenesvonalu" értékcsökkenést használnak /az egyes erőmüveket nem tüntetik fel külön/. Abban az esetben, ha ezt az utóbbi módszert alkalmazzuk gazdaságossági kalkulációink során, akkor a tőkeköltségek az első évben lennének a legmagasabbak, azután évről évre csökkennének, ugyhogy az az összeg, amit az erőmü egész élettartama során tesznek félre, kisebb, mint a "törlesztési alap" módszer esetében. Bármennyire sok is az előnye az "egyenesvonalu" módszernek, nem lehet eredményesen alkalmazni gazdaságpolitikai döntések meghozásánál, tekintettel arra, hogy ebben az esetben a villamosenergia látszólagos költsége évről évre változik; semmivel sem tudjuk megindokolni, hogy két tervbevett erőmü gazdaságosságát miért az első üzemi évre kalkulált elektromos áram-költség alapján hasonlitsuk össze, ahelyett, hogy várható élettartamukra vonatkozó átlagköltségeket vetnénk össze.

12. A földrajzi tényezők gyakorlati alkalmazása szempontjából egyszerüek, de ugyanakkor sok esetben rendkivül

nagy a jelentőségük. A felépitéssel kapcsolatos beruházási költség rendkivül nagymértékben változik országról országra. Ha figyelembe vesszük, hogy az első atomerőműveknél a beruházási költségek az összköltségnek nagy hányadát teszik ki, a villamosenergia csakis abban az esetben lehet olcsó, ha nagy a terhelési tényező. Végül számitásba kell még vennünk a hagyományos fütőanyagtermelés emelésének várható költségét is.

13. Ha ezeknek a tényezőknek a világánál vizsgáljuk meg a helyzetet, akkor azt állapithatjuk meg, hogy Anglia kivételesen kedvező helyzetben van a nukleáris villamosenergiafejlesztés szempontjából. A pénzügyi intézkedések alacsony tőkeköltségekhez vezettek, bár e tanulmány megirása idején a kamatláb a szokottnál magasabb. A hagyományos tüzelőanyagok drágasága, továbbá az a körülmény, hogy az Egyesült Királyság villamosenergia elosztóhálózata egyike a világ legnagyobbszabásu ilyen berendezéseinek, biztositja a nagy alapterhelést; emellett mind a mély-, mind a magasépitési költségek kedvezőek. Csupán nyugateurópai országokban és Japánban találkoztunk ehhez hasonló kedvező, bár részleteikben mégis más feltételekkel. A feltételek már kevésbé kedvezőek az északamerikai kontinensen, valamint a kevésbé iparosodott országokban, ahol nem olyan nagy a villamosenergiaszükséglet, hogy az nagy alapterhelést biztositana.

BERUHÁZÁSI KÖLTSÉGEK

14. A különböző tipusu nukleáris erőművek valószinü beruházási költségeire vonatkozó előkalkulációk nagy mértékben tökéletesedtek az elmult három év folyamán mindazoknak az okoknak az eredményeként, amelyeket a fenti 1. pontban fejtettünk ki. Az Egyesült Királyságban különösen a calder-halli

erőmüre gondolunk; ezt a létesitményt ugyanis az eredeti számvetéseknek megfelelő költséggel sikerült felépiteni. Ezenfelül még további négy, ipari célokat szolgáló erőmü áll jelenleg épités alatt; épitésük szerződésben rögzitett árak alapján folyik. Mindezek a körülmények biztos alapot nyujtanak a jövőben felépitésre kerülő hasonló tipusu erőmüvek beruházási költségeinek kiszámitásához.

15. Az Egyesült Királyságban a fejlettebb reaktorok tanulmányozása azt mutatta, hogy az ismeretek kibővülésével és a tervezés előrehaladtával a nehézségek növekedtek és az előkalkulált beruházási költségek ezzel egyidejüleg emelkedtek. Az, hogy egy erőmütipusnál az előre kiszámitott beruházási költség alacsony, sajnálatosképpen sok esetben nem a rendszer kiválóságának a jele, hanem arra utal, hogy a rendszerről tul keveset tudunk, vagy esetleg hogy az előzetes számvetések helytelenek voltak. A tanulság ebből az, hogy teljes tervezési tanulmányt kell elvégezni, mielőtt hozzálátunk a beruházási költségek előzetes kiszámitásához. Ezenkivül a tervezési tanulmánynak és a vele kapcsolatos kisérleti munkának ki kell tudnia jelölni azt, hogy milyen irányu fejlesztésre van szükség - a tapasztalat ebben a vonatkozásban azt mutatja, hogy a szükséges fejlesztési munka rendszerint sokkal nagyobb méretü, mint ahogy azt előre lehet látni, - továbbá, ki kell tudnia mutatni azt, hogy a fejlesztést igénylő problémák közül melyről valószinü, hogy megoldhatatlannak bizonyul, vagy hogy megoldása csak igen nagy költséggel lehetséges.

16. Az amerikai tapasztalatok láthatóan hasonló következtetések levonásához vezettek. Tekintettel arra, hogy az Egyesült Államokban a körülmények nem olyan kedvezőek a nukleáris energia gazdaságossága szempontjából, mint Angliában, az amerikai programban sokkal fejlettebb reaktorok is szerepelnek, ezek több fejlesztési munkát igényelnek, azonban perspektivikusabban jobb eredményekkel kecsegtetnek,mint amelyeket Nagy-Britanniában az azonnali ipari célra való fel-

felhasználás céljából állitottak be a programba. Az az amerikai tapasztalat, amely szerint a kezdeti költség-előbecsléseket felfelé kell módositani az ilyen tipusu reaktorok esetében, már alaposan beigazolódott; ez azután alátámasztja azokat a következtetéseket, amelyeket az előző fejezetben vontunk le.

Ezért, ha nem akarunk illuziókban élni a fejletteb reaktor-rendszerek épitési költségei tekintetében, akkor előkalkulációnkat tapasztalatokra kell felépiteni. Lehet, hogy kisebb költségeket kapunk az egyszerübb, jól bevált rendszerek sima továbbfejlesztésével, mint az un. fejlettebb rendszerek széleskörü kifejlesztésével.

17. Semmi esetre sem szabad a most elmondottak alapján azt gondolni, hogy a fejlett reaktorrendszerek közötti összehasonlitásnak nincs értelme. Ezeket az összehasonlitásokat végre kell hajtani, ugy ahogy azt már a fentiek során kifejtettük, abból a célból, hogy el tudjuk dönteni, milyen irányokban is kell összpontositani a fejlesztési erőfeszitéseket, és hogy milyen energiaköltségek elérését tüzhetjük ki erőfeszitéseink céljául. Ezeket a számvetéseket azonban nem szabad olyanoknak tekinteni, mint amelyek a nukleáris fejlesztésü villamosenergia valószinü költségeit adják meg a szóbanforgó atomerőmüre vonatkozóan.

18. Egy atomerőmü tervezési munkáinak gondos elvégzése után joggal várhatnánk, hogy a fejlesztendő elektromos energia tőkeköltségeire vonatkozóan megbizható adatokat nyerünk; a valóság azonban az, hogy még ilyenkor is lesznek müszaki jellegü bizonytalanságok. A berendezés abszolut élettartamát nem lehet előre megállapitani; ezért óvatosan kell felbecsülnünk a berendezés várható élettartamát, és biztosaknak kell lennünk abban, hogy nem szerepelnek olyan tényezők, /mint amilyen pl. a besugárzás hatása az anyagokra/, amelyek ennek a becsült élettartamnak elérését meggátolhatják. Másik ilyen bizonytalan tényező a reaktor tényleges

teljesitménye. Lehet, hogy a tényleges teljesitmény nem éri el az előirt teljesitményt; a másik lehetőség viszont az, hogy - olyan esetben, amikor a tervező tulzottan óvatosan járt el a teljesitmény előzetes megállapitása során - a reaktor nagyobb teljesitmény leadását teszi lehetővé, különösen ha kellő üzemeltetési tapasztalatra teszünk szert. Igy pl. a Calder Hall reaktorok e tanulmány megirása idején, a tervezettnél mintegy 10 %-kal nagyobb hőteljesitménnyel dolgoznak, és 10 %-kal több villamosenergiát fejlesztenek,mint ahogy azt vártuk. Még ennél is meglepőbb volt az a tapasztalat, amit Amerikában az E.B.W.R. /Experimental Boiling Water Reactor = kisérleti vizforraló /:kazántipusu:/ reaktor/ esetében szereztek Argonneban; bár kétségtelen, hogy ez az a reaktor kisérleti berendezés, ahol nagyobb rugalmassággal lehet számolni. Ezzel a berendezéssel kapcsolatban azt tapasztalták, hogy kétszer vagy háromszor akkora hőteljesitmény leadására képes, mint amire szerkesztették. Ez a nagyobb teljesitmény azonban csakis abban az esetben állhat villamosenergia formájában is rendelkezésre, ha bizonyos többletköltséget vállalnak, ami a nagyobb teljesitményü vagy esetleg több váltakozóáramu turbogenerátor felszerelésével jár.

ÜZEMELTETÉSI KÖLTSÉGEK
/a fütőanyagköltségek nélkül/

19. Az elmult néhány év folyamán nem sok olyan ujabb tapasztalatra sikerült szert tenni, ami segitséget nyujt a nukleáris erőmüvek /fütőanyagköltségek nélküli/ üzemi költségeinek előzetes kiszámitásához. Nem valószinü, hogy a kezelőszemélyzet bére és fizetése jelentős mértékben különbözik a nagyteljesitményü, fosszilis tüzelőanyagokkal müködtetett erőmüvek hasonló költségeitől. A kezelőszemélyzet létszáma valószinüleg kisebb lesz amannál, ugyanakkor viszont minden valószinüség szerint szükség lesz egész sor kiváló, magas képzettségü szakemberre /fizikus, orvos és a rendes erőmüveknél is szükséges mérnökök/. Több szakemberre lesz szük-

ség a nukleáris erőművek engedélyezés céljából való felülvizsgálatához is. A fütőanyagciklussal kapcsolatos müveletek irányitására ugyancsak szükség lesz néhány különleges képzettségü szakemberre; ezek azonban több nukleáris erőmü fütőanyagciklusát is ellenőrizhetik. Ha azonban ezeket az előreláthatólag szükséges szakembereket mind számitásba is vesszük, fizetésüknek a villamosenergia költségre gyakorolt hatása még mindig elhanyagolható marad. Ez nem jelenti azt, hogy nem lesznek akut nehézségek atekintetben, hogy kellő számban biztositsanak megfelelő képzettségü szakembereket. Ha azonban ilyenekről nem sikerült időben gondoskodni, akkor könnyen lehet, hogy sulyos árat kell majd fizetni: kisebb lesz az erőművek megbizhatósági foka, aminek következménye azután kisebb terhelési tényező lehet.

20. A karbantartási költségeket a fejlett reaktorrendszerek esetében nehéz előre kiszámitani. Vannak olyan megállapitások is, hogy a karbantartás problémája bonyolult és igen költséges.

Calder Hall-ban kétségtelenül rendkivül kevés karbantartásra volt csak szükség; igy helyes volt az a megállapitás, hogy a nukleáris erőművek alkalmasak alapterhelés fedezésére, és hogy az ilyen tipusu erőművek üzemi megbizhatósága igazolja a magas beruházási költségeket. Mozgó gépészeti és villamos berendezések segitségével sugárzásmentes viszonyok között lehet a szokásos karbantartást végrehajtani; ugyanakkor a tapasztalat azt is bebizonyitotta, hogy hozzá lehet férni a radioaktiv körök egyes részeihez is, amit pedig eredetileg megoldhatatlannak gondoltak. A karbantartási és üzemeltetési költségek a termelt elektromos energia árában ugyanolyan értékkel szerepelnek, mint a hagyományos erőműveknél.

A FÜTŐANYAG-KÖLTSÉG

21. Az utóbbi három év folyamán nagyarányu fejlődés ment végbe a fütőanyag-költségekkel összefüggő problémák

tisztázása terén. Ennek ellenére ezen a területen szükségképen még hosszu évekig meglehetősen nagyfoku bizonytalanság fog uralkodni; ugyanakkor azonban egyuttal ez az a terület, ahol nagyok a lehetőségek is. Bár az alábbi megállapitások elsősorban az Egyesült Királyságban jelenleg épitési vagy előrehaladott fejlesztési stádiumban levő erőmütipusokra vonatkoznak, ennek ellenére alkalmazhatók sok, üzemben levő és ipari célra termelő erőmünél is.

22. A fütőanyag-költség jelentős hányadát a fütőanyagban levő természetes uránium-koncentrátumok ára teszi ki. Ennek a "természetes uránium-árnak" a jelentősége függ a természetes urániumnak a szóbanforgó rendszerben elérhető kihasználási lehetőségétől - figyelembevéve minden olyan anyagot, amit a diffuziós üzem a kismérvü dusitás során kiselejtez, de számitásba kell venni a plutoniumnak, mint melléktermékneк a felhasználási lehetőségét is. Rendkivül sok elméleti munkát végeztek a fütőanyag-ciklusok tanulmányozása és a dusitással kapcsolatos megtakaritások kérdése terén az utóbbi három év folyamán. Ezeket a kérdéseket egyébként részletesen ismertetik a konferencián elhangzó más előadásokban; éppen ezért tehát nem is teszünk kisérletet arra, hogy ezzel a kérdéssel most foglalkozzunk. Érdekes általános tünet az uránbányászati ipar gyors fejlődése. Ugy látszik, hogy a természetes urániumtermelés mai üteme ki fogja elégiteni a szükségleteket az elkövetkező évtized során; ugyanakkor az az ütem, amelyben a jóminőségü uránium-lelőhelyek feltárása folyik, - reményt nyujt arra, hogy ha a távolabb jövőben várható szükséglet tul is szárnyalja a jelenlegi urániumtermelést - számithatunk további, elfogadható áron kitermelhető készletek feltárására. Ilyen körülmények között az előbecsült "természetes uránium ár" 1955-höz képest csökkent. Az amerikai belső piacon egy kg U_3O_8 ára jelenleg 18 dollár, szemben a három évvel ezelőtt 1958-ra előrebecsült kg-kénti 22 dolláros árral.

Bár nem befolyásolja az 1960-as évek elejére tervezett erőművekhez szükséges fütőanyag-árat /tekintettel arra, hogy erre az időszakra a nukleáris fütőanyagok szállitását már nagyrészt szerződésszerüen lekötötték, és a megállapitott árnak fedeznie kell az iparág kezdeti fejlesztésének költségeit/, sok körülmény mégis csak arra enged következtetni, hogy az uránium világpiaci ára 1965 után az U_3O_8-ra vonatkozóan a kg-kénti 18 dolláros szinten fog megállapodni, még akkor is, ha a kereslet esetleg növekszik.

23. Az angol nukleáris program első atomerőművei természetes urániummal fognak müködni. A gázhütéses, grafitmoderátoru reaktorok későbbi változatai esetleg kisebb mértékben dusitott urániummal fognak dolgozni. Más reaktortipusok viszont, igy az ipari üzemeltetés küszöbén álló, ill. már ezt a fokot elért viznyomásos-tipusu /P.W.R./ vagy a vizforralótipus /B.W.R./ reaktorok valamivel nagyobb mértékben dusitott urániummal müködnek.

Amint ezt a konferencia más előadásai során ismertetik, a dusitás bizonyos előnyöket biztosit; amilyen mértékben azonban a dusitás foka nő, a hasadásra kerülő U-235 atomra eső költség is állandóan nő. Ha viszont nagyteljesitményü és jó hatásfokkal müködő diffuziós üzemünk van mind a megkivánt dusitás megvalósitására, mind pedig az egyszer már felhasznált anyag ujbóli dusitására, akkor a költség a dusitás fokának emelésével nem emelkedik ilyen gyorsan.

24. A fütőanyagköltségek kialakitásában talán a legjelentősebb tényező a besugárzási szint, vagy az "elégetés" foka. A speciális körülmények folytán az elérhető szintre vonatkozóan nem lehet pontos számitásokat végezni, ill. bizonyitékokat produkálni. A fütőanyag élettartamára vonatkozó átfogó becslést csak teljes üzem mellett szerzett többévi tapasztalat alapján lehet elvégezni. Részletes kisérleti vizsgálatok és pontos analizis azonban lehetővé teheti, hogy jó előrebecslést végezhessünk el már akkor, amikor fütőanyagot még egyáltalán nem is helyeztünk be a szóbanforgó reaktorba.

Tekintettel arra, hogy a fejlődés iránya a koncentráltabb fütőanyagok felé mutat, a fütőelemeknek nagyobb neutronfluxussal szemben kell ellenállóaknak lenniök, és igy minden egyes uj reaktor-rendszerhez ujtipusu fütőelemet kell tervezni. Ezért a fütőelemek viselkedését nem olyan könnyü előre meghatározni, mintha a jelenlegi reaktor-rendszerekhez képest csak kisebb fejlesztést hajtanánk végre.

25. A fütőelemek egyébként minden reaktor leglényegesebb és legkritikusabb részei. Az a fütőelem-konstrukció, amelynél az élettartamot a szóbajövő korlátozó tényezők közül valamelyik tényező egymaga dönti el, /azaz a többi tényező hatását a biztonsági konstrukció kiküszöbölte.-A szerk./ szinte biztosan nem lesz a leggazdaságosabb. Igy pl. amikor tengeralattjáró hajtómüreaktort terveznek, akkor a gazdaságossági szempontok alig játszanak szerepet. Ezért a fütőelemeket ugy tervezik meg, hogy rendkivül masszivak legyenek, tekintet nélkül az ilymódon felmerülő gyártási többletköltségekre vagy az abszorpció révén elvesző neutronokra. Éppen ezért teljesen valószinütlen, hogy ilyen esetben metallurgiai jellegü meghibásodás vetne véget a fütőelem életének. Ennélfogva a reaktormag élettartamát a reaktivitás értékének alakulása szabja meg, azt viszont elfogadható pontossággal lehet előre megmondani. Ez a megoldás azonban nem felel meg az erőmüreaktorokkal szemben támasztott követelményeknek, nevezetesen a termelt elektromos energia minimális költségének. A költségek csökkenthetők azáltal, hogy a fütőelemeket kevésbé masszivakra készitjük, igy a tokok kevesebb neutront nyelnek el és reaktivitáscsökkenés nem lesz oka a magmüködés befejeződésének. Valamennyi tényezőt optimálisan kell egyeztetni és amig nincsen bőséges tapasztalatunk, nem tudjuk eldönteni, melyik élettartamcsökkentő tényező fog dominálni.

26. Az atomenergiaprogram első erőmüveit azzal az elképzeléssel tervezték, hogy a fütőelemek élettartama 300 MWnap/tonna átlagos elégési szintnek fog megfelelni, az elégési szint pontos értékét pedig az szabja majd meg, milyen mértékben lehet a fütőelemek helyét változtatni a reaktoron belül; ennek a lehetősége viszont a fütőelem metallurgiai és

fizikai tulajdonságaitól függ. A polgári reaktorok fütőelemeinek kialakitása elméleti kutatómunkán, az anyagok besugárzásával kapcsolatban a reaktorban vagy kivül végzett kisérleteken, valamint az anyagok mechanikai és hővel szembeni magatartásával kapcsolatos kisérleteken alapszik.

Eltekintve az első Calder Hall-tipusu reaktorba behelyezett fütőanyagtöltéstől, amelyet nem támasztottak megfelelően alá, hogy saját sulya alatt meg ne hajoljon, a fütőanyagelemek elérték a tervezett teljesitményt. Ez a teljesitmény azonban alacsonyabb szinten mozog, mint amilyenre polgári erőmüvek esetében szükség van. Ennek ellenére semmi okunk sincs kételkedni abban, hogy az előirányzott 3000 MW-nap/tonna értéket nem lehet elérni.

27. A fütőelemek tervezése és gyártása a jelenleg épités alatt álló erőmüvek élettartama folyamán egyre tökéletesedni fog. A gyártás terén szerzett tapasztalatok azután egyre alacsonyabb gyártási költségekhez fognak vezetni, mig a fütőelemek teljesitőképességének teljes üzemi feltételek közötti tanulmányozása lehetővé fogja tenni a konstrukció tökéletesitését. Ez pedig egyre olcsóbbá fogja tenni a fütőanyagtöltés cseréjét, sőt: a fütőelemek teljesitménye is emelkedni fog. Ugyanakkor azonban a fütőanyaggal összefüggő üzemi költség függ még a besugárzott fütőanyag miatti jóváirástól /"credit"/ is; azokat a változásokat, amelyek e jóváirással kapcsolatos nézetek terén következtek be, az alábbiakban ismertetjük.

Összehasonlitás a régebbi számitások eredményeivel

28. Az első Genfi Konferencián /1955/ az Anglia programjához tartozó első nukleáris erőmüvekben fejlesztett villamosenergia várható fejlesztési költségeire vonatkozóan előzetes számvetéseket tettek közzé.

Ugyanezekre az erőmüvekre vonatkozó legujabb számitások pedig a jelen Konferencián megtartott más előadásokban szerepelnek.

A fent megvitatott eredményeket megfelelően tudjuk szemléltetni azzal, hogy összehasonlitjuk ezt a két adatsort. A legfontosabb változásokat az I. táblázatban tüntettük fel. Ezek az alábbiak:

a/ Kamatláb. 1955-ben az volt a nézet, hogy a számitásba veendő kamatláb Angliára vonatkozóan 4 %. Az 1958-as kalkuláció során 5 %-kal kellett számolni, de előállhat olyan helyzet is, hogy még ennél is nagyobb, esetleg 6 %-ig is felmenő kamatlábbal kell számolni. Figyelembevéve a nukleáris erőmüvek nagy beruházási költségeit, ez a nem-müszaki és nem-nukleáris vonalon történt költségváltozás legalább 10 %-os összköltségnövekedéshez vezet; ez elektromos energia árában kWóránként 0,1 penny /dollárban: kb. 1 mill./ emelkedést jelent.

b/ Beruházási költség. Az első négy nukleáris erőmü beruházási költségei /a telepitési hely kialakitási költségei nélkül/ 110-130 angol font között mozognak; - szemben az 1955-ben előkalkulált 125 angol fonttal. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a szóbanforgó erőmüvek sokkal nagyobbak, mint ahogy azt annakidején számitásba vettük /teljesitményük 300-500 MW, az akkor előirányzott 150 MW helyett/; a teljesitményegységre eső beruházási költség nagyobb lett volna, ha az akkori számitásoknak megfelelő teljesitményü erőmüveket épitettek volna.

c/ A telepitési hely kialakitásával járó és központi müszaki költségek. Az 1955-ben végzett számvetésekben ezeket a tételeket nem vettük figyelembe. Ez kétségtelenül hiba volt. Abban az időben figyelmen kivül hagytuk, hogy a széntüzeléses erőmüvek ismert beruházási költségeiben ezek a költségek rendszerint bennfoglaltatnak; vagy talán nem gondoltunk arra, hogy ezek a költségek ilyen nagyok. Pontosabban: a szóbanforgó költségek a beruházási költségek 5-10 %-át teszik ki, és mintegy 0,04 pennyvel növelik 1 kWórányi villamosenergia előállitási költségét.

d/ Az erőmü élettartama. Ebben a vonatkozásban nem következett be lényeges változás; az erőmünek, mint egységes egésznek élettartamát 20 évnek vesszük.

e/ Termikus hatásfok. Az 1955 évben végzett számitások a Calder Hall erőmü tényleges termikus hatásfokán alapultak; ez 20 % körül mozog - tekintettel arra, hogy ezt a reaktort az optimális hatásfoku plutoniumtermelés céljainak megfelelően alakitották ki. Felesleges óvatosság volt ezt az adatot alapul venni a tisztán polgári célokat szolgáló erőmüvek esetében. A tényleges termikus hatásfok 27 % körül mozog, azaz 35 %-kal magasabb, mint ahogy azt annakidején előrebecsülték. Ez azután befolyásolja az 1 kWórára eső beruházási költséget és fütőanyagutántöltési költséget, valamint az első fütőanyagtöltés teljesitményegységre eső költségét; végül pedig befolyásolja még a plutonium-jóváirásnak a villamosenergia költségére gyakorolt hatását is.

f/ Első fütőanyagtöltés. Tekintettel arra, hogy a termikus hatásfok nagyobb /lásd az e/ pontot/, az 1 kWórára eső töltésköltség is kisebb lesz; ezt azonban ellensulyozza a jelenleg alapul vett magasabb kamatláb. Az első fütőanyagtöltés költsége egy részének értékcsökkenésére vonatkozóan jelenleg bonyolultabb kalkulációs módszert alkalmaznak. Bár ennek a villamosenergia átlagos termelési költségére gyakorolt hatása csak kismértékü lesz, még mindig meglehetősen nagy a bizonytalanság az első fütőanyagtöltés kicserélésének módszerét illetően, ez azután befolyásolja majd az első fütőanyagtöltés költségszámitását.

g/ A terhelési tényező. 1955-ben 80 % terhelési tényezőt tételeztünk fel. Az Electricity Board-ok /Villamosenergia Igazgatóságok/ azt látták célszerünek, ha 75 %-ot vesznek alapul. Ez nem müszaki változás - nem áll ugyanis rendelkezésre további olyan adat, ami eldönthetné, hogy az egyik adat jobb-e, mint a másik - hanem csupán a megegyezés terén bekövetkezett változás, amit itt azután megfelelően alkalmaztunk.

h/ A fütőanyag-költség. A Calder Hall reaktor-tipushoz való fütőelemek alapára jelen pillanatban nem különbözik nagy mértékben az annakidején előbecsült 20 000 angol font tonnánkénti ártól. Ezek szerint tehát a csere-fütőanyag 1 kWórára eső költsége kisebb lesz, mivel, mint már láttuk, a termikus hatásfok nagyobb.

i/ A besugárzási szint tekintetében 1955 óta nem merültek fel olyan adatok, amelyek a valószinüen elérhető besugárzási szint értékére vonatkozó becslést megváltoztatták volna.

j/ A besugárzott fütőanyag értéke. A besugárzott fütőanyag valószinü értékére vonatkozó nézeteink megváltoztak; egyrészt mert ma alacsonyabbra értékeljük a plutoniumot, másrészt mivel reálisabbnak látszik, ha az 1955-ös becslésnél jóval nagyobb feldolgozási költséget számolunk. Meg kell még azt is jegyeznünk, hogy a már valószinünek látszó nagyobb termikus hatásfok jelentős mértékben csökkenti a besugárzott fütőanyag értékének jelentőségét az elektromos energia termelési költségének kialakitásában. E változások következtében a plutonium-jóváirásnak a villamosenergia költségére gyakorolt hatása ma már csak 10 %.

29. Bár a plutonium értékelésére vonatkozó alapelvek nem változtak meg, mégis két szempont is van, ami miatt jelenleg alacsonyabbra tehetjük a plutonium értékét. Mivel a gyorsszaporitó-reaktorok előreláthatólag 10 éven belül nem fognak tudni minden ipari plutoniummennyiséget felhasználni, a plutonium részben termikus reaktorokban kerül alkalmazásra, ahol versenytársa lesz a természetes urániumnak; ez utóbbi ára azonban csökkenő tendenciát mutat, hiszen a vártnál nagyobb tartalékokat tártak fel. Másodsorban az Egyesült Államok az uránium-235-re vonatkozólag olyan árakat tett közzé, amelyek lényegesen alacsonyabbak - különösen a kismértékben dusitott anyag esetében - mint ahogy ez az 1955-ben közzétett tanulmányból kitünik. Tekintettel arra, hogy a plutoniumot a dusitott uránium helyettesité-

re fogják használni, helyénvaló, hogy becsült értékét az U-235 árának csökkenésével azonosán csökkentsük.

30. Mindent összevéve a nukleáris eredetü elektromos energia összköltségét ma valamivel magasabbra becsüljük, mint három évvel ezelőtt /az emelkedés százalékos mértéke attól függ, hogy melyik atomerőmüről van szó és hogy milyen kamatlábat veszünk figyelembe/. Amint az előrelátható volt, jelentős változások mentek végbe a részletek terén. Ha azonban figyelembe vesszük, hogy - még a plutoniumjóváirás csökkenését is számitásba véve - a becsült költség egész emelkedését a kamatlábemelkedésnek és a telepitési hely kialakitásával kapcsolatos költségeknek /tehát nem müszaki jellegü tényezőknek/ rovására lehet irni, - akkor azt látjuk, hogy az annak idején végzett előzetes kalkulációk eredményesen állták ki a próbát a 3 éves gyakotlatban való ellenőrzés során. Ezen tulmenően az elektromos energia előkalkulált ára ma sokkal kisebb mértékben függ a plutonium-jóváirástól, mint három évvel ezelőtt. Bármennyi müszaki érv szól is egy bizonyos plutonium-jóváirási összeg mellett, a plutoniumfelhasználás módszerének bizonytalansága elkerülhetetlenül bizonytalansághoz vezet a jóváirás mértéke tekintetében. Az elektromos energia költségének a plutonium-jóváirás mértékétől való kisebbfoku függése igy megjavitja az előzetes számvetés megbizhatóságát.

31. Az 1955 évi előzetes kalkulációk reális voltának analizise bátoritóan hat: egyrészt megerősiti a három évvel ezelőtt felvázolt felfogásunk helyességét, másrészt több bizalmat biztosit a további előbecslések iránt. Kétségtelen, hogy a számszerü adatok részleteikben ismét változni fognak, és még meglehetősen sok fejlesztési munkát kell elvégezni a fütőanyag vonatkozásában, mielőtt a fütőanyagköltségeket pontosan lehetne megállapitani. Mindenesetre azonban a jelenlegi adatok azt mutatják, hogy a teljes tervtanulmány elvégzésével és a megfelelő kisérleti munka végrehajtásával

minden lehetőségünk megvan arra, hogy elfogadható hibahatárokkal rendelkező előkalkulációt hajthassunk végre.

1. táblázat

Angliai erőművek költségbecsléseinek alakulása

Erőmű	1955 Genfi Konferencia	1960-1961-re elkészülő erőművek		1962-ben elkészülő erőművek	
Kimenő elektromos teljesitmény MW-ban	150	275-300		500	
kamatláb	4 %	5 %	6 %	5 %	6 %
KIMENŐ ELEKTROMOS ENERGIA KÖLTSÉGEI RÉSZLETESEN	penny/kWóra	penny/kWóra		penny/kWóra	
Tőkeköltségek /az első töltéssel együtt/	0,36	0,51-0,52	0,55-0,56	0,41-0,42	0,45-0,46
Üzemeltetési költségek		0,06	0,06	0,05	0,05
Fütőanyag-pótlás költségei		0,13-0,19	0,13-0,19	0,13-0,19	0,13-0,19
Plutonium jóváirás /negativ előjellel!/	0,33-0,17				
Összes költség	0,43-0,59	0,70-0,77	0,74-0,81	0,59-0,61	0,63-0,70

A BRIT EGYESÜLT KIRÁLYSÁG ATOMENERGIAPROGRAMJA A KÖZGAZDASÁG TÜKRÉBEN

J.C. Duckworth és E.Hywel Jones

A II. Genfi Konferencia A/CONF.15/P/1446. számu cikke

Összefoglaló

Röviden áttekintjük az elkövetkező 8-9 évre vonatkozó angliai atomenergia-program kilátásait. Az épités alatt álló atomerőművek áramtermelési költségeinek ismertetése után összehasonlitjuk ezeket az ugyanebben az időszakban elkészülő szokványos modern erőmütipusok termelési költségével. Becsléseket végzünk továbbá a programban szereplő többi erőmü termelési költségeire vonatkozólag.

Ismertetjük a költségeket befolyásoló tényezőket, beleértve az erőmü élettartamát, valamint a fütőanyagcsere szabályozásával elérhető költségcsökkentési módszereket.

Az Egyesült Királyság programjának fejlődését a termelési költségek alakulásával szemléltetjük.

A jövő lehetőségeket is tárgyaljuk, különösen a hidrosztatikus energiatárolás, a szokványos tüzelésü tulhevités, az atomenergiával kapcsolatos beruházási és fütőanyagköltség alakulása, valamint a jelenlegi terhelési tényezőkben várható változások befolyásának figyelembevételével.

Bevezetés

1. Atomerőmüvek kapcsolása nagy egymással kapcsolódó hálózati rendszerekbe számos gazdasági és müszaki problémát vet fel,melyek közül egynéhányat már korábban megtárgyaltunk.[x/]

x/ /1/ Pask,V.A. Duckworth J.C. The Place of Nuclear Energy in United Kingdom Power Development - British Nuclear Energy Conference, 30. Nov. 1955.
/2/ Duckworth J.C. et al: Nuclear Generation and the Future Power System in Great Britain. 5th World Power Conference /1956/

Egy atomenergiaprogram kezdeti fokán szó lehet bizonyos korlátozott számu kisérleti jellegü teljesitményreaktor felállitásáról, hogy a megfelelő müszaki megoldásokat kifejlesszük és üzemi tapasztalatokat szerezzünk. Ez a stádium azonban időben és méreteiben szükségképpen korlátozott. Mielőtt egy nagyobb program megvalósitásába fognánk, a villamosenergia-termelés különböző módjainak relativ gazdaságosságát behatóan kell tanulmányoznunk. Ez a probléma nem is olyan egyszerü, mivel többek között a beruházási és az üzemeltetési költségek aránya egészen más atomerőművek esetében, mint a szokványos centráléknál; hasonlóképpen mások a telepités problémái is. A költségösszehasonlitás éppen ezért nagymértékben függ attól, hogy milyen kamat terheli a beruházott tőkét, mekkora a szokványos üzemanyagok szállitási költsége és milyen lehetőség van a hálózaton belül nagymennyiségü áram továbbitására. A nukleáris fejlesztésü villamosenergia-költség szempontjából általában független a termelés helyétől, mivel az üzemanyagának szállitási költsége általában kicsi és mivel, mint később látni fogjuk, Angliában néhány év mulva az atomerőművek termelési költsége kb. középuton lesz a drága fütőanyaggal müködő, modern konstrukcióju hagyományos erőművek termelési költségeinek felső határa és az olcsón füthető elektromos centrálék termelési költségeinek alsó határa közt.

Ilyen körülmények között, főleg alapfogyasztás kielégitése céljából, máris kifizetődőnek igérkezik bizonyos korlátolt számban atomerőművek bekapcsolása a drága szénnel dolgozó területeken. Jelen tanulmányunk további részében összehasonlitjuk a szokványos és atomerőművek jelenlegi és a jövőben várható költségeit, és megvizsgáljuk az egyes atomerőművek, valamint az egész hálózati rendszer gazdaságosságát befolyásoló tényezőket.

Az Egyesült Királyság atomenergiaprogramja

2. Az első közlemény az angol atomenergiaprogrammal kapcsolatban a kormány által 1955 februárjában kibocsátott Fehér Könyvben történt. Ez a program 1965-re 1500-2000 /e/MW összes teljesitményü nukleáris erőmürendszer felépitését irányozta

elő, és főleg az akkor még be nem fejezett calder-halli erőmű tervezése során szerzett tapasztalatok alapján készült.

3. 1957 év elején Anglia energiaügyi minisztere nyilatkozatot tett közzé, amely szerint a kormány jóváhagyta a Villamosenergia Hatóságok kibővitett atomenergiaprogramját, melynek értelmében az 1965-re felépitendő erőművek összes kapacitásaként már 5000-6000 /e/MW-ot irányoztak elő. Ez a kibővitett terv egyrészt a hivatalos szerveknek az atomerőművekbe vetett bizalmából fakadt, melyet Calder Hall első üzemi tapasztalatai megerősitettek, másrészt pedig a különböző ipari csoportok által a Calder Hall-tipusu gázhütésü termikus reaktorok tervezésében elért haladásnak volt köszönhető. A későbbiekben, még 1957 folyamán, a tőkemegszoritások a program végrehajtásának lelassitását tették szükségessé, ugy hogy a teljesitési határidő egy évvel, 1966-ra tolódott ki. A kiterjesztett és később ütemezésében módositott programot a kormány idevonatkozó 1957 áprilisi, illetve 1958 áprilisában kiadott Fehér Könyvei ismertetik. Az 1957 évi Fehér Könyvben ismertetik a tervidőszak alatt atomerőművekre előirányzott teljes beruházási összegeket.

4. A legnagyobb különbség az 1955-ös és az 1957-es terv között az egyes reaktoregységek tervezett teljesitménye terén mutatkozik. A legelső feltételezések alapján ugy látszott, hogy a Calder Hall-művel szerzett tapasztalatok extrapolálása szerint az optimális elektromos teljesitmény reaktoronként 75 MW /két reaktoros erőmünél tehát 150 MW/. Későbbi tanulmányok alapján arra a következtetésre jutottak, hogy gazdaságosság szempontjából előnyösebb és müszakilag is megvalósitható az, hogy ezt a méretet nagyjában megkétszerezzék, és ennek eredményeképpen az atomenergiaprogram keretében felépitendő első három atomerőmü elektromos teljesitménye egyenként 300 MW körül fog mozogni /kétreaktoros erőmüre vonatkozólag/. További tapasztalatok és ujabb müszaki tervek csak folytatták ezt az irányzatot, és csupán müszaki fejlesztés révén lehetővé vált, hogy a programban előirányzott negyedik erőművet már 500 MW elektromos teljesitményüre tervezzék.

Az első atomerőművek és a jelenlegi hagyományos erőművek termelési költsége

5. Eddig négy atomerőmü felépitésére történt szerződés; telepitési helyük: B e r k e l e y , /Gloucestershireben, a Severn folyó mellett/, B r a d w e l l /Essexben, a Blackwater torkolatánál/; H u n t e r s t o n /Ayrshireben, a Clyde torkolatánál/, és H i n k l e y P o i n t /Sommersetben, a Bristol csatorna partján/. A négy erőmü közül Hunterston a Délskóciai Elektromos Igazgatóság, mig a többi a Központi Villamosenergia Fejlesztési Igazgatóság részére épül; utóbbi hatáskörébe tartozik Anglia és Wales villamosenergia ellátása. Mind a négy erőmü épitkezése már megkezdődött, és az erre vonatkozó adatokat, valamint a befejezés várható időpontját, stb. az I. táblázatban közöljük.

6. Az erőmüépitkezések mind szerződésileg rögzitett áron történnek /nyersanyagárak és munkabérek időközben történő emelkedését figyelembevéve záradékokkal/ és igy az egységnyi termelt energiára eső tőkeköltség, a mü előreláthatő élettartamával és ésszerüen várható terhelési tényező melletti üzemeltetésével számolva, elég pontosan kalkulálható. A beruházási költség /II. táblázat/ nem tartalmazza az első töltéshez szükséges fütőanyag árát, de ideszámitjuk /éppugy, mint a szokványos erőmüveknél/ az erőmühöz vezető uj ut épitési költségét, a telepen és kivüle elhelyezett sugárzásdetektáló berendezések költségét, a villany és viz bevezetésének költségeit, /ezek a szerződésben nem szerepelnek/, továbbá a vásárló Elektromos Igazgatóság által végzett egyes szerelési munkák költségét.

7. Az első atomerőmüvek üzemanyagköltségét a természetes urániumfém 1 tonnájára eső 3000 megawattnapos átlagos elégetési fok feltételezésével kalkuláljak. A költség a gyártott fütőelemek tonnánkénti árától és az elhasznált fütőanyag értékétől függ. Ezek közül az első költségtényező a kereskedelmi életben szokásos módon számitható ki, hiszen sima gyártási költségről van szó; a második költségtényező

azonban már nehezebben határozható meg, mivel attól függ, hogy a plutonium milyen értékü fütőanyagot jelent majd a későbbi tipusu reaktorokban. Miután ma még sem ezt a reaktortipust, sem a plutonium fütőanyaggá való feldolgozására szolgáló vegyi és metallurgiai eljárásokat nem ismerjük, igen nehéz a kiégett fütőelemeknek reális értéket tulajdonitani. Mindenesetre azonban nyilvánvaló, hogy ezért a "hamuért" a költségszámlán valamit jóvá kell irnunk, és addig is, mig egy tényleges világpiaci ár ki nem alakul - ami bizony még jónéhány évig is eltarthat - az Angol Atomenergiahatósággal megegyezésben bizonyos elfogadhatónak látszó irányárat vettünk alapul számitásainknál. A megegyezés szerinti meglehetősen alacsony irányárak mellett a termelési költség csökkentésében az elhasznált fütőelemekért járó jóváirás csak kisebb szerepet játszik, /az egész költségcsökkentésnek mintegy 10 %-a/ és igy esetleges hibás becslése nem okozhat jelentős különbséget a teljes termelési költségben.

8. Még akkor is, ha fenti költségek és jóváirások egyszer már kialakultak, a fütőanyagköltség kiszámitása nem lesz egyszerü dolog; itt ugyanis nincsen szó olyan egyszerü közvetlen fütőanyagfelhasználásról, mint pl. a szén esetében. Az eredeti fütőanyag ára itt ugyanis tőkeköltségként szerepel, és egy reaktor feltételezett 20 évi élettartama alatt átlagosan négyszeri kicserélésével kell számolnunk. A reaktor pályafutása végén egy teljes fütőanyagtöltéssel rendelkezik, melynek értékét azonban főleg plutoniumtartalma szabja meg. Összehasonlitó költségszámitások elvégzése céljából éppen ezért, megállapodás szerint, a fütőanyagköltséget ugy kalkuláljuk, hogy az három részből tevődik össze. Ezek jelenleg a következők:

a/ Az első fütőanyagtöltésért kifizetett összeg kamatai;

b/ az első és utolsó fütőanyagtöltés értéke közötti különbözet fedezésére szolgáló értékcsökkenési alap;

c/ a fütőanyag-utánpótlás költsége.

9. Fentiek közül a két első tőke-költségnek tekintend , és az egész fütőanyagköltség mintegy egyharmadát teszi ki. A fütőanyagköltségnek az a része, amely az üzemeltetési költségek növekvő sorrendjében megszabja az erőmü rangját az erőmürendszerben, a c/ alatt emlitett költségre szoritkozik. Az erőmü teljes élettartamára nézve ezzel a módszerrel számitjuk a költségeket. Olyan kérdések azonban, mint a termelés és fogyasztás egyensulyának leggazdaságosabb megvalósitása, vagy a reaktor végkimerülésig való járatásának kérdése a korábbi leállitással szemben - mind olyan bonyolult problémák, melyeket eddig még nem dolgoztak ki teljesen és melyek a különböző tipusu reaktoroknál némileg el is térnek egymástól. Éppen ez az oka annak, hogy még az átlagos fütőanyag-összköltséget sem ismerjük precizen, és csak meglehetősen szük határokat tudunk megadni, amelyek között mozoghatnak. A most épités alatt álló reaktortipusoknál várható össztermelési költséget a II. táblázatban tüntetjük fel.

10. A hagyományos erőmüvek költségeivel való összehasonlitásaink csak akkor lesznek helytállóak, ha az olyan szén- ill. olajtüzelésü erőmüvekével történik, melyek kb. ugyanabban az időben kerülnek üzembe, mint az atomerőmüvek. Három ilyen tipikusan modern erőmüvet választottunk ki erre a célra. Ezek közül kettő 200 MW-os beépitett összteljesitményü, egytengelyü turbogenerátorokkal, a harmadik 550 vagy 600 MW-os összes kapacitásu kéttengelyü generátorokkal dolgozik; termelési költségük pedig jellemző a drága, illetve olcsó tüzelőanyaggal ellátott területeken fennálló termelési költségekre. Ezek közül az 1.sz. telepnél, tekintve, hogy az első a maga nemében, elég nagy müszaki fejlesztési költségeket kell számitásba vennünk. A drága és az olcsó tüzelésü helyeken a szén beszerzési költsége tonnánként 73-93 shilling /6000 Kal/kg-os minőségü szénre vonatkozóan/.

11. Mind széntüzelésü, mind atomerőmüveknél a számitásokat egyaránt elvégeztük 5 %-os, illetve 6 %-os kamattal terhelt beruházási kölcsön esetére, bár angol viszonylatban ma az előbbi eset sokkal inkább reális. Ez atomerő esetében évi

8,0-8,7 %-os /20 évi élettartam mellett/, hagyományos erőművenél pedig évi 6,7-7,5 %-os /berendezésnél 25 év, épületeknél 40 évi élettartam mellett/ beruházási tőkeköltséget jelent. Atomerőmü összélettartamának becslését arra az óvatos feltételezésre alapozzuk, hogy husz év alatt a reaktortechnológia olyan fejlődésen fog átmenni a reaktor leszerelése után, hogy sem a berendezést, sem az épületeket nem lehet már erőmü céljaira használni. A hagyományos erőművek berendezésére és épületeire vonatkozó élettartam-becslés megegyezik az Angliában szokásos gyakorlattal; ez a becslés azonban semmiesetre sem olyan irányu, hogy a mérleget az atomerőtelepek javára befolyásolná.

12. A II. táblázatból látható, hogy az első három erőmü esetében /75 %-os terhelési tényező mellett/ a termelési költségek alig nagyobbak, mint a drága fütőanyagot használó területeken müködő hagyományos tüzelésü modern erőmüveknél. A csekély költségtöbbletet felfoghatjuk ugy, mint a technológia és üzemeltetés területén szerezhető tapasztalatok tandiját. A valóságban ez a költségkülönbség csökkenhet, sőt átmehet a mérleg másik oldalára, ha vagy a hagyományos tüzelőanyagok ára emelkedik, vagy pedig az atomerőmüveket üzemeltetjük nagyobb terhelési tényező mellett. A számitásba vett 75 %-os terhelési tényező ugyanis igen óvatos becslésnek tekinthető, és teljesen a régi, idejétmult üzembiztossági meggondolásokon alapszik, hiszen a hálózat elegendő alapterheléssel rendelkezik ahhoz, hogy ezeket az erőmüveket /és még többet is/ akár 100 %-os terhelés mellett üzemeltessék, ha ez müszakilag lehetséges. A kis fütőanyagköltségre való tekintettel az atomerőmüvek természetesen elől szerepelnek a ranglistán, és ezért ezeket olyan nagy terhelési tényezővel üzemeltetik, amilyen technikailag csak lehetséges.

13. A fenti feltételek mellett ugy számitjuk, hogy a Hinkley Point-i erőmü termelési költsége valamivel kevesebb lesz, mint egy a szénbányáktól távol, ugyanabban az időben

elkészülő széntüzelésü erőmüé. Mind ennek, mind az előző három telepnek a helyét természetesen olyan helyen jelöltük ki, ahol a széntüzelés drága; az atomerőmüvek olyan terület alapfogyasztását fogják biztositani, ahol máskülönben vagy helyben drága fütőanyaggal kellett volna villamosenergiát termelni, vagy pedig a szénbányák területén termelt villamosenergiát kellett volna nagyfeszültségü távvezetékeken a helyszinre szállitani.

Atomenergiaköltségek várható alakulása a jövőben

14. Már emlitettünk bizonyos, az atomenergia költségét befolyásoló tényezőket, melyek a jövőben kedvezően alakulhatnak, ilyenek különösen az üzembiztosság és a hasznos élettartam. Az atomerőmüvek üzembiztossága valamelyes üzemeltetési tapasztalat megszerzése után előreláthatóan igen jó lesz; ez pedig a viszonylag nagy beruházási költsége ellenére is növeli versenyképességét a hagyományos tüzelésü erőmüvekkel szemben. Azt is mondottuk, hogy feltételezett hasznos 20 éves élettartama igen óvatos becslésen alapszik, különösen azért, mert hiszen még nem ismerjük biztosan a reaktor leállitásának végső okát. Erre vonatkozólag rövid ismertetést tettünk közzé /Duckworth, Pilling: Nuclear Energy in Great Britain, The British Electrical Power Convention /1957/. A Nagy-Britanniában épülő nukleáris erőmüveknél a grafit, acél és beton állapotának kimutatására sokoldalu jelzőberendezésekről gondoskodtak, ugyhogy megfelelő mennyiségü adat áll majd rendelkezésünkre annak eldöntésére, hogy a megnyujtott üzemeltetés gyakorlatilag lehetséges-e. Jelenleg azonban a megfelelő hosszu tapasztalatok hiányában nem tételezhetünk fel hosszabb hasznos élettartamot, mint amivel eddig számoltunk.

15. A legközelebbi jövőben a Calder Hall-tipusu reaktorok lehetséges tökéletesitésével kell számolnunk. Az eddig elért fejlődés részben általános gépészeti tökéletesitésnek tudható be, /pl. a jobb térkihasználás és az egész rendszerben az optimum jobb megközelitése/ részben pedig a technikai fejlődés következtében lehetővé vált nagyobb méretezésnek köszönhető;

igy ma már a nagynyomásu tartály épitésekor vastagabb acéllemezeket tudnak hegeszteni megfelelő varratellenőrzés mellett. Továbbra is magnoxtokolásu természetes urániumfémből készülő fütőelemeket alkalmaznak, ezek gyártása azonban még tökéletesithető, és bizton számitanak arra, hogy a termelt villamosenergia egy kW-jára eső beruházási költséget /az indulási fütőanyagszükséglet nélkül számolva/ a Hinkley Point telepnél mutatkozó 120 fontról 110-100 fontra lehet csökkenteni az 1965-66 években befejezésre kerülő erőműveknél. Ilyen beruházási költséget olyan ikerreaktoros állomásoknál lehet elérni, melyek teljesitménye 700-800 /e/MW körül mozogna. Minthogy az ilyen telepek fütőanyagköltsége várhatóan azonos lenne a most épülő erőművekével, az össztermelési költség egységenként 0,63 és 0,58 penny között mozogna, azaz - mint ahogy előbb emlitettük - valahol középuton volna a drága és olcsó szénnel fütött hagyományos erőművek termelési költsége között.

16. A gázhütésü termikus reaktortól eltérő tipusuak az 1960-as években még egyáltalán nem igérkeznek gazdaságosnak. Vizhütésü reaktorok mindaddig nem lesznek versenyképesek, mig az elektromos hálózat viszonyai nem szabnak korlátot az egyes erőművek méretét és terhelési tényezőit illetően. Nátriumhütésü termikus reaktorok versenyképesek lehetnek, ha igen nagy méretekben készülnek és ha a velük kapcsolatos müszaki problémákat meg lehetne oldani időben, hogy a most tervezés alatt álló gázhütésü tipusokkal felvehessék a versenyt. Tekintettel azonban az utóbbiak folytonos várható fejlődésére, nem látszik valószinünek, hogy a nátriumhütésü termikus reaktoroknál felmerülő müszaki problémákat sikerül ilyen gyors ütemben megoldani, hogy az 1970-es évek előtt piacra kerülhessenek. Ekkorra viszont már az egész kérdést ujból felül kell vizsgálni az ujabb fejlettebb tipusok /mint amilyen pl. a gyorsszaporitóreaktor/ tükrében, melyek müszaki kivitelezés tekintetében abban az időben válnak piacképessé.

17. Az 1960-tól kezdődő évtizedben tehát a gyártásra kerülő civil reaktortipusok közül a gázhütésü termikus reaktor

látszik a leggazdaságosabbnak. Valószinü, hogy vagy a grafittal moderált /Calder/ tipus egyik továbbfejlesztett alakjában, vagy egy nehézviz moderátoros változatban lesz kapható. Eddig részletesen csak az előbbi tipussal foglalkoztak. Annak érdekében, hogy a megkivánt nagyobb hőfejlődési sürüséget és kimeneti gázhőmérsékletet /tehát jobb gőzparamétereket/ érjenek el, uj tokanyagot /valószinüleg berilliumot/ és urániumoxid, karbid vagy cermet alakjában keramikus fütőanyagot fognak használni. Grafit moderátornál esetleg szükségessé válik a fütőanyag némi dusitása, a fütőanyagköltség alakulását azonban elég nehéz előre látni, mivel a dusitás magas költségeit ellensulyozhatja a jobb elégési fok elérése. Minden esetre számithatunk arra, hogy az egy kW-ra eső beruházási költség jelentősen csökkenni fog, és a III. táblázaton feltüntetjük a beruházási költségek alakulására vonatkozó becsléseket két gázhütésü termikus reaktor-erőművel kapcsolatban, melyeket a Központi Villamosenergia Fejlesztő Igazgatóság /C.E.G.B./ az 1961-1970 időszakban szándékozik felépiteni. Előreláthatólag a fenti időszak második felére épülnek fel azok a nagyobb égési sebességgel dolgozó reaktorok, melyekkel kapcsolatos költségelőbecslések adnak először képet arról, hogy ezekkel az uj tervekkel milyen költségcsökkenés érhető el beruházás terén. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a kW-onkénti beruházási költség csökkenése ennél az erőmünél szorosan kapcsolódik a nagyobb elektromos teljesitményhez, ami reaktoronként valószinüleg 700 MW elektromos teljesitmény körül fog mozogni. Ilyen körülmények között egyes hálózatok terhelési viszonyai nem teszik kivánatossá ikerreaktoros erőtelepek épitését és éppen ezért a III. táblázatban e g y reaktorral müködő erőművekre vonatkozólag is adunk költségbecsléseket. Az egy-reaktoros erőműveknél mutatkozó, 1 kW-ra eső nagyobb beruházási költség egyrészt onnan ered, hogy segédlétesitmények /mint pl. hütőtavak/ költsége nem oszlik meg, másrészt az épitési költségekben két egyforma reaktor épitéséből adódó megtakaritás sem valósitható meg.

18. Fentemlitett időpontra természetesen várható, hogy a müszaki fejlesztés lehetővé teszi a hagyományos tipusu erőművek termelési költségének csökkenését is, feltéve, hogy a tüzelőanyag ára nem emelkedik. Ez a csökkenés azonban valószinüleg nem lesz jelentős mértékü. Viszont, ha feltételezzük, hogy a nukleáris fütőanyagok ára nem változik, a müszaki fejlődés ellenére sem, az 1970-re előbecsült csökkenés a beruházási költség terén a teljes termelési költséget 0,45-0,5 penny /e/kWórára szoritaná le, ami valószinüleg kevesebb lesz annál a minimális termelési költségnél, melyet egy 75 %-os terhelési tényezővel dolgozó hagyományos erőmünél el lehet érni. Amint azonban már előbb emlitettük, /17.fej./ egyáltalán nem tekinthető biztosnak az a feltételezés, hogy a nukleáris fütőanyag költsége nem fog emelkedni a beruházási költségek csökkenésével; ezt a kérdést még további kisérleti munka és üzemi tapasztalat tudja csak eldönteni.

19. Azzal a gondolattal is foglalkoztak, hogy atomerőműveknél szokványos tüzelésü tulhevitőket alkalmazzanak, ami igen vonzó elgondolásnak látszik, tekintettel a reaktorokkal ma elérhető viszonylag még kedvezőtlen gőzparaméterekre. Számitások szerint a jelenlegi reaktortipusoknál a kimeneti teljesitményt kb. 20 %-kal lehetne növelni olymódon, hogy az a kW-onkénti beruházási költségben nem jelentene többet, mint a hagyományos szén- vagy olajtüzelésü erőmüveknél hasonló esetben felmerülő költségtöbblet felét alig meghaladó összeget, és a szén, vagy olaj elégési hatásfoka is valamivel jobb lenne, mint a hagyományos tüzelésü, korszerü erőmüveknél. Ezt az utat azonban különböző okokból kifolyólag nem követték. Először is telephely megválasztás tekintetében igen nehéz olyan területet találni Angliában, ahol mind a nukleáris, mind a hagyományos erőmüveknek megfelelő körülmények forognának fenn. Másodszor, müszaki megfontolások arra a döntésre vezettek, hogy nem volna bölcs dolog "vegyes fütésü" erőmüvek épitése mindaddig, amig megfelelő tapasztalat nem áll rendelkezésre a szükséges különböző berendezések, főleg a szóbajövő nagyméretü tulhevitők tekintetében. Végül pedig ami a jövőt

illeti, a hagyományos tüzelésü tulhevitők révén nyerhető előnyök csökkenni fognak, ha a reaktorok kimeneti gázhőmérsékletét sikerül emelni. Mindenesetre azonban ezt a lehetőséget nem szabad szem elől téveszteni, és állandóan gondosan mérlegelnünk kell ezt a kérdést, tekintettel a lehetséges beruházási és üzemi költségmegtakaritásokra, melyek a telephely és müszaki problémák sikeres megoldásával megvalósithatók lennének.

A hálózati rendszer fejlődése

20. Az előző fejezetek és táblázatok alapján rámutattunk arra, hogy már csak gazdaságossági szempontból is, teljesen indokoltnak látszik bizonyos számu atomerőmü beiktatása az angliai villamosenergiaszolgáltatási rendszerbe. Ha leszámitjuk az elektromos hálózati rendszer fix-teljesitményü részét, a megmaradó alapterhelést a többi erőmü "érdemi sorrendben" látja el. Ez az alapterhelés 1965-ben egy nyári hétköznapra számitott kb. 6500 MW-tól téli hétköznapokra vonatkozó kb. 8500 MW-ig terjed, azonban egy nyári hétvégo alkalmából egészen 4300 MW-ra is lecsökkenhet. Mivel feltételezhetjük, hogy a tervezett erőmükiselejtezések a nyári időnyre fognak esni, ugy abban az évben kb. 7000 MW összes teljesitményü atomerőmü tartható üzemben 75 %-os, vagy annál nagyobb terhelési tényező mellett. Az 1960-as évtized második felében az alapfogyasztás évente előreláthatólag 400 MW-tal fog növekedni, ugyhogy amennyiben atomerőmüvek az akkor legkorszerübb szokványos erőmütipusokkal csak 75 % vagy ennél magasabb terhelési tényező mellett lennének is versenyképesek, uj atomerőmüvek felállitását legalább az alapfogyasztás emelkedésének ütemében lehet betervezni.

21. Hogy ennél gyorsabbütemü atomerőmüépitésbe foghassunk 1965 után, ahhoz ezeknek kisebb terhelési tényező mellett is versenyképeseknek kellene lenniök. A III. táblázatban feltüntetett költségösszehasonlitások szerint ez lesz a helyzet drága szénnel dolgozó területeken, ugyhogy feltételezhető,

hogy az atomerőművek felállitása gyorsabb ütemben történik majd, mint az alapfogyasztás emelkedése. Ezen tulmenően az 1 kW-ra eső beruházási költségnek a III. táblázatban jelzett csökkenése is hozzájárul majd ahhoz, hogy az atomerőművek még kisebb terhelési tényezők melletti üzemnél se legyenek hátrányosak. Minden esetre az a követelmény, amely valamennyi ellátási hálózatnál fennáll, t.i. hogy lehetőleg jó összterhelési tényezővel dolgozzék, az elkövetkező években még csak fokozódni fog az atomerőművek korszakának bekövetkeztével.

22. A nukleáris fütőanyagköltség alakulása ugyancsak nagy kihatással lesz az atomerőművek szerepére. Ha ez a költségalakulás olyan lesz, mint ahogyan a hagyományos erőműveknél évek hosszu során át tapasztaltuk, azaz a müszaki fejlesztéssel együtt jár a fütőanyag költségének csökkenése, akkor minden uj erőmü mindjárt az élre kerül az erőművek "rangsorában" /az üzemeltetési költség növekedése szerinti sorban/ és felépitése után maximális üzemi kapacitásának erejéig üzemeltetik. Igy a régebbi atomerőműveknek kisebb terhelési tényezővel kell dolgozniok, amennyiben az alapterhelést meghaladó atomerőmükapacitás áll rendelkezésre. A kifejlesztendő gyorsabb égésü reaktorok kisebb beruházási költségek mellett esetleg nagyobb fütőanyagköltséggel járnak, hacsak a dusitás árát nem tudják ellensulyozni hosszabb átlagos besugárzási idővel. Ebben az esetben pedig az uj erőműveknek esetleg felállitásuk után azonnal kisebb terhelési tényező mellett kell dolgozniok. Mindkét eshetőségnél azonban a teljes hálózati rendszer szempontjából kell az uj beruházásokat elbirálni, és számitásba kell vennünk a rendszer minden egyes tagjára eső terhelési tényező alakulását annak egész hasznos élettartama alatt, mielőtt a leggazdaságosabb erőmüberuházási terv mellett döntenénk. Nem elég, ha csak az egyes nukleáris és hagyományos erőmütipusokat terhelési tényező melletti üzemeltetés esetére egyszerüen összehasonlitjuk.

23. Az összterhelési tényező javitása elsősorban a csucsterhelésen kivüli terhelés emelésének elősegitésén mulik. Az áramfejlesztő rendszer szempontjából ugyanezt az eredményt elérhetjük azonban energiatárolási módszerek alkalmazásával. Terhelési időtartamra vonatkozó görbe egy évre vonatkozólag, csupán a hőerőművekre szoritkozva, az I. ábrán látható. A görbe alsó részét az alacsony üzemköltséggel dolgozó erőművek foglalják el; és ezek viselik a terhelés tulnyomó részét. A görbe középső szakaszán jelentkeznek a régebbi erőművek, kevésbé fejlett technikával és kisebb terhelési tényezőkkel. A görbe legtetején feltüntetett csucsfogyasztást a régi "idejétmult" erőművek látják el; üzemeltetésük gazdaságilag teljesen indokolt még akkor is, ha üzemköltségük 1,5-2,0 penny/kWóra is; a csucsterhelés ugyanis nagyon rövid ideig tart.

24. A 2. ábrán látható, hogy milyen hatással van a hálózati rendszerben a szivattyus tárolási /hidrosztatikai/ módszer bevezetése. Ez alapjában véve nem más, minthogy gondoskodnak arról, hogy egy alacsony vizszintü tartályból nagytömegü vizet lehessen átszivattyuzni egy magas vizszintü tartályba. Ez a kisterhelések idején történik. A hidrosztatikus formában tárolt energiatartalék hozzásegit ahhoz, hogy kitöltsük a terhelési görbe völgyeit. Csucsterhelés idején forditott eljárást alkalmaznak; ilyenkor a felső tartályban tárolt viz felső rétegeit villamosenergia fejlesztésére használják fel. Gyakorlatban ennek az egyszerü elgondolásnak finomitott változatait is alkalmazzák, hogy ki lehessen használni a hétvégeken rendelkezésre álló szivattyuzási lehetőségeket. A 3.ábrán látható diagram szemlélteti ezt a módszert.

25. A 24 órára vonatkozó terhelési görbe alakja határozza meg a maximális szivattyuzási időtartamot, amely hétköznapokon kb. 7 1/2 éjszakai órát jelent. Ha a berendezés egyes részeinél a következő hatásfokon való müködést vesszük számitásba:

motorok	97,5 %
szivattyuk	85,0 %
vizvezetékek	96,0 %
vizturbinák	90,5 %
generátorok	97,5 %

akkor a teljes üzemi ciklus hatásfoka kb. 70 %-os lesz. Azonban a tényleges áramfejlesztés során a berendezések nem mindig a legjobb hatásfoku teljesitményt nyujtják /az áramfejlesztés megindulásakor és befejezésekor fellépő teljesitményingadozás következtében/ ezért az erőmü összhatásfoka az energiatermelő részleg kimeneti teljesitményénél, mondjuk 66/69 %-os lesz.

26. A valóságban tehát egy 7 1/2 órás maximális teljesitménnyel történő szivattyuzás ellenében kb. 5 órát valamivel meghaladó ideig lehet maximális teljesitménnyel áramot termelni. Ha azonban kihasználjuk a hét végén rendelkezésre álló többlet-szivattyuzási időt és a tartály tárolási kapacitását a 3. ábrán látható módon hasznositjuk, akkor minden hétköznap valamivel hosszabb ideig /mondjuk 5 1/2 órán át/ tudunk a tárolt vizmennyiséggel áramot fejleszteni. Világos azonban,hogy a szivattyus tárolóberendezés üzemeltetési költsége 100:66 arányban /mondjuk 50 %-os költségemelkedés/ növeli a fütőanyagköltséget az áramfejlesztő telepen közvetlenül termelt energia fütőanyagköltségéhez képest.

27. Szokványos módon gőzzel történő áramfejlesztést és szivattyus tárolást alkalmazó áramszolgáltató rendszer üzemköltsége tehát nem kedvezőbb egy közepes rangsorolásu, önmagában dolgozó gőzerőmüénél és az előbbi még további jelentős mértékü emelkedést is mutathat a szén árának emelkedésével. Ha egy szivattyuzó tároló berendezéssel rendelkező villanytelep beruházási költségét tekintjük, akkor teljes joggal kétségbevonhatjuk ennek az elgondolásnak gazdaságosságát a hagyományos tüzelésü erőmüvek esetében. Ha azonban az ilyen berendezéseket atomerőmüveknél alkalmazzuk, aholis a fütőanyag utánpótlásköltsége 0,13-0,19 penny/kWóra /II. táblázat/, a szivattyuzó tárolóval dolgozó telep a hálózati rendszernek 0,2-0,3 penny/kWórás fütőanyagárnak megfelelő árért szolgáltathat áramot, olyan periódusokban, mikor azt egyébként egy nagyobb fütőanyagköltséggel dolgozó gőzerőmüvel kellene termeltetni.

28. Szivattyus tárolóval rendelkező erőmüvek beruházási költségének általános érvényü felbecsülése elég nehéz, mivel

telephelytől függően erősen különbözik. Az Észak-Wales-ben levő Festiniog áramszolgáltató rendszer 300 MW teljesitményével a számitások szerint átvitel nélkül 15 millió fontba fog kerülni, tehát kW-ként 50 fontba. A Délskóciai Villamosigazgatóság Galloway területén épitendő 300 MW teljesitményü áramszolgáltató rendszerénél 1 kW-ra esően 51 fontos beruházási költséggel számolnak. Az Északskóciai Hidroelektromos Igazgatóság Loch Awe áramszolgáltató rendszerénél, melyben szivattyus tárolóból kapott 400 MW és rendes vizierővel termelt 50 MW teljesitményt irányoznak elő, a beruházási költséget transzmisszió nélkül 24,5 millióra, tehát kW-ként 54,5 fontra becsülik. Normális áramfejlesztés esetén, 50 MW teljesitmény mellett kW-ként 150 fontos költséget számitva, a hidrosztatikai uton tárolt energia egy kilowattja 42,5 fontba kerül. /100 font/kW normális termelési költség alapján számolva a szivattyuzott tárolásból kapott áramra 49 font/kW költség esnék/.

29. Beruházási költséget tekintve tehát a szivattyus tárolás nemigen rendelkezik előnyökkel a szokványos hőerőművel szemben. Kedvezőbb telephelyek lecsökkenthetik a kulturmérnöki munkák költségét, de valószinüleg csak a nagyfeszültségi távvezeték költségének kárára. A mai nagy teherbirásu /2x25 cm^2-es vezeték fázisonként/ kettős áramkörü 275 kV-os távvezeték épitési költségeként kilométerenként kb. 20 000 fontot lehet számitani; ez az összeg a rendszer stabilitásának biztositásával járó problémákkal együtt eléggé korlátozza a telephely kiválasztását. Szivattyus tároló berendezés révén rendelkezésre álló teljesitménytöbblet azonban igen jó szolgálatot tesz a csucsterhelések ellátására, feltéve, hogy a szivattyuzás időtartama nem kevesebb, mint a csucsfogyasztási idő. Az ilyen erőmü igen rövid időn belül képes a fellépő többletáramszükséglet kielégitésére és igen gyors terhelésváltoztatások válnak lehetővé.

30. Kis üzemköltségü atomerőmühöz kapcsolódóan, mint amilyenek az első brit atomenergiaprogram során fognak megvalósulni, a szivattyus tárolási rendszer nagyonis jó szolgálatot tehet ott, ahol az atomerőmü teljesitménye meghaladja az alap-

fogyasztást. Az ilyen berendezések létesitésének számát mindenesetre korlátozza a megfelelő telephelyek száma és később esetleg olyan reaktortipusok kifejlesztése /melyekről előzőleg már szóltunk/, melyek alkalmasak arra, hogy kisebb terhelési tényező mellett is kifizetődjenek. Ilyen körülmények között nem volna szükség nagy összteljesitményü hidrosztatikus tárolásra.

31. A jelenleg futó, grafittal moderált atomreaktorok élettartamát tőketörlesztési /amortizációs/ számitások szempontjából 20 évre becsülik. Ami a szivattyus tárolást illeti, a hidroelektromos berendezésekkel kapcsolatos kulturmérnöki /mélyépitési/ munkára eső beruházási költséget általában igen lassan, kb. 60-80 év alatt irják le, ugyanitt a mozgó üzemrészek beruházási költségeinél 35 évi időtartamot számitanak leirásra; mindkét időtartam jóval hosszabb, mint az atomerőmü viszonylag "rövid" élettartama. Éppen ezért lehetséges, hogy az atomenergia terén elért fejlődés folytán egy szivattyus tárolóval biztositott többletteljesitmény felhasználása már nem lesz gazdaságos, jóval azelőtt, hogy a kulturmérnöki munkák beruházási költségét teljesen leirták volna.

Végkövetkeztetés

32. Fentiekben rávilágitottunk azokra a kérdésekre, amelyek az elkövetkező évtizedben jelentős számu atomerőmü és ezekhez kapcsolódó szivattyus tároló berendezések felállitásával kapcsolatban felmerülnek. Az atomerővel fejlesztett villamosenergia termelési költségének jelenlegi irányzata arra mutat, hogy az elkövetkező időszakban valószinüleg növekszik az az optimális arány, melyben atomerőmüvek az energiaszolgáltató rendszerben szerephez jutnak. Nehezebb viszont ma annak megállapitása, hogy a legközelebbi évtizedet követően milyen tipusu atomerőmü jut vezető szerephez, vagy hogy milyen mértékü lesz a kapcsolatos berendezések, mint pl. a szivattyus tárolók alkalmazása, tekintve, hogy ez főleg a nukleáris fütőanyag költségének alakulásától függ.

Forditotta: Kovács Jenőné

I. Táblázat

Anglia Villamosenergia Fejlesztési Igazgatóságai részére épülő atomerőművek:

Erőmü helye :		Berkeley	Bradwell	Hunterston	Hinkley Point
Reaktorok száma		2	2	2	2
Teljes kimeneti teljesitmény /a hálózat rendelkezésére/		275 MW	300 MW	300 MW	500 MW
Turbogenerátorok száma		4	6	6	6
A munka megkezdésének ideje a telephelyen		1957.jan.	1957.jan.	1957.okt.	1957.dec.
Előreláthatő befejezése /teljes kapacitásu üzemeltetésre/	I.reaktor	1960.dec.	1960.dec.	1961.aug.	1962.márc.
	II.reaktor	1961.juli.	1961.juni.	1962.szept.	1962.dec.

KFKI 204

II. Táblázat

Áramfejlesztési költségek összehasonlitása az atomerőművek és a hagyományos erőművek közt

	Atomerőmű				Széntüzelésü erőmü					
	Elkészülés határideje 1960/61		Elkészülés határideje 1962		Olcsó tüzelőanyag területén				Drága tüzelőanyag területén	
					1.sz.erőmü		3.sz.erőmü		2.sz.erőmü	
Erőmü végleges teljesitménye	275-300 netto MW		500 netto MW		1000 MW.I.		1150 MW.I.		1000 MW.I.	
Energiatermelő egységek mérete	-		-		2000MW.I.		550 MW.I. 600 MW.I.		200 MW.I.	
Hütés módja	közvetlen		közvetlen		torony		torony		közvetlen	
Az erőmü első egységének beindulási éve	1960		1962		1959		1963		1960	
Beruházási költség /kezd.fütőanyag nélkül/ font/netto kW	145		120		55		45		45	
Erőmü élettartama	20 év		20 év		üzem 25 év épületek 40 év					
Terhelési tényező	75 %		75 %		75 %		75 %		75 %	
Kamatláb	5 %	6 %	5 %	6 %	5 %	6 %	5 %	6 %	5 %	6 %
Teljes tőkeköltség, évente, %-ban	8,0%	8,7%	8,0%	8,7%	6,7%	7,5%	6,7%	7,5%	6,7%	7,5%
Teljes tőkeköltség, kWő-ként, pennyben	0,51-0,52	0,55-0,56	0,41-0,42	0,45-0,46	0,14	0,15	0,11	0,12	0,11	0,12
Fütőanyagutánpótl. ktsg kWő-ként, pennyben	0,13-0,19	0,13-0,19	0,13-0,19	0,13-0,19	0,37	0,37	0,37	0,37	0,48	0,48
Üzemeltetési költség kWő-ként, pennyben	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Összes termelési ktsg.	0,70-0,77	0,74-0,81	0,59-0,66	0,63-0,70	0,56	0,57	0,53	0,54	0,64	0,65

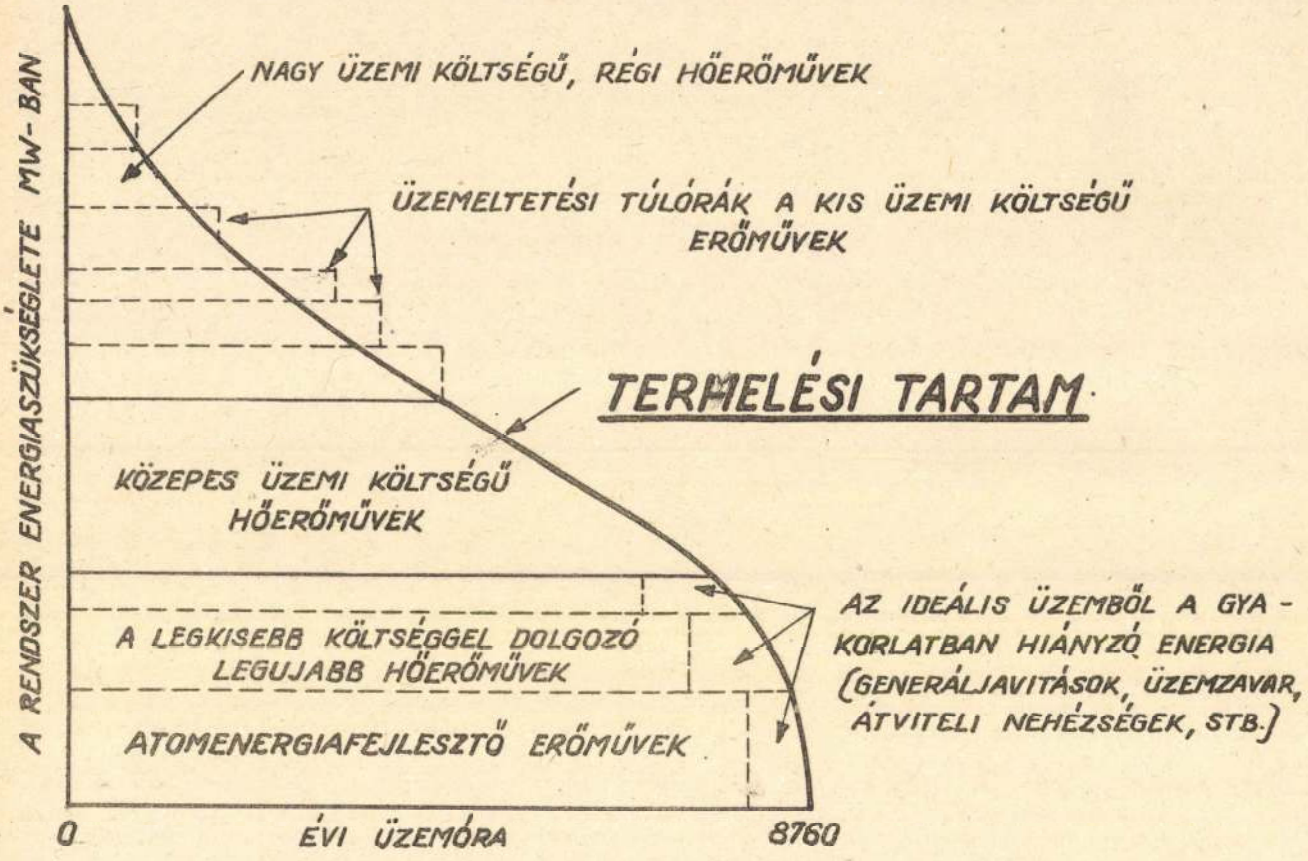
KFKI 204

III. Táblázat

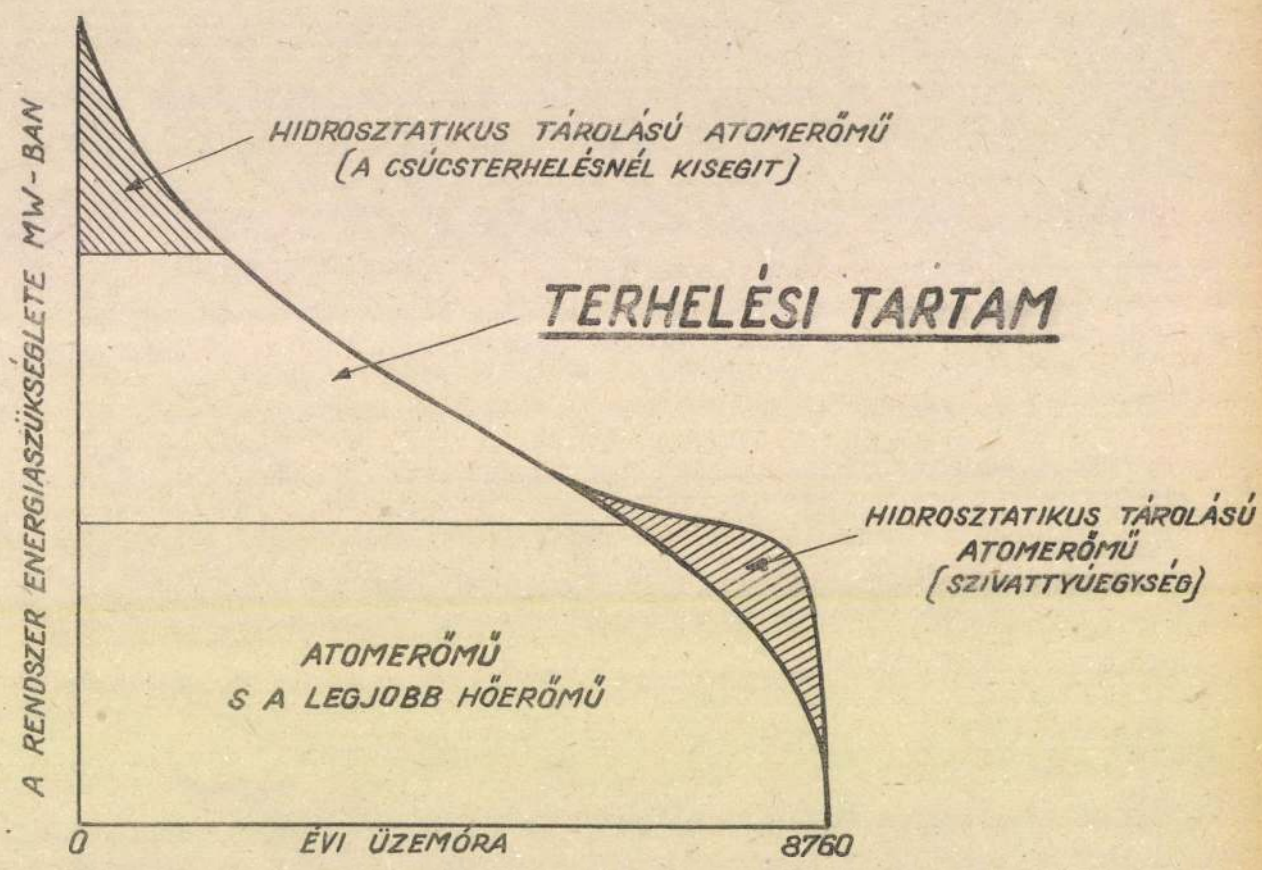
Anglia Központi Villamosenergia Fejlesztési Igazgatósága által az 1961-1970 időszakban való felépítésre tervezett két erőmütipus beruházási költségének előbecsült alakulása

/Fütőanyagtöltés nélkül, de beleértve a telephellyel kapcsolatos kulturmérnöki és gépészeti munka költségét/

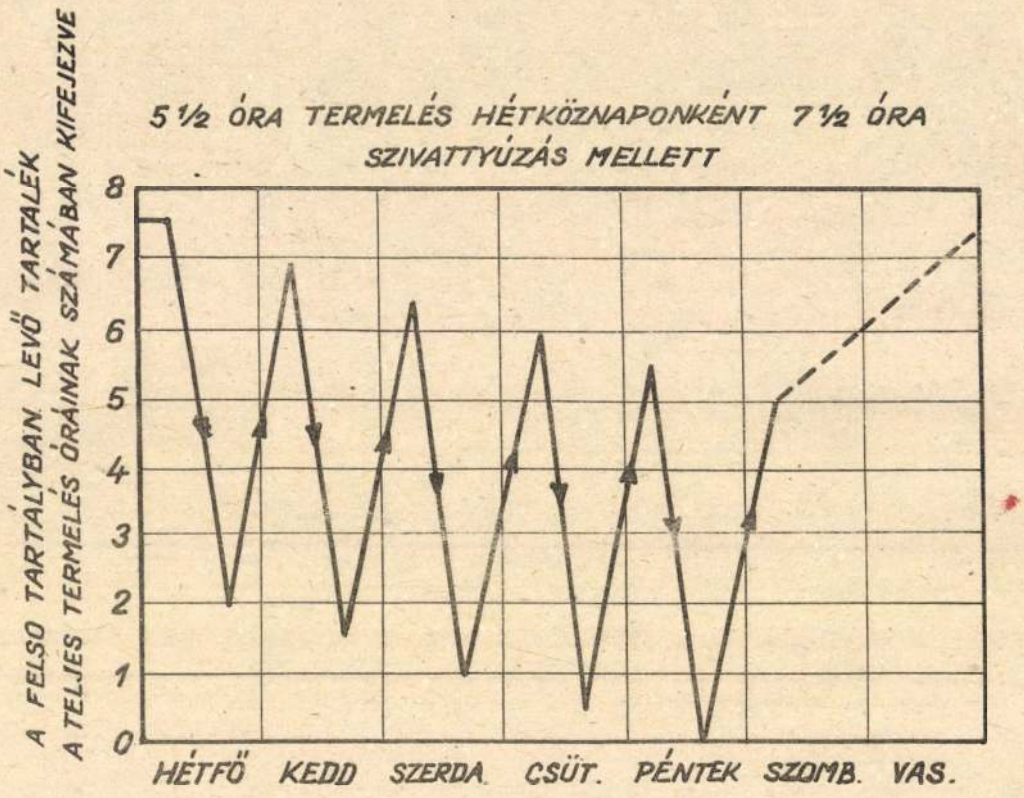
Erőmütipus	Reaktorok száma telepenként	1961		1962-63		1963-64		1965-66		1967-70	
		Kapacitás nettoMW	Beruházási ktsg. font/kW	Kapacitás nettoMW	Beruházási ktsg. font/kW	Kapacitás nettoMW	Beruházási ktsg. font/kW	Kapacitás nettoMW	Beruházási ktsg. font/kW	Kapacitás nettoMW	Beruházási ktsg. font/kW
Természetes vagy gyéren dusitott uránfütésü gázhütéses reaktorok jelenlegi terve	iker	300	145	500	120	600	110	700	105	800	100
Jobb hőteljesitményt nyujtó gázhütésü, grafittal moderált reaktorok, berillium tokolásu uránium-oxid fütőelemekkel	egyetlen							700	90	800	85
	iker							1400	80	1600	75


A RENDSZER ENERGIASZÜKSÉGLETE MW-BAN
NAGY ÜZEMI KÖLTSÉGŰ, RÉGI HŐERŐMŰVEK
ÜZEMELTETÉSI TÚLÓRÁK A KIS ÜZEMI KÖLTSÉGŰ ERŐMŰVEK
TERHELÉSI TARTAM
KÖZEPES ÜZEMI KÖLTSÉGŰ HŐERŐMŰVEK
A LEGKISEBB KÖLTSÉGGEL DOLGOZÓ LEGUJABB HŐERŐMŰVEK
ATOMENERGIAFEJLESZTŐ ERŐMŰVEK
AZ IDEÁLIS ÜZEMBŐL A GYAKORLATBAN HIÁNYZÓ ENERGIA (GENERÁLJAVITÁSOK, ÜZEMZAVAR, ÁTVITELI NEHÉZSÉGEK, STB.)
0
ÉVI ÜZEMÓRA
8760

1. ÁBRA


A RENDSZER ENERGIASZÜKSÉGLETE MW-BAN
HIDROSZTATIKUS TÁROLÁSÚ ATOMERŐMŰ
(A CSÚCSTERHELÉSNÉL KISEGIT)
TERHELÉSI TARTAM
HIDROSZTATIKUS TÁROLÁSÚ
ATOMERŐMŰ
(SZIVATTYÚEGYSÉG)
ATOMERŐMŰ
S A LEGJOBB HŐERŐMŰ
0
ÉVI ÜZEMÓRA
8760

2. ÁBRA.


5 ½ ÓRA TERMELÉS HÉTKÖZNAPONKÉNT 7 ½ ÓRA
SZIVATTYÚZÁS MELLETT
A FELSŐ TARTÁLYBAN LEVŐ TARTALÉK
A TELJES TERMELÉS ÓRÁINAK SZÁMÁBAN KIFEJEZVE
0
1
2
3
4
5
6
7
8
HÉTFŐ
KEDD
SZERDA
CSÜT.
PÉNTEK
SZOMB.
VAS.

3. ÁBRA

AZ ATOMENERGIA GAZDASÁGOSSÁGI PROBLÉMÁI

J.A. Jukes

Atom, N° 24, Oct. 1958. pp.17-28

A különböző országokban sok nagy teljesitményreaktor áll épités alatt. Bár némelyikük, feltehetően, az energia egyéb formáival versenyképes áron termel majd energiát, a magenergia-korszaknak még csak legkezdeténél tartunk. Idővel sok minden lehetségessé válhat; jelenleg azonban a magenergiát csak bizonyos, meglehetősen speciális körülmények között tudjuk gazdaságosan felhasználni. A technikailag lehetséges sok rendszer közül ma még csak egy vagy kettő jöhet szóba. Még ez az egy-két rendszer is sok érdekes problémát nyujt, melyek teljesen még nem oldódtak meg. Joggal hihetjük azonban, hogy hamarosan megoldódnak.

Ezen előadással az a szándékom, hogy e problémák közül néhányat megvitassak, s hogy megpróbáljam megmutatni nemcsak azt, hogy mit tudunk, hanem azt is, amit még nem tudunk. Nem azért, mintha pesszimizmussal viseltetnék a jövő iránt: ellenkezőleg; de csak a lehetőségek árainak ismeretében és a praktikus megoldások elérésére való összpontositással érhetünk el előrehaladást.

Hosszu és költséges utat kell egy reaktorrendszernek megtennie addig, amig gazdaságosan fel lehet használni. Az 1. ábra szemlélteti egy reaktorrendszer időbeli kialakulását. Nem vonatkozik egyetlen adott rendszerre sem és csupán az idevágó időtényezők illusztrálására szolgál. Ha eltekintünk a sok rendszernél közös alapvető munkáktól s attól a ponttól indulunk el, amelynél már a rendszerről eldőlt, hogy érdemes részletesen kidolgozni, a kompatibilitás vizsgálata valószinüleg 1 - 2 évig fog tartani; s utána - ha sikerrel végződött - következik 1 év tervezési vizsgálat. E szakaszokban végzett munkához valószinüleg szükség van kutatási reaktorokra s zéró-energiáju vagy exponenciális kisérletekre. Az utóbbinak mind bonyolultabb és bo-

nyolultabb formáira lesz szükség a reaktor kifejlesztésének előrehaladtával.

Amikor a tervezési szakasz lezárult, az esetben, ha a rendszer valamilyen nagyobb jelentőségü uj elgondolást rejt magában, reaktorkisérlet válhat szükségessé a célból, hogy a rendszer müködésének főbb jellegzetességeit megvizsgálják. Mielőtt pl. egy nagy vizforraló reaktort épitenének, kisebb méretekben reaktorkisérlettel kell kipróbálni a forralórendszer müködését - aminthogy igy is tesznek néhány országban. Néhány esetben a prototipus munkálatai átnyulhatnak a reaktorkisérlet munkálataiba, némelyben pedig a reaktorkisérlet el is maradhat.

Az atomerőmüvek reaktorainak munkálatai általában nem szoktak megindulni addig, mig a prototipus legalább részben meg nem épült. Mivel az atomerőmüvek felépitése 3-4 évet is igénybe vesz, látható, hogy az az időszak, amely a komoly munka megindulásától a versenyképes ipari atomerőmü üzembehelyezéséig eltelik, 1 évtizedet is kitehet; a tényleges idő azonban rendszerenként változik.

Az I. táblázat a kutatói munka mennyiségéről közöl adatokat a reaktorfejlesztés valamennyi stádiumára vonatkozóan.

1. táblázat

Egy reaktorrendszer kifejlesztéséhez szükséges személyi és dologi kiadások

	kutatói munka munkaévekben	kutatási költségek mill.font	beruházási költségek mill.font
Kompatibilitási vizsgálatok	50-100	0,5-1	-
Zéró-energiáju kisérletek			
Tervezési tanulmányok	100-150	1-1,5	
Reaktorkisérlet /szükség esetén/	300	3	3
A reaktor prototipus költségei	600	6	7
Összesen kb.:	1 000	10	10

Tapasztalataink szerint Angliában a reaktorfejlesztés területén az egyetemi végzettségü dolgozókkal kapcsolatos személyi és dologi kiadás évente 10 000 font, beleértve az egy fő kutatóra eső felszerelés és segédszemélyzet költségeit. Egy új reaktor-rendszer kifejlesztése kb. 1000 kutatói munkaévet igényel, s ezért költségeinek nagysága legalább 10 millió font körül van. Ez a költség nem foglalja magába az olyan nagyobb tételek beruházási költségét, mint pl. a prototipus és a reaktorkisérlet, amelyek könnyen adhatnak még vagy 10 millió fontot az összeghez.

Az erőfeszitések összpontositása

Adva lévén a fenti nagyságu költség, amelyet csak egy rendszernél próbáltunk ki hosszabb időtartamon át, csak kevés ország engedheti meg magának, hogy sok rendszert fejlesszen. Angliai tapasztalataink mind azt sugallták, hogy csak egy vagy két érdemesnek látszó rendszer kifejtésére összpontositsuk erőfeszitéseinket.

Ilyen körülmények között nem meglepő, hogy oly kevés rendszer érte el azt a fokot, amelyen határozott kijelentéseket lehet tenni gazdaságosságukról.

Ugy gondolom, ma csak két olyan atomerőmütipus van, amely oly fokra fejlődött, hogy meglehetősen pontos számokat adhatunk velük kapcsolatban. Ezek: az Angliában kifejlesztett gázhütésü, grafitmoderátoros reaktor, s az USA-ban kifejlesztett viznyomásos reaktorok. Mindkettőből nagy ipari méretü prototipusok vannak már üzemben; a reaktorok már elérték imént leirt fejlődésük utolsó állomását. Egyedül ez esetekben lehetséges az, hogy a költségekről pontos becslést adjunk; ezek azért pontosak, mert egyrészt a gyakorlati tapasztalatokra, másrészt az ipari erőmüvek részletes tervezésére támaszkodnak.

Egyetlen más rendszer sem érte el a fejlődés hasonló fokát. A különböző reaktorrendszerek angliai helyzetét a

2. táblázat mutatja. Az USA-ban, Franciaországban, Svédországban, s másutt, egyéb reaktorok is állnak kifejlesztés alatt, de ha ezeket is szerepeltetnénk, a táblázat tulságosan bonyolulttá válnék.

Némely rendszer olyan eljárásokkal dolgozik, amelyeket már bizonyos fokig kidolgoztak s igy költségeiket bizonyos megbizhatósággal lehet felbecsülni. Az angol fejlesztési programban e kategóriába sorolhatjuk a javitott gázhütésü reaktort - a gáz-grafit-rendszer továbbfejlesztése - s a gázhütésü nehézvizes reaktort. Az Egyesült Államokban a vizforraló reaktorok ugyanezen kategóriába esnek. Svédországban a nehézviz-hütésü reaktorokat helyezhetjük ide. Valamilyen nagyobb bizonytalanság azonban mindegyiknél fellép. Bizonytalanságok állnak fenn pl. a gázhütésü reaktornál, amelyet most tanulmányozunk technikailag; az ugyanis, hogy lehetséges lesz-e jó hőszigetelést létrehozni a fütőelemcsövek és a nehézvizzel kapcsolatban levő nyomócsövek között, s [illegible]nyibe fog ez kerülni a tőke egy kilowattra eső hányadában kifejezve? Amig e problémákat a gyakorlati tapasztalatok és részletes tervek alapján meg nem oldjuk, lehetetlen megalapozott itéletet mondani a rendszer gazdaságosságáról.

A következő lépcsőfok

Ennek ellenére szilárdan hisszük, hogy a rendszerek egyike-másika nukleáris energiaprogramunk fejlődésének következő fokát jelenti. A javitott gázhütésü reaktornak a 60-as évek közepén kell ipari felhasználásra kerülnie. Ha gyengén dusitott uránoxid fütőanyagot, s uj fajta tokozóanyagot - talán berilliumot - használnánk, magasabb hőfokot és nagyobb specifikus teljesitményt érhetnénk el. Ez a kilowattonkénti beruházási költség csökkenésére vezetne. A fütőanyag tonnánkénti ára viszont magasabb lenne, mivel gyengén dusitott uránra lenne szükség s a berillium nagyon költséges anyag. Ezek a nagy költségek azonban a besugárzási idő meghosszabbodása következtében csökkennének. Igen sok munkát kell még

2. táblázat

A reaktorrendszerek Egyesült Királyság-beli fejlesztésének jelenlegi állapota s az ipari felhasználás valószinü adatai

Rendszer	Jelenlegi állapot	A legelső ipari erőmü indul
gázhütésü grafit-moderátoros	a prototipus müködik	1960-1961
javitott gázhütésü	a prototipus megtervezve	1964-1965
gázhütésü, nehézvizes	a kompatibilitás tanulmányozása	1966
magas-hőmérsékletü gázhütésü	zéró-energiáju reaktor épités alatt	1970
gyors	a reaktorkisérlet 1958 végén indul	1970
nátrium grafit	a tervezési tanulmányok befejeződtek	?
szerves-folyadék-moderátoros	csak alapvető tanulmányok	?
vizes homogén	csak alapvető tanulmányok	?
folyékony fémfütésü	csak alapvető tanulmányok	?
viznyomásos /tengeralattjáró/	a zéró-energiáju reaktor müködik	-

végeznünk, különösen a fütőanyaggal kapcsolatban. A fütőelemeket ki kell próbálni üzemi körülmények közt, mielőtt megbizható becslést végeznénk a rendszerek gazdaságosságáról. Már készen vannak egy olyan reaktor épitési tervei, amelyek lehetővé teszik, hogy ilyen kisérleteket nagy méretekben végezhessünk. E kisérleteknek három éven belül meg kell kezdődniök.

A gázhütésü nehézvizes rendszer a javitott gázhütésü reaktor egyik lehetséges változata. Megvan az az előnye, hogy alapvetően jó a neutron-ökonomiája és ezért alacsony fütőanyagköltséggel müködhet. A beruházási költség azonban sokkal nagyobb lehet, mint a javitott gázhütésü reaktornál,

mivel a nehézviz ára nagy. A rendszer tényleges gazdaságossága a jelenleg folyó fejlesztési munka sikerétől függ.

Egyéb rendszerek

Még kevesebbet mondhatunk a többi rendszer gazdaságosságáról, amelyeknek nincsenek közös technikai vonásai a "fejlett" rendszerekkel. Itt Angliában tanulmányoztuk a homogén vizes reaktor-rendszert is és a folyékony fémmel fütött rendszert, de mindkét esetben kiderült, hogy e rendszerek - bár potenciálisan alkalmasak arra, hogy kis költséggel termeljenek energiát, oly sok és oly hosszu fejlesztést igényelnek, hogy nem szórhatjuk szét erőinket ahelyett, hogy az egyszerübb rendszerek üzemképessé fejlesztésének sokkal sürgősebb feladatát oldanók meg. A nátrium grafit-rendszerrel is végeztünk tervezési tanulmányokat, de szintén azt találtuk, hogy nagyon bonyolult technikai tervezést és sok fejlesztést igényel, anélkül, hogy a gázhütésü reaktor javitott formájánál jelentősen jobb kilátásokkal kecsegtetne.

Tanulmányoztuk a szerves folyadék moderátoru reaktorokat is. Sok közös vonásuk van a viznyomásos reaktorral; jelenleg azonban még nem tudjuk, hogyan akadályozzuk meg a szerves folyadékoknak a sugárzás felléptekor meginduló polimerizációját. Ezért figyelmünket egyedül e mozzanatra irányitjuk, s mig meg nem oldjuk ezt a problémát, nem tudunk nyilatkozni erről a rendszerről.

Bár mi Angliában polgári használatra nem fejlesztjük a viznyomásos reaktort, tervezési tanulmányokat azért végeztünk. Sőt, jelenleg egy tengeralattjáró hajtására alkalmas reaktoron dolgozunk. Az ezzel kapcsolatos problémák nagymértékben eltérnek a polgári reaktorok problémáitól, ennek ellenére sok, a polgári erőművekkel közös technológiai eljárást kell tervezése során megoldani; s igy a vele járó kutatás további polgári fejlesztéshez alapot adhat.

Perspektivikusan tervbevett rendszerek

Két távlati perspektiváju rendszert is fejlesztünk Angliában - a gyors szaporitó reaktort és a magas hőmérsékletü gázhütésü reaktort. Mindkettőben elvben megvan a képesség arra, hogy kis méretet nagy hőmérsékletü müködéssel egyesitsen; ezzel tehát magas termikus hatásfokot és igy alacsony kW-onkénti beruházási költséget lehet elérni, emellett alkalmasak a fütőanyagot nagy hatásfokkal hasznositó fütőanyagciklusokba való bekapcsolásra. Ezek a technikai jellemvonások azt mutatják, hogy a rendszerek elméletileg alkalmasak olcsó energia előállitására - de ennél többet nem is árulnak el a gazdaságossági becslések. Hogy ténylegesen képesek lesznek -e majd olcsó energia termelésére, az a fejlesztés, a kutatás és a müszaki tervezési munka sikerétől függ; az utóbbi jó része még hátra van.

Dounreay

A gyors szaporitó reaktor most már elérte a reaktorkisérlet fokát; a 60 MW termikus teljesitményre tervezett reaktornak a skóciai Dounreay-ben történő megvalósitása lényegében befejeződött. Azt várják, hogy a reaktor még ez évben, kritikussá válik, de a teljes üzemre csak lassan kapcsolják rá. Sokévi müködés kell majd ahhoz, hogy a nagyüzemi prototipus tervezéséhez szükséges adatokat megszerezzük. Céltalan tehát azzal próbálkozni, hogy megitéljük a rendszer értékét, mig ez adatokat meg nem kaptuk. Ez még két-három évi időt jelent.

A magas hőmérsékletü gázhütéses reaktor még gyerekcipőben jár, a reaktorkisérlet részletekbe menő tervezése még nem kezdődött meg - de a gyors reaktorhoz hasonlóan - ipari alkalmazására 1970 után bármikor sor kerülhet.

Problémáink

Már hangsulyoztam, hogy több sokatigérő rendszerrel foglalkozunk, valójában azonban csak kettő van, amelyeknél a költségekről való vitának van valóságos alapja. Munkálkodunk ugyan vizhütésü reaktorokon is, de a gázhütésü reaktorokról sokkal több tapasztalatunk van. Ezért ugy gondoltam, előadásom hátralevő részét ez utóbbi rendszer gazdaságossági problémáinak szentelem. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a többi rendszernek nincs meg a maga problémája.

Később még visszatérek a fütőelemekkel kapcsolatos problémákra. Ezeknek némelyike nem érinti mondjuk a viznyomásos reaktorokat, de más problémák viszont érintik. Pl. a gázfütésü reaktoroknál széles hézag van a fütőelemek körül s ezért minden nehézség nélkül deformálódhatnak vagy felpuffadhatnak. A viznyomásos reaktornál ellenben a fütőelemek szorosan egymás mellett vannak, s ugy kell tervezni őket, hogy bizonyos kis türéstől eltekintve, megtartsák alakjukat és nagyságukat. Nem azért emlitem e tényeket, hogy helytelenitsem a rendszert, - nagyon jól ismert előnyei vannak - hanem csak azért, hogy megmutassam: bármely rendszernél rengeteg részletprobléma található. Egyikét-másikát majd csak a reaktor-rendszer fejlődésének későbbi stádiumában lehet megoldani.

A korábbi gázhütésü grafitmoderátoros reaktoroknál az elektromosság termelési költségének kétharmada az erőmü beruházási költségéből eredő teher /tőkeköltség/. A költség e részét ma már elég pontosan felbecsülhetjük. A reaktorokat a kettős rendeltetésü Calder Hall-i erőmü céljaira fejlesztették ki. A Calder Hall-i első reaktor már közel két éve teljes sikerrel s megbizhatóan müködik; a második pedig körülbelül egy éve, mig a Calder B reaktorainak megindítása most van engedélyeztetés alatt. A Calder A két-reaktoros erőmü költségét eredetileg 16,5 millió fontra becsülték. Ugy tervezték, hogy az erőművet három év alatt épitik meg. Időben elkészült, s az eredeti költséggel. Üzemi tapasztalatok birtokában idővel természetesen szeretnénk bizonyos változtatásokat esz-

közölni, s ez kissé növeli majd a költségeket; a becslésekkel való összehasonlitás azonban egy uj technológiáju nagyobb terv számára jelentős eredményeket szolgáltat, s biztonságérzetet nyujt a jövőben épitendő reaktorok gazdaságossági kiértékelésében is.

Az erőmüprogram

Atomenergiaprogramunk részére négy erőmü áll épités alatt. Valamennyi kétreaktoros. A magánipar épiti áramszolgáltató vállalatainknak, árrögzitéses szerződéssel. Bradwellben /Essex, 300 MW/ s Berkeleyben /Gloucestershire, 275 MW/ épitenek jelenleg erőmüveket és az épitkezés szépen halad. A harmadik a skóciai Hunterston-ban épül /300-320 MW/. Ez utóbbi érdekes tulajdonsága az, hogy a fütőelem töltése és üritése a reaktorok alatt történik. Bár ez az elrendezés bizonyos komplikációkat okoz, a reaktor igy rugalmasabban üzemeltethető, s ez lényegesen csökkentheti a fütőanyagköltséget.

A legutolsó meginditandó erőmü a Somersetben lévő Hinkley Point-i. Ez az erőmü 500 MW-os lesz; 1962-ben kell üzembe állitani. A tervezőknek sikerült nagyobb teljesitményt kapniok a nyomásedénybe zárt reaktorból. /Ez az edény megközelitőleg akkora s olyan vastag, mint a korábbi erőmüvekben./ Ezt a reaktormag oly elhelyezésével érték el, hogy az edénynek sokkal nagyobb részét foglalja el. Ezen és több más kézenfekvő javitás utján lehetővé vált, hogy az 1 kW-ra eső tőkét kb. 20 %-kal csökkentsék.

A Hinkley-Point-i erőmü tőkeköltségét kb. 120 font/kW-ra becsülik. Ez összhangban van az első három erőmü kb. 145 font/kW-os költségével. A költségek magukban foglalják a telepfejlesztés és a kerettullépés költségét is. A tullépési költségnek kell fedeznie a kisebb módositásokat.

Egy atomerőmü tőkeköltségének az elektromosság előállitási költségére való átszámitásánál azonban sok fontos

tényező és bizonytalanság játszik közre. Mindenekelőtt az általános /kultur/-mérnökök és a felszerelés munkájának költsége országról-országra változik. Másodszor az erőművek végső elektromos teljesitményét illetően is felléphetnek bizonytalanságok.

Másik elkerülhetetlen bizonytalanságot jelent az erőmü élettartama. Reméljük, hogy erőmüveinket legalább husz évig tudjuk müködtetni. Ezt óvatos becslésnek vehetjük, mégis olyan tényező, amelyről sohasem lehetünk egészen biztosak. Ha figyelembe vesszük, hogy az első mesterséges láncreakció alig 15 és 1/2 éve játszódott le, világos, hogy lehetetlen a huszéves élettartamot illető becslésünk pontosságát valóban bebizonyitani.

A tőkeköltségeket illető másik fontos körülmény az a terhelési tényező, amellyel az erőmü müködni fog /2. ábra/. Mivel atomerőmü esetén a tőke az összköltség nagy részét teszi ki, fontos, hogy nagy hasznositást érjünk el. Ezért olcsó atomenergiát a legvalószinübben ott kaphatunk, ahol lehetőség van az erőmü folyamatos, vagy majdnem folyamatos müködtetésére. Az ábra megmutatja a terhelési tényező változásának az elektromos energia termelési költségére gyakorolt hatását atomerőmüvek esetén, s összehasonlitja sokkal kisebb beruházással járó széntüzelésü erőmüvekkel. Az az atomerőmü, amely 75 %-os terhelési tényező esetén nagyon is versenyképes, könnyen versenyképtelenné válhat 55 %-osnál. A két görbe valóságos elhelyezkedése az általam már emlitett többi tényezőtől függ.

Végül a tőkeköltségeket, amelyeket be kell számitani az elektromos energia árába, nagyon befolyásolja a kamatláb /3. táblázat/.

A kamatláb országonként változik /sőt egyes országokon belül is/ az intézményes rendelkezésektől függően.

Angliában, ahol az elektromos közmüvek államositva vannak, a megfelelő kamatláb meglehetősen kicsi s a berende-

3. táblázat

Gázhütésü grafitmoderátoros természetes uránfütésü atomerőművek által termelt energia költsége

	penny per kWóra	
	kamatláb: 5 %	kamatláb: 7 %
	tőketerhek: 8 %	tőketerhek: 13 %
tőketerhek	0,29 - 0,38	0,47 - 0,62
a fütőanyagkészlet kamata	0,06	0,09
A fütőanyag-utánpótlás költségei	0,24	0,24
üzemeltetési költségek	0,05	0,05
Bruttó összkiadás:	0,64 - 0,73	0,85 - 1,00
a besugárzott fütőanyagból származó jóváirás	0,58 - 0,67	0,79 - 0,94

zés szokásos leirási időszaka hosszu. 5 %-os kamatlábat s husz éves élettartamot véve, kb. 8 %-os tőketerhelést kapunk. Ez kWóránként 0,35 pennys amortizációs terhet eredményez, s 0,6 - 0,7 penny/kWórás előállitási összköltséget. Némely európai országban azonban nagyobb a kamatláb, mintegy 7-9 %. Gyakran megesik, hogy a tőkét gyorsabban irják le, s a tőkeköltségekbe beleszámitanak más tényezőket is, például az adóterheket. A tőkeköltségek igy gyakran megütik a 13 %-ot, sőt többet is. Ennek eredményeként az elektromos energia költségének amortizációs része kWóránként 0,6 penny is lehet, s az összköltség közel 0,9 penny.

Fütőanyagköltségek

Az atomerőművek valószinü fütőanyagköltségeiről való ismereteink szükségképpen bizonytalanabbak a beruházási költségekre vonatkozó ismereteinknél. A legtöbb esetben s a gázhütésü grafitmoderátoros reaktor esetén biztosan, a fütőelem-

költségeknek az elektromosság összköltségéhez való hozzájárulása szerencsére sokkal kisebb, mint a tőkeköltségeké, s ezért az innen eredő bizonytalanság kevésbé lényeges.

A fütőanyagárakban mutatkozó bizonytalanság oka azzal az idővel függ össze, amelyre szükség van ahhoz, hogy adatokat kapjunk a fütőanyag teljesitményéről. Ezt a 3. ábra illusztrálja. Bizonyos reaktortipusokban levő nagyteljesitményü fütőelemfajták előreláthatóan három vagy négy évig maradnak a reaktorban. Néhány hónapot vesz igénybe továbbá a reaktor feltöltése és teljes üzemre kapcsolása is. Egy teljes töltésnyi fütőelem előállitása termelékeny sorozatgyártással mintegy 6-12 hónapba telik. Mielőtt a fütőelemgyártás megindulna, a tokokat s más alkatrészeket is meg kell rendelni s le kell gyártani, a gyártási berendezéseket be kell szerezni, a sorozatgyártást meg kell szervezni. Az az idő, amely a sorozatgyártásu fütőelemek előállitásától várható müködésük kipróbálásáig eltelik, öt évet is kitehet. Ha pontos bizonyosságot akarunk szerezni arról, hogy ipari reaktorok általunk gyártott fütőelemei képesek-e a tervezett teljesitményre, sorozatgyártás meginditása előtt legalább öt évvel el kell kezdenünk a fütőelemek kisérleti célokra történő gyártását. Az ilyen bizonyság-szerzés azonban a gyorsan fejlődő technológia mellett lehetetlen. A próbaidő alatt sok olyan eredmény válik elérhetővé, amely elősegiti mind a tervezés, mind a gyártási módszerek megjavitását. Ha e javitások előnyét ki is akarjuk használni, a sorozatgyártásu fütőelemeknek szükségképpen különbözniök kell a kipróbáláson keresztülment fütőelemektől.

Ilyen körülmények között az az eljárás, amelyet Angliában elfogadtunk - s nem hiszem, hogy sokban különböznék a más tipusu reaktoroknál lefolytatandótól - nagyjából a következő:

A fütőelemek tervezését elsősorban az anyagoknak besugárzás alatti teljesitményükkel, mechanikai teherbirásával s termikus tulajdonságaival kapcsolatos viselkedések részle-

anyagért fizetett visszatérítési árat összhangba hozza a polgári célu fütőanyag értékével. Jelenlegi becslésünk szerint a besugárzott fütőanyag értéke 3000 MWkg/tonna elégetési szint mellett 5000 angol font/tonna lesz. Ezen a besugárzási szinten a kiégett fütőanyag értékét a tartalmazott plutonium értéke szabja meg; ez pedig annyi, amennyit a plutonium a jövő polgári erőművei szempontjából jelent. Egyébként ezen 5000 fontos jóváirásnak az elektromos energia fejlesztési költségére gyakorolt hatása mindössze kb. 10 %.

Kisebb besugárzási szint esetén a fütőelemben levő plutonium-mennyiség is kisebb. Másrészt ilyen esetben a visszanyerhető uránium jelent bizonyos értéket. Ha számbavesszük e két tényezőt, nem alaptalanul állitjuk, hogy a besugárzott fütőanyag valószinü értéke megközelitően független a besugárzás szintjétől. /Az ábrán a szaggatott vonal/. A kihuzott egyenes a 4. ábrán a visszavásárlási árat jelenti, amelyre szükségünk lenne ahhoz, hogy az elektromos energiafejlesztés költsége független legyen a besugárzás szintjétől. Ha 3000 MWnap/tonnára tervezték a besugárzási szintet, de a fütőelemekben 2000 MWnap/tonnányi besugárzás után sérülés történt és ki kellett szerelni őket, az erőmü üzemeltetőjének tonnánként 10 000 fontot kellene kapnia besugárzott fütőanyagért, ha azt akarnánk, hogy a fütőelemek idő előtti meghibásodása ne befolyásolja az elektromos energia árát. Az üzemeltető valójában azt szeretné, hogy a besugárzott fütőanyagért e kihuzott egyenes által megszabott visszatérítést fizetnék.

Az üzemeltetés hatásai

Bármennyire is bizik az előállitó sajátkészitésü fütőelemeinek teljesitőképességében, nem lenne okos dolog részéről, ha felajánlaná, hogy a felső vonallal jelzett mértékben venné vissza a besugárzott fütőelemeket. Ez nem ösztönözné az üzemeltetőt arra, hogy maximálisan kihasználja a fütőanyagot. Továbbá a fütőanyag viselkedését valószinüleg nagyon befolyásolja a reaktor üzemeltetésének módja; igy pl. a maximális hőmérsékletben beálló kis változások is határozott változáso-

tes ismeretére alapozzuk. Ezt a tájékoztatást azáltal szerezzük be, hogy kis mintákat sugároztatunk be nagy fluxusu próbareaktorokban és teljesitményreaktorokban és sok reaktoron kivüli technikai kisérletet végzünk. Ezt az információt folyamatosan kapjuk. Kiegészitjük még különböző reaktorokból /pl. a Calder Hall-ból/ származó, korlátolt számu besugárzott fütőelemnek részletes vizsgálatával. Ezeknek egy részét a szokásosnál hosszabb ideig tartjuk bent; de ahhoz, hogy ezeket az elemeket akkora besugárzás érje, mint amekkorát a polgári erőmüveknél várunk, 4-5 évig kellene benntartanunk őket. Ez természetesen tul hosszu ahhoz, hogy segitséget kapjunk a polgári erőmüvek első töltésének tervezéséhez. Mindazonáltal igen fontos adatokat kaphatunk a kisebb besugárzásnak kitett fütőelemek vizsgálati eredményeinek extrapolációjával. Különleges módositásokkal azt is megtehetjük, hogy megnöveljük a fütőelemek teljesitményét, hogy ezáltal gyorsitsuk a próbát.

Valamennyi eljárás folyamatban van jelenleg Angliában. Még azután is folytatjuk őket, miután elkészült a polgári atomerőmü-reaktorok első töltése; és bár igaz az, hogy ezeknél a reaktoroknál, de bármely más reaktornál is, az üzembeállitás napjáig nem kapunk pozitiv bizonyságot fütőelem müködésének módjáról, mégis rengeteg adatunk lesz. Sőt minden reményünk megvan arra, hogy minden egyes további töltésnél javitunk a teljesitményen.

Jótállás

Gyakran kérdik tőlünk, hogy milyen mértékben állunk jót az angol tipusu reaktorokhoz gyártott fütőelemekért. Az eddig elmondottakból láthatják, hogy egy határozott besugárzási szintért pontos garanciát vállalni nem volna helyes; mégis jelezhetem azon irányokat, amelyekben elgondolásaink, megfontolásaink haladnak. A 4. ábra mutatja az itt szerepet játszó fő tényezőket. Az ilyen tipusu reaktorokhoz való uj fütőelemek ára kb. 20 000 font/tonna lesz; a pontos számadat részletes tervezéstől függ. Az UKAEA /angol Atomenergia Hatóság/ arra törekszik, hogy az általa besugárzott fütő-

kat idézhetnek elő az elérhető sugárzási szintek között. A fütőelem előállitója mindazonáltal azzal demonstrálhatja fütőelemeinek minőségébe vetett hitét, hogy felajánlja: a két görbe közötti valamely közbenső értékben veszi vissza a fütőanyagokat. A tervezett igénybevétel tartományában a visszaváltási ár valószinüleg a besugárzott fütőanyag várható értéke körül lesz. Nagyon kis besugárzás esetén visszatéritési összeg valószinüleg sokkal közelebb lesz a felső vonalhoz. E két tartomány közti görbe pontos alakja a fütőelemet előállitó gyár és a reaktor üzemeltető vállalat részletes megállapodásától függ.

Gyakorlati problémák

Most azon kérdésekre akarok rátérni, amelyek különleges reaktortipusokra vonatkoznak.

A gázhütésü, grafitmoderátoros teljesitményreaktor igen sok fütőelemet tartalmaz. Egy-egy Hinkley Point-i reaktorban pl. 20 000 - ill. 30 000 fütőelem lesz. A töltés és ürités jelentékeny időt vesz igénybe. Calder Hall-ban akkor végzik a töltést és üritést, amikor a reaktor leáll és nincs nyomás alatt.

A Calder Hall-i üritőgép bonyolultnak látszik, bár lényegében csak egy markolóból áll, amelyet kábelre erősitve bocsátanak be a fütőelemcsatornákba. Hogy ezt megtehessék, az egyik vezérlőrud-mechanizmust eltávolitják s a kiüritendő anyagot a nagynyomásu tartályon lévő lyukon át kihozzák. A szerkezetet természetesen árnyékolni kell a fütőelem erős sugárzása miatt. Az ipari reaktorban levő nagyszámu fütőelem esetén lényeges, hogy olyan felszereléseink legyenek, amelyeknek segitségével a töltést és üritést t e r h e l é s a l a t t is el lehet végezni, mivel egyetlen fütőelem hibája a reaktor lezárását, a gázkör gáztalanitását tenné szükségessé és igen sok üzemidő elvesztését jelentené. Már hangsulyoztam, mennyire szükséges az, hogy a reaktorokat a lehető legnagyobb terhelési tényező mellett üzemeltessük. Érdemes néhány millió fontot áldozni töltő- és üritőberendezésekre, hogy

aztán meglegyen a lehetősége az üzem alatt történő töltésnek és üritésnek. Az ujabb fütőelemcserélő mechanizmusok még bonyolultak lesznek ugyan, de gyakorlatilag kevesebbe kerülnek, mint a fenti berendezés.

Teljesitménytényezők

Mi az, ami gyakorlatilag meghatározza a fütőanyag teljesitményét? A gázhütésü grafitmoderátoros reaktoroknál két fő tényezőt kell számitásba venni. Először a reaktivitást; a reaktivitás a mértéke annak, hogy a fütőanyagmennyiségnek mekkora megváltoztatása vetne véget a hasadási láncreakciónak; másodszor a fütőelemek fizikai vagy metallurgiai meghibásodásának problémáját. E két dolgot nem lehet egymástól teljesen függetlenül szemlélni, mert kölcsönösen befolyásolják egymást. Ezt szemlélteti az 5. ábra. A fluxusnak a reaktor egy csatornája mentén vett axiális eloszlását mutatja. A középen levő fütőelemek sokkal több sugárzást kapnak, mint a végén levők. Ha tehát a csatornát egyszerre kellene teljes egészében eltávolitani, a benne levő fütőelemek átlagos besugárzása sokkal kisebb lenne, mint a középpontban levő elemek maximális besugárzása. Ezért, ha a fütőelemek egy adott besugárzásnál fizikailag elromlának, az összes fütőelemnek a csatorna egészére átlagolt besugárzása jelentékenyen kisebb lenne e felső határnál.

A helyzetet igen megjavithatjuk a csatorna "axiális megforditásával". Ezen azt értjük, hogy a csatorna alsó felét a felső, a felső felét az alsó helyére toljuk, pontosabban: félcsatorna helyére a szomszédos csatorna alsó felét. Ezt a müveletet általában a csatorna várható élettartamának felénél szokták elvégezni. Azon fütőelemek, amelyek a csatorna középpontjában nagy besugárzást kaptak, a külső részre kerülnek, s a külső részen levők a középpontba. Élettartamuk végére bármely fütőelem maximális besugárzása csak pár százalékban tér el a csatornában levő összes fütőelem átlagbesugárzásától.

Az axiális megforditás a reaktor teljesitményét nukleáris szempontból is megjavitja, amint ez a 6. ábrából kitünik. Ezen azokat a változásokat mutatjuk be, amelyek a fütőelem élettartama folyamán a reaktor reaktivitásában mennek végbe. A reaktivitás egyideig növekszik a plutoniumképződés miatt. Végülis azonban maga a képződött plutonium is elég; a fütőanyag U-235-tartalma szintén fokozatosan csökken. Ezen tényezők a hosszuéletü reaktormérgek képződésével együtt a reaktivitás fokozatos csökkenéséhez vezetnek s ez végül a kezdeti szint alá süllyed. Ha azonban a fütőelemek axiális megforditását alkalmazzuk, a reaktivitás megnő. Ezt a görbén látható ugrás mutatja.

A gyakorlatban a reaktor reaktivitását még hosszabb ideig is fel lehet tartani azáltal, hogy folytonosan töltjük és üritjük; igy lesz az első angol ipari reaktoroknál is. Ezt csak oly készülékekkel vihetjük véghez, amelyek reaktorüzem alatt is képesek dolgozni.

Azáltal, hogy a reaktort egyensulyi ciklussal müködtetjük, vagyis ha a reaktorban a régi és uj elemek állandó összetételü keverékét tartjuk fenn, a reaktivitást egy állandó értéken tarthatjuk. A reaktorban már hosszu ideje levő fütőelem kis reaktivitását a reaktorban rövid idő óta levő nagyreaktivitásu fütőelemek melléhelyezésével ellensulyozhatjuk. Igy a fütőelem élettartamát sokkal nagyobb valószinüséggel a metallurgiai meghibásodás fogja okozni, mint a reaktivitáscsökkenés.

Sokatigérő terület

A fütőelemek kezelésének és a kielégitő fütőanyagciklusok kidolgozásának területe nagyon sokatigérő terület a további fejlődés számára. Fontos ujitások lehetségesek és jelentős mennyiségü pénzt lehet megtakaritani a legalkalmasabb eljárások kifejlesztésével. Ez az a terület, amelyen a fütőelem előállitójának szorosan együtt kell müködnie a reaktorüzemeltető vállalattal.

Rengeteg kérdéssel kell tehát szembenéznünk még a legfejlettebb reaktor-rendszerek egyikének, az általam leirt rendszernek esetében is. Más rendszerek esetében sem más a helyzet.

A jövő kilátásai

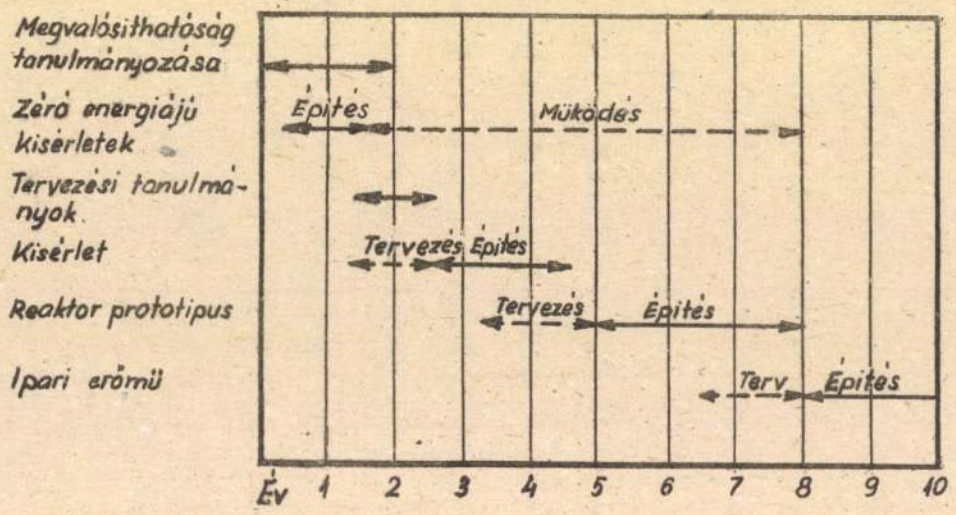
Reméljük, hogy az általunk most alkalmazott rendszer tőkeköltségeit pontosan becsültük; ennek az az oka, hogy a becsléseket igen sok tapasztalatra és részletes tervezésre alapoztuk. Mig valamennyi rendszernél el nem érjük ezt a fokot, a becsléseket inkább csak sejtésnek tekinthetjük. A fütőanyag-áraknál már nagyobb a bizonytalanság, bár szerencsére az angol rendszernél ez kisebb jelentőségü. A fütőelemeknél és a fütőanyagciklusok terén még nagy fejlődésnek kell bekövetkeznie. Ez a munka folyamatban van, s várhatjuk, hogy nemcsak a jelen problémákat oldja meg, hanem jobb fütőelemeket is teremt a későbbiek folyamán.

Az uttörő munkája sohasem volt könnyü, de bizhat abban, hogy ha nem is láthatja előre az ut valamennyi akadályát, nehézségét és leküzdésük módját, célhoz ér. Pontosan ez ma a helyzet az atomenergia terén is. Még sok izgató probléma áll előttünk, de szilárdan hisszük, hogy meg lehet és meg is fogják őket oldani.

Forditotta: Illy József

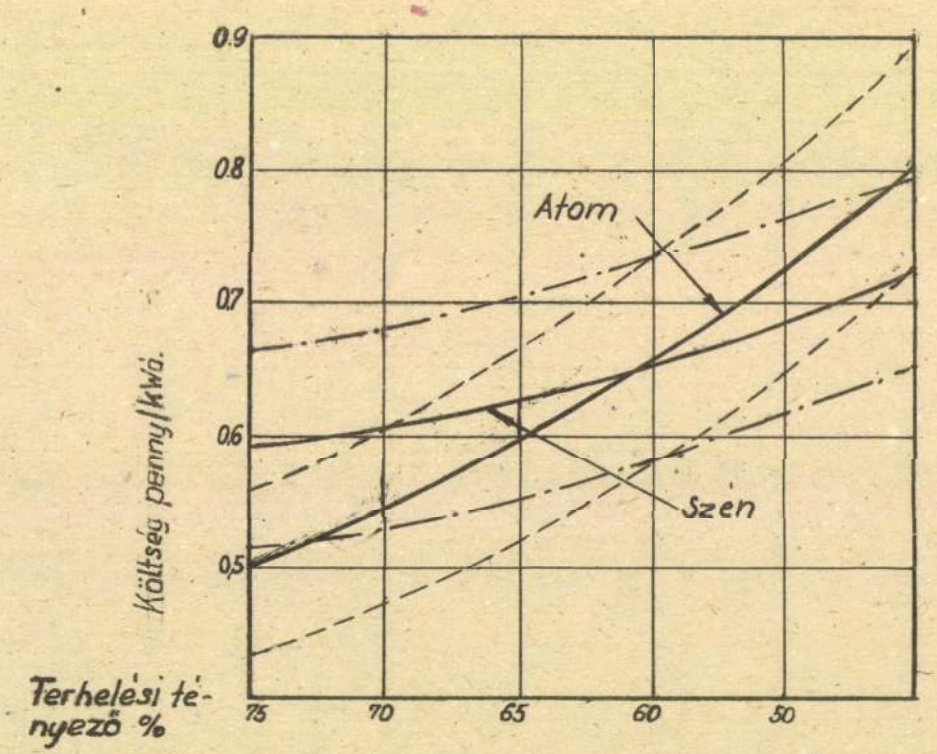
1. ábra

Egy reaktorrendszer fejlödésének időbeli sorrendje.



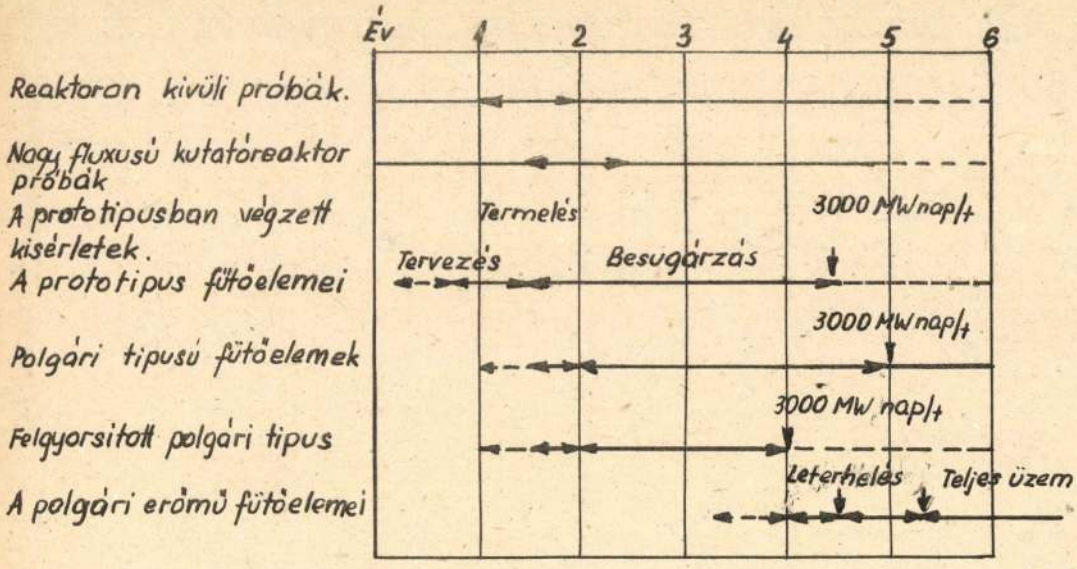
2. ábra

A terhelési tényező hatása a széntüzelésü és az atomerömü által termelt elektromos energia előállitási költségére.



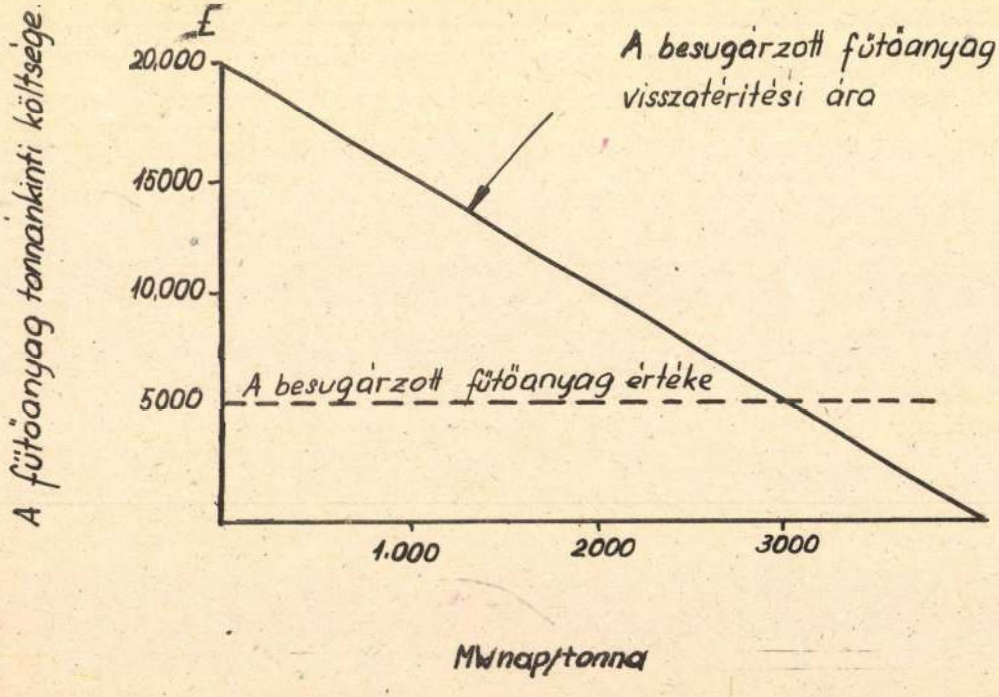
3. ábra

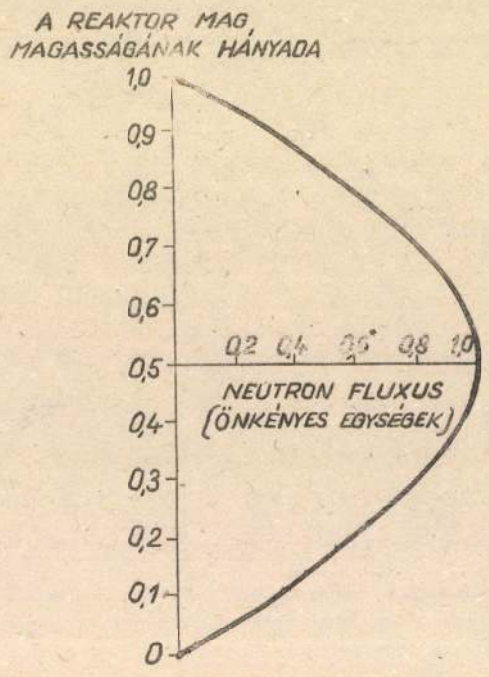
A fütőelem kutatás és fejlesztés időbeli lefolyása.



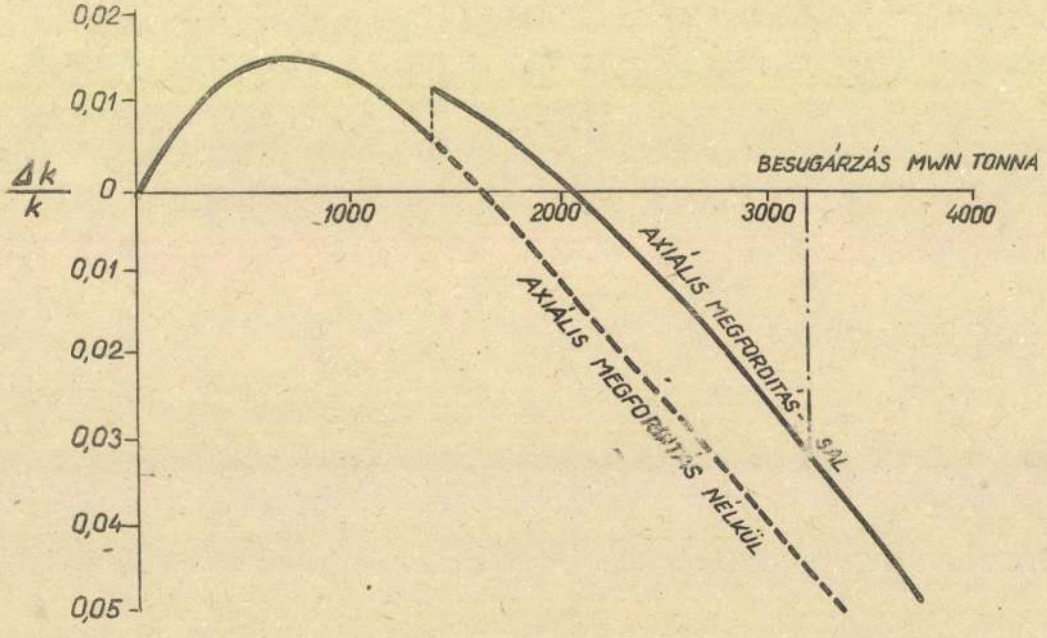
4. ábra

Az atomi fütőanyag költsége különböző besugárzások mellett.





A FLUXUS AXIÁLIS ELOSZLÁSA.



EGY TIPIKUS CSATORNAREAKTIVITÁSI GÖRBE.

Az atomerőművek gazdaságos müködésének feltételei Lengyelországban

W.Frankowski és T. Wojcik
Magkutató Intézet, Reaktortechnikai Osztály, Varsó

II. Genfi Konferencia A/CONF.15/P/1940

1. Bevezetés.

A lengyel ipari atomerőművekhez szükséges fütőanyag, szerkezeti anyag és felszerelés terén fellépő szükségletek kielégitése lehetőségének részletes analizise és egyéb általános megfontolások alapján, az alábbi következtetésekre jutottunk: az atomerőművek lengyelországi alkalmazásának leghelyesebb módja az, ha természetes uránfütésü grafitmoderátoros, nagynyomású gázzal hütött reaktorokat épitünk. Az ilyen reaktorok az elektromosságon kivül plutoniumot is termelnek, amely majd a jövő atomenergiahálózatában épitendő mástipusú teljesitményreaktorok üzemanyagát dúsitja.

Az első nagy atomerőműveknek már 1965 és 1970 között meg kellene indulniok; ezt mutatja mind a hagyományos fütőanyagtartalékok mérlegének elemzése, mind pedig a növekvő elektromos energiaszükséglet. A szerzők arra törekedtek, hogy felbecsüljék a kérdés gazdasági oldalát, és hogy megállapitsák, mily mértékben tudnának a fent emlitett atomerőművek versenyezni /az energia árát illetően/ a Lengyelországban túlsúlyban levő szénfütésü hőerőművekkel.

2. A beruházás gazdasági hatásfokának összehasonlitása.

A kétféle erőmütipus összehasonlitásával megfontolás tárgyává tettük az "energiatermelés teljes költségét." Ezt a mennyiséget - a Gazdasági Tervbizottság Gazdasági Kutatóosztályának javaslata alapján - az alábbi módon definiáltuk:

$$K_p = \frac{I+Iq\ n+n\ +\sum_{1}^{n}R_n+\sum_{1}^{n}K_{pn}+\sum_{1}^{n}K_{rn}}{\sum_{1}^{n}E_n} \qquad /2.1/$$

ahol

n = az erőmü becsült élettartama /években/
E_n = a generáljavitások költségei évente
K_{pn} = az elégetett fütőanyag évi költsége
K_{rn} = egyéb fenntartási költségek évente
E_n = az évente termelt netto elektromos energia
I = teljes tőkebefektetés
q = tőkeköltség évente, százalékban
n_z = a tőkebefagyasztás ideje, években

E formula szerint tehát a q százalékos évi tőkeköltség a teljes beruházási költséget nemcsak az erőmü hasznos időtartama alatt terheli, hanem a felállitás ideje alatt is, amikor a tőke be van fagyasztva.

Meg kell jegyeznünk, hogy a beruházás gazdasági hatásfoka összehasonlitásának e módszere hátrányos az atomerőművekre nézve, mert ezeknél magasabb a beépitett teljesitményegységre eső beruházási költség. Nemzetgazdaságunk tőkeszegénységét figyelembevéve azonban, - ami arra kényszerit bennünket, hogy a lehető legkevesebb beruházással járó megoldások után kutassunk, - ez a módszer általában teljesen indokoltnak látszik, s ezért helytelen lenne elvetni e különleges esetben.

A százalékos évi tőkeköltséget a tőke változatlan összege után 7 %-nak vesszük. Amint látni fogjuk, nemcsak az erőmüépitéssel járó közvetlen kiadásokat terheli tőkeköltség, hanem néhány közvetett beruházást is; ezeket azonban nem lehet elválasztani az előbbiektől.

3. 360 MW-os erőmüvek.

Az 1965-70-es időszak tipikus erőmüvéül egy, 120 MW-os gőzturbinaegységekből álló és az 1. táblázatban adott paraméterekkel rendelkező erőmüvet vettünk. Ilyen erőmü kb. 500 km-re helyezkednék el a kiszolgáló szénbányától, ez az első atomerőmüvek valószinü elhelyezésének körzetében.

1. táblázat

Az 1965-70-es időszakban épitendő lengyel erőművek széntüzelésü tipusának paraméterei

Beépitett teljesitmény[1/]	360 MW
Gőzturbinaegység-teljesitmény	120 MW
A turbina vezérelt fojtószelepe előtti gőznyomás	127 ata
A gőz hőmérséklete a turbinabemenetnél közbenső tulhevitő esetén	538/538 °C
Az optimális hőhasznositás a turbinákban 25 °C-os hütőviz hőmérsékletnél, nettó	2030 kgkal/kWóra
Átlagos teljes hőhasznositás	2677 kgkal/kWóra
Tiszta hatásfok	32,2 %

3.1. A /2.1/ első részét azaz a teljes költség azon részét, amely a beruházott tőkével kapcsolatos,

$$\frac{I + Iq\ /n+n_z/ + \sum_{1}^{n} R_n}{\sum_{1}^{n} E_n} \qquad /2.2/$$

kiszámitottuk annak feltételezésével, hogy a beépitett teljesitményt évente 4000 ill. 5000 órán át veszik igénybe az erőmü teljes élettartama alatt. A képletben szereplő többi mennyiségnél az alábbi értékeket tételezzük fel:

$I = 1296 \times 10^6$ zloty; azaz beépitett kW-onként 3600 zloty;

$n = 20$ év;

$n_z = 2$, ez négy éves felállitási időnek felel meg a beruházási kiadások évenkénti egyenletes elosztása esetén;

$R_n = 518 \times 10^6$ zloty, vagyis átlagban 2 %-a az évenkénti tőkebefektetésnek.

Az erőmü saját energiafogyasztását a bruttó termelés 7 %-ának vehetjük.

1/ Ekkora teljesitményt nem lehet tipikusnak nevezni, inkább nagyobb méretü erőmüveket épitenek majd. A most tárgyalt tartományban azonban éppen ekkora teljesitmény szükséges.

3.2. Mielőtt a /2.1/ fütőanyagelégésre /szén/ vonatkozó második részét

$$\frac{\sum_{1}^{n} K_{pn}}{\sum_{1}^{n} E_{n}}$$

kiszámitanánk, meg kell határoznunk a szén átlagos árát. Két alternativa előtt állunk:

1/ a szén ára egyenlő az uj bányákban való kitermelésének teljes költségével;

2/ a szén ára egyenlő előre feltételezett export árával,

mindkét árat valamely, az erőmü élettartamára jellemző esztendőre vonatkoztatva. Ha például az erőmü 1967-ben indul meg, ugy 1975 látszik ilyen karakterisztikus évnek, mert a közelitő számitások azt mutatják, hogy nyolc év alatt használja el az erőmü a 20 éves élettartama alatt elégetett szénmennyiség felét.

Azon megfontolások ismertetése, amelyek az uj bányákból való szénkitermelés teljes költségének meghatározását eredményezték, nem feladata e cikknek. Ha az erőmüvek számára alkalmas rosszabb minőségü /5700 kgkal/kg/ szén 1960-ra vonatkozóan 364 zlotyra becsült kitermelési költségét vesszük alapul, és ha a kitermelési költségeknek 1960 és 1975 közti növekedési sebességét igen óvatosan számitjuk, a szén aknalejárati árául 1975-re maximálisan 445 zloty/tonnát kapunk, a szállitási költségekkel együtt pedig 535 zloty/tonnát.

A szén exportárának meghatározása még bonyolultabb. A szénáraknak az európai piacon való legutóbbi hirtelen változásai azt bizonyitják, hogy az ilyen számitásokat a legnagyobb óvatossággal kell elvégezni. Ha feltesszük, hogy 1975-ben az erőmüvek által használt szén ára az 1956-os szintre tér vissza /: azaz 15 dollár/tonnára lengyel kikötőben behajózva:/, akkor ez 634 zloty/tonna árnak felelne meg, 5300 kgkal/kg hőértékü szénből.[2/]

[2/] A dollár/zloty import átszámitási tényezőjét használva.

32,2 %-os tiszta hatásfokkal s 26 784 x 10^6 kWóra, illetve 33 480 x 10^6 kWóra teljes elektromos energiatermelés-sel számolva, a beépitett kapacitás/évi 4000 illetve 5000 órás igénybevétele mellett/ 5700 kgkal/kg fütőértékü szén esetén a teljes fogyasztás 12 500 x 10^3, illetve 15 635 x 10^3 tonna/év lenne; 5300 kgkal/kg-os szén esetén pedig 13 500x10^3, illetve 16 874 x 10^3 tonna.

3.3 A /2.1/ egyenlet utolsó részének, amely az egyéb müködési költségekre vonatkozik /a mindenkori javitási költségek, az erőmü kihasználása alatt alkalmazott anyagok költségei, személyi és adminisztrativ kiadások/, vagyis a

$$\frac{\sum_1^n K_{rn}}{\sum_1^n E_n}$$ -nek meghatározása

viszonylag könnyü.

A folyamatos javitások és a nyersanyagok évi költségét a beruházás 0,5 %-ának vettük. Feltéve, hogy az alkalmazottak száma MW-ként 1 személy, a személyi kiadások 180 x 10^6 zlotyt tesznek ki. Az igazgatási költségek a személyi kiadások 35 %-ára tehetők.

3.4 A 2. táblázatban a fentemlitett alternativákra vonatkozó eredményeket gyüjtöttük össze.

2. táblázat

Az energiatermelés költsége egy hagyományos széntüzelésü erőmünél /grosz[x]/ per netto kWóra/

A teljes költség összetevője	T_i - 4000 óra/év		T_i - 5000 óra/év	
	A szén bányászási ára	A szén export ára	A szén bányászási ára	A szén export ára
Beruházási költségek	14,25	14,25	11,38	11,38
Tüanyagköltség	25,00	32,00	25,00	32,00
Egyéb üzemi költségek	1,40	1,40	1,10	1,10
Összesen:	40,65	47,65	37,48	44,48

[x] 1 grosz = 0,01 zloty

4. 360 MW-os atomerőmű

Természetes uránfütésü, grafitmoderátoros, gázhütésü reaktorokk l felszerelt ipari atomerőművekről jelenleg csak brit forrásokból jutottunk adatokhoz, s ezek épités alatt álló reaktorokra vonatkoznak. E cikk szerzői a leghelyesebbnek azt tartották, hogy ezeket az adatokat a lengyel körülményekre ugy alkalmazzák, hogy megfelelő átszámitási tényezőt használnak. A következő meggondolások érdekében nagyszámu közleményből kiválasztottuk egy ilyen erőmü tipikus technikai adatait. Ezeket a 3. táblázat sorolja fel. Tekintettel az atomerőművek felhasználási lehetőségeinek széles skálájára, a teljes költség számitásait évi 4000, 5000, 6000 illetve 7000 beépitett teljesitmény-óra hasznositás esetére végeztük el. Ezenkivül a /2.1/ képlethez ujabb tagot adtunk hozzá, az első fütőanyagkészlet tőkeköltségét:

$$\frac{I_w q\, n}{E_n} \qquad /4.1/$$

Egy másik tagot viszont levonásba vettünk, nevezetesen a kivont plutonium jóváirását:

$$\frac{W_{Pu}\, n}{E_n} \qquad /4.2/$$

3. táblázat

Példa egy gázhütéses, természetes uránfütésü, grafitmoderátoros reaktorokkal felszerelt atomerőmü technikai üzemi adataira. /az idézett számok csak közelitő pontosságuak/

Termikus teljesitmény	1070 MW	Urániumtöltés	500 tonna
Beépitett elektromos teljesitmény	360 MW	CO_2 hőmérséklete: reaktor bemeneténél	200°C
		reaktor kimeneténél	400°C
Netto elektromos teljesitmény	300 MW	CO_2 áramlási körben való nyomása	10 ata
A teljes hatásfok	28 %		
Az erőmü fogyasztása	60 MW		

Gőz-paraméterek:

nagynyomásu gőz:	nyomás	40 ata
	hőmérséklet	370 °C
kisnyomásu gőz:	nyomás	10 ata
	hőmérséklet	350 °C
fütőanyagelégési fok:		3000 MWnap/tonna

4.1. A /2.1/ képlet első tagjának /lásd 2.2/ kiszámitásában a legsulyosabb problémát az I beruházási költségek meghatározása jelentette. Végül is feltéve, hogy a beépitett kW-kénti beruházási költség 110 font, az importált anyagok és felszerelések a teljes beruházás 15 %-át alkotják s megfelelő átszámitási tényezőket használunk, a lengyel körülményeknek megfelelő 1 kW-ra eső beruházási költség 8212 zlotyra tehető, s a teljes beruházási költség 2956 x 10^6 zlotyra.

Az első töltésnek megfelelő /4.1/ tag kiszámitásának céljából kétféle fütőanyagárat vettünk figyelembe:

1/ Az importált anyag árát /20 font vagy 2360 zloty kg-ként/;
2/ a hazai 3720 zloty/kg árat /hozzávetőleges előállitási költség/.

A fütőanyagkészletet /tényleges fütőanyagtöltés, a raktározott friss fütőanyag, a reaktorból kivett és a reprocesszáláshoz hütött fütőanyag összegét/ 550 tonnára becsüljük.

A /2.2/-ben s a /4.1/-ben szereplő többi mennyiséget ugyanakkorának vesszük, mint a hagyományos erőműveknél, vagyis $q = 0{,}07$, $n = 20$ év, $n_z = 2$ év, s a generáljavitások évenkénti költsége a teljes beruházás 2 %-a.

A teljes nettó elektromos energiatermelés /a beépitett teljesitmény-igénybevételének évi óraszámától függően/:

4000 óra/év	24×10^9 kWóra
5000 "	30×10^9 kWóra
6000 "	36×10^9 kWóra
7000 "	42×10^9 kWóra

4.2 A /2.1/ második tagját, a nukleáris fütőanyagfogyasztást, ugyanazon két alternativ fütőanyagárral számitottuk, mint a fütőanyagkészlet esetében; a fütőanyag elégetési fokát szintén 3000 MWnap/tonnának s a tiszta hatásfokot 28 %-nak vettük. /Lásd 3. táblázat./

4.3 Az előzmények hiányzanak ahhoz, hogy a plutonium-jóváirás pontos értékét megkaphassuk /lásd 4.2 képlet/. Ilyen körülmények közt a szerzők kénytelenek voltak feltételezni,hogy ez az érték ugyanakkora lesz Lengyelországban, mint az Egyesült Királyságban; igy - néhány brit forrás becslése szerint - a szóbanforgó erőmü teljes élettartama alatti plutoniumjóváirás a fütőanyag árának 30 %-át éri el. /Az utóbbit a világpiaci árnak megfelelően számitva./

4.4 A /2.1/ képletnek a különböző fenntartási költségekre vonatkozó utolsó tagjánál ugyanazon tényezőket fogadtuk el, mint a hagyományos erőmünél.

4.5 Az emlitett feltételeken alapuló számitások eredményeit a 4. táblázat mutatja.

4. táblázat

Természetes uránfütésü grafitmoderátoros gázhütésü reaktorokkal felszerelt atomerőmü elektromos energiatermelésének költsége /grosz per nettó kWóra/

Teljes költségkomponens	Import fütőanyagár T_i				Hazai fütőanyagár T_i			
	4000	5000	6000	7000	4000	5000	6000	7000
Beruházási költs.	44,00	35,10	29,30	25,10	48,10	38,50	32,10	27,50
Fütőanyagköltségek	11,70	11,70	11,70	11,70	18,40	18,40	18,40	18,40
Plutoniumjóváirás	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50	3,50
Nettó fütőanyagköltség	8,20	8,20	8,20	8.20	14,90	14,90	14,90	14,90
Egyéb üzemi költségek	2,10	1,67	1,39	1,20	2,10	1,67	1,39	1,20
Összesen:	54,30	44,97	38,89	34,50	65,10	55,07	48,39	43,60

5. Következtetések

A fenti számitások nyomán - bár oly feltevéseken alapulnak, amelyeket jelenleg nem lenne könnyü igazolni - megfontolásaink célját illetően sok általános következtetést vonhatunk le.

Az első és nagyon lényeges következtetést az üzemeltetési költségekkel kapcsolatban vonhatjuk le /beleértve a fütőanyagfogyasztást is/. Nagyon valószinü, hogy ez az összeg /netto kWóránként/ atomerőmünél kisebb lenne, mint egy hagyományos, még ha az országunkban előállitott, viszonylag költséges fütőanyagot használjuk is. A különbség nagyon lényeges lehet, megütheti a 14 grosz/kWórát is /a plutoniumjóváirást figyelmen kivül hagyva/; e különbség tényleges értéke attól függ, hogy melyik szénárat választjuk: a kitermelésit vagy az exportárat.

Ebben a helyzetben várhatjuk, hogy az atomerőmüvek szénfütésü "kortársaiktól" az alapfogyasztás kielégitését vállukra veszik. Igy e két erőmüfajtából álló energiahálózatban az atomerőmüvek beépitett kapacitását egész élettartamukra vonatkozólag nagyobb óraszám mellett veszik igénybe, mint a hagyományos erőmüvekét. Ezért indokolt, ha a kétféle erőmü /nukleáris, ill. hagyományos/ termelési költségeit nem ugyanazon évi teljesitményóraszám mellett hasonlitjuk össze, hanem igénybevételüknek megfelelően. Igy például, ha a hagyományos erőmünél 4 000 és 5 000 órát tételezünk fel évente, az atomerőmünél ennek megfelelően például 5 000 és 6 000 óra/év tehető fel és a termelési költségeket ezen az alapon vethetjük össze.

E számitási eljárásunk egyáltalán nem kedvez az atomenergiának. Ilyen körülmények közt az energia összes költsége közti különbség /a hagyományos erőmüvek javára/ meglepően kicsinynek látszik, - ha a szén export-árával számolunk, e különbség 4-8 grosz/kWórára rúg a különböző alternativák szerint. Az az ár tehát, amelyet fizetnünk kellene az új technika elsajátitásáért, nem látszik túl nagynak.

Meg kell jegyeznünk, hogy már az első atomerőművek is sikeresen vehetik fel a versenyt a hagyományosokkal, ha sikerül a nukleáris üzemanyagtermelés lengyelországi árát a jelenlegi világpiaci szintre leszoritani, vagy ha a plutonium iránti állandó kereslet indokolttá teszi az atomerőművek évi 7 000 órás kihasználását 20 éves élettartamuk egészén át.

A szerzők jelenleg nem rendelkeznek további olyan adatokkal, amelyekre a kétfajta erőmű termelési költségeinek egyéb vonatkozású előbecsléseiket alapozhatnák. Kétségtelennek látszik azonban, hogy az atomenergia ipari mértékkel mérve, fejlődésének kezdeti szakaszában lévén, nagy tökéletesedési lehetőségekkel rendelkezik, s ezek azt eredményezhetik, hogy az energiatermelés költségei talán a hagyományos széntüzelésü erőmüvek költségeinek szintje alá süllyedhetnek.

Forditotta: Illy József

A NUKLEÁRIS VILLAMOSENERGIA- ÉS HŐENERGIAFEJLESZTÉS GAZDASÁGI HELYZETE

Karl M. Mayer

A II. Genfi Konferencia A/CONF.15/P/2163 számu cikke

Az Atomenergia Békés Felhasználásának Első Nemzetközi Konferenciája alkalmával /Genf, 1955/ a szerző bemutatta "Az atomenergia gazdasági lehetősége" cimü cikkét /: P/475 :/

Az 1955-ös cikk az 1948 és 1954 közötti időszakban a szerző hatéves gazdasági kutatás eredményeit összegezte. Jelen cikk az atomenergia területén 1955-1958 elejéig folytatólag végzett gazdasági kutatómunka eredményeivel foglalkozik.

E gazdasági tanulmányok eredményeit arra szánták, hogy felhasználják /1/ az állami vezetők atomenergia-programok kifejlesztésere /2/, az egyes iparágak jövőbeni fejlesztésének tervezésére /3/, a reaktor-gyártó cégek a jövőbeni nukleáris energia-piacok lehetőségeinek értékelésére, végül /4/ az egyes reaktortervezők is, amennyiben adatokat nyerhetnek arra nézve, hogy milyen igényeket kell kielégiteni a reaktornak ahhoz, hogy nagy számban találjon vevőre.

Célkitüzéseink

A jelenlegi cikk eléggé széles területet ölel fel, mivel megkiséreljük, hogy néhány oldalon beszámoljunk, több, az utolsó három négy évben végzett átfogó tanulmány legfontosabb eredményeiről. Jóllehet az 1955-1958-as időszakban befejezett tanulmányok az energia háztartási és kereskedelmi célokra, szállitásra, ipari célokra és villamosenergia gerjesztésre vonatkozó felhasználásával foglalkoztak, a cikkünkben szereplő eredmények elsősorban az atomenergia villamosenergia és ipari hőenergia fejlesztésére történő lehetséges felhasználásával foglalkoznak.

Cikkünk tárgykörét talán legeredményesebben grafikus uton határozhatnánk meg. Az 1. ábrából láthatjuk az energiagazdaság fontosabb szektorait és azokat a szektorokat, amelyeket cikkünkben részletesen tárgyalunk. Bár az 1. ábrában megadott adatok speciálisan egy bizonyos esetre, az Egyesült Államok 1947-es energiatermelésére és fogyasztására vonatkoznak, ez a grafikon alkalmas cikkünk tárgykörének meghatározására.

Amint már korábban rámutattunk, a cikk által felölelt tanulmányok nem foglalkoznak részletesen azokkal az energiagazdasági szektorokkal, amelyeket az 1. ábrában a háztartási-kereskedelmi, vagy szállitási oszlopok képviselnek. A tanulmányok megkisérelték felbecsülni a gazdasági helyzetet a világ atomenergia fejlődése szempontjából a villamosenergia és az ipari hőenergia fejlesztése területén.

Tárgyalásunk módszere

A cikkünkben ismertetett tanulmányoknál kidolgozott tárgyalási módszer egyrészt az Egyesült Államokban termelt összes energiának a felhasználási módok szerinti eloszlásának adatain, másrészt az atomenergia felhasználási lehetőségeinek felmérésén alapszik. Röviden megvizsgáltuk az energiahordozó anyagok különféle formáit az 1. ábrán megadott szektorokban. Ezenkivül figyelembevettük az atomenergia jellemző tulajdonságait /a jelenlegi technológia keretein belül/ és néhány előzetes megállapitást tettünk.

Amint már a Genfben 1955-ben közzétett cikkben rámutattunk, az atomenergia villamosenergia gerjesztésére szolgáló felhasználásának vizsgálatát tekintettük logikusan az első lépésnek, a rendelkezésre álló információ alapján. Több tanulmányt végeztünk, s az eredményeket a P/475 számu cikkben ismertettük. A szóbanforgó cikk elkészitése óta az Egyesült Államok villamosenergiaipari statisztikáin alapuló részletesebb elektromos energetikai tanulmányokat végeztünk.

Ezenkivül az Egyesült Államokra vonatkozó tanulmányokat kibővitettük olymódon, hogy az magában foglalja az atomenergia lehetséges piacának elemzéseit a világ különböző országainak elektromos energiagazdálkodásában.

Az Egysült Államokra vonatkozó és a nemzetközi villamosenergetikai tanulmányunk befejezése után áttértünk az atomenergiának ipari hőenergiává való átalakitásának problémájára. Az ipari hőreaktorok iránti keresletnek részletes elemzése után megkisérelj ük a vizsgálódásokat nemzetközi viszonyokra kiterjeszteni. Nagyon meglepő volt, hogy a nukleáris fejlesztésű hőenergia iránt ugyanolyan kereslet mutatkozik, mint a nukleáris eredetű energia iránt.

Bár megvizsgáltuk röviden az atomenergia lehetséges felhasználását az olyan fogyasztó szektorokban, mint például a háztartási, kereskedelmi és a közlekedés-szállitási területek, a szerző ezekben a szektorokban nem végzett részletes tanulmányokat, hanem figyelmét a villamosenergia fogyasztó és ipari hőfelhasználó szektorokra /lásd: 1.ábra/ forditotta. Logikai szempontból ugyanis ezek látszanak a legvalószinűbb piacoknak az atomenergia korai felhasználása szempontjából.

Az egyes tanulmányokban alkalmazott analitikai eljárás lényegileg azonos volt. Az egyes tanulmányok során az alábbi alapvető kérdéseket vizsgáltuk meg:

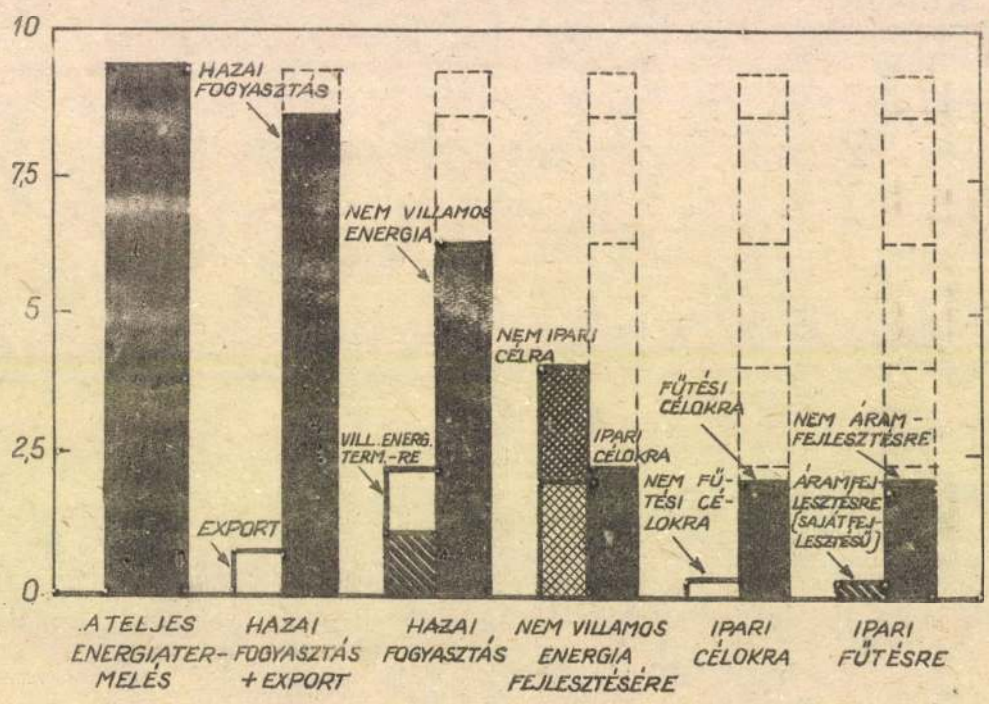
1. A villamosenergia- és hőenergiafelhasználásnak tanulmányozása az árútermeléshez és a szolgáltatások termeléséhez viszonyitva.

2. Az árúk és szolgáltatások fogyasztásának előirányzata a következő évekre.

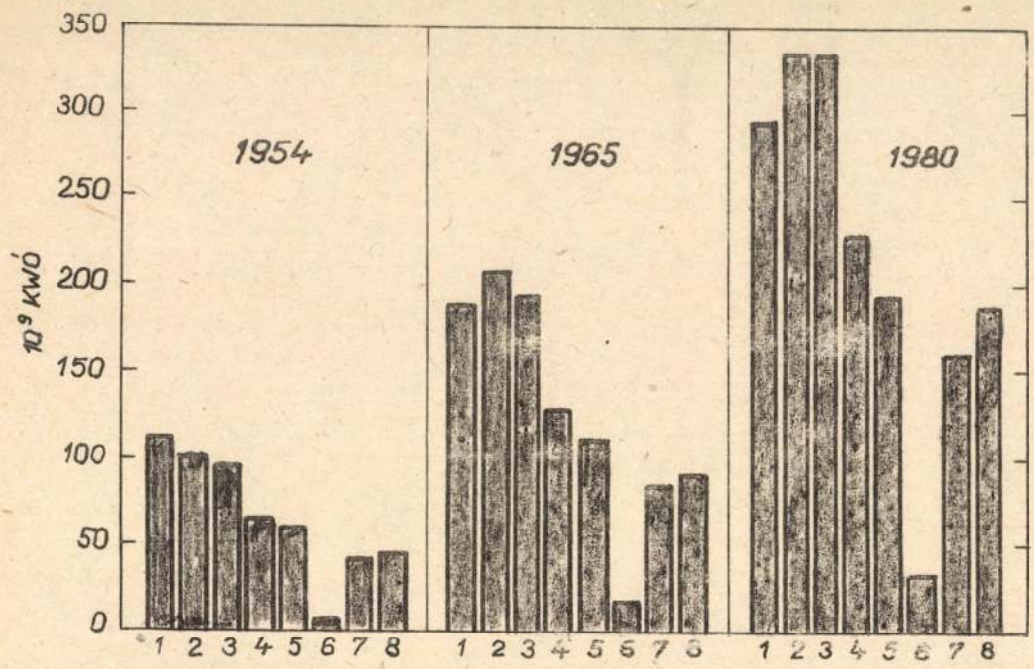
3. A jövőbeni villamosenergia- és hőenergiaszükséglet levezetése /az energiaforrásokra való tekintet nélkül/ a gyártandó javak és szolgáltatások alapján.

4. Az ellátási oldal elemzése azon költségszintek felbecslése céljából, amelyeken mindenfajta villamos- vagy hő-

AZ ENERGIAFORRÁSOK FELHASZNÁLÁSA AZ EGYESÜLT ÁLLAMOKBAN 1947-BEN.



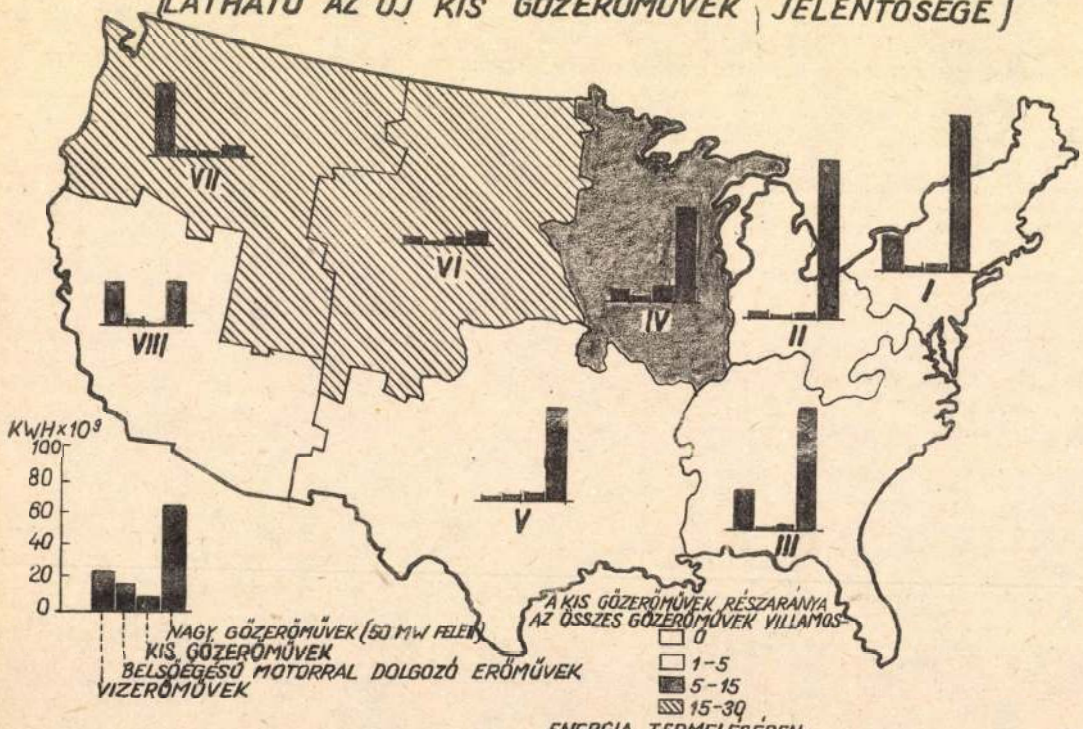
1. ÁBRA



A MULTRA VONATKOZÓ TÉNYSZÁMOK ÉS A JÖVŐRE VONATKOZÓ TERVSZÁMOK A VILLAMOSENERGIA FOGYASZTÁS VONALÁN AZ EGYESÜLT ÁLLAMOKBAN. FPC TERÜLET SZERINTI RÉSZLETEZÉSBEN

2. ÁBRA

AZ EGYESÜLT ÁLLAMOK 1955 ÉVI ELEKTROMOS ENERGIATERMELÉSE AZ ERŐMŰVEK TIPUSA SZERINT AZ EGYES FPC TERÜLETEKEN.
(LÁTHATÓ AZ UJ KIS GŐZERŐMŰVEK JELENTŐSÉGE)



3. ÁBRA

energiaszükséglet kielégitést nyer; eközben megfelelően tekintetbe vesszük az olyan tényezőket, mint pl. az erőmű tipusa, az erőmű mérete, az erőmű kora, a fűtőanyag tipusa és földrajzi elhelyezése minden egyes megvizsgált jövőbeni időszakra vonatkozólag.

5. Az atomenergia vagy villamosenergia iránti kereslet kiszámitása minden egyes költségszintre és nukleáris energiaipar gazdasági fejlődése tervezetének elkészitése az előre látható nukleáris és hagyományos technológiák alapján.

FONTOSABB EREDMÉNYEK

A jelenlegi tanulmányok fontosabb eredményei egy sor grafikon segitségével foglalhatók össze. Az adatközlés egyszerűbbé tétele céljából az eredményeket két részben adjuk meg. Az első rész az atomenergia fejlesztése világgazdasági lehetőségeinek elemzésével, a második pedig reaktortermelte ipari hő iránt mutatkozó kereslettel foglalkozik. Helyszűke miatt csupán a fontosabb eredményeket ismertethetjük és futólag emlékezhetünk meg az olyan fontos kérdésekről, mint pl. a számitás alapjául szolgáló feltételezések, a felhasznált adatok természete vagy az alkalmazott számitási módszerek.

A gazdasági helyzet az atomenergia felhasználása szempontjából

Az atomenergia-piac méretének és természetének a következő évekre vonatkozó értékelése alkalmával figyelmünket elsősorban az Egyesült Államok, másodsorban pedig az egész világ villamosenergia-gazdálkodásának jellemzőire forditottuk. Az Egyesült Államok energiagazdaságára vonatkozóan elvégzett részletes elemzés fontosabb eredményeit úgy adtuk meg, hogy azok a talált eredmények természetének feltüntetésén túl tükrözzék az alkalmazott analitikai tárgyalási módot, a felhasznált adatok jellegét és az alkalmazott számitási módszereket is.

Az Egyesült Államok energiagazdasági szempontjait magukbafoglaló tanulmányokban megadtuk a /1/ múltbeli és tervezett energiafogyasztás elemzését földrajzi eloszlás szerint; /2/ az elektromos energiatermelés megtervezését az erőmű típusa, az erőmű kapacitása és az erőmű földrajzi fekvése szerinti bontásban; /3/ az előirányzott villamosenergiatermelési költségek elemzését a konvencionális erőművekre vonatkozóan; /4/ a nukleáris fejlesztésű elektromos energia költségeinek elemzését és előkalkulációját; /5/ a nukleáris fejlesztésű elektromos energia iránt várható kereslet elemzése a szóbajövő költségek függvényeként; és végül /6/ az atomenergetika jövőben várható fejlődésének ütemét, a megadott előkalkulációk és tervezetek alapján.

A villamosenergiafogyasztás elemzése

Amint a 2. ábrán látható, várható, hogy az 1980-ig terjedő időszakban az elektromos energia fogyasztása az Egyesült Államok egész területén növekszik, a növekedés üteme azonban az egyes területeken más és más lesz. Pl. várható, hogy az energiafogyasztás a 2. vagy 3. számú FPC-területen /az FPC-területek meghatározására lásd: a 3. ábrát/ 1965-ben magasabb lesz, mint az 1.számú területen.

De más súlyponteltolódások is várhatók a következő 10-20 évben.

Az Egyesült Államok villamosenergiafogyasztása csökkenő ütemben fog növekedni. Mig 1955-ben a fogyasztás $624{,}9 \times 10^9$ kWó volt, várható, hogy 1965-ben ez az érték 1070×10^9 kWó-ra, 1980-ban pedig 1.795×10^9 kWó-ra fog emelkedni.

Az itt említett és a 2. ábrán megadott fogyasztási tervszámok "módositott FPC-becslések"-nek tekinthetők, s ezeket valamivel részletesebben tárgyaljuk egy újabb cikkünkben.+

+ Mayer,K.M. Nuclear Power and the World Market; Studies in Business Policy No.83, National Industrial Conference Board, New-York, 1957.

Egy igen részletes, tőlünk függetlenül, Teitelbaum által készitett elemzés, az FPC-csoport által előkészitett tervszámokhoz hasonló tervszámokat eredményezett. Mind ezekben, mind pedig egyéb energiafogyasztási tanulmányokban részletesen foglalkoztak a villamosság kereskedelmi, háztartási, ipari és egyéb sajátságos felhasználási szektoraival, mind a múltra, mind a jövőre vonatkozóan, az ország valamennyi vidékére kiterjedően, a teljes villamosenergia gazdálkodási területen.

A villamosenergiatermelés elemzése

A múltbeli és a jövőben várható villamosenergiatermelést az Egyesült Államokra vonatkozóan a földrajzi fekvés, az erőműméret, az erőműtipus szerinti bontásban tanulmányoztuk.

A 3. ábra összefoglalja az 1955-ben az egyes FPC-területeken az egyes erőműtipusok által előállitott energia elemzését. Amint a 3. táblázatban megadott értékekből láthatjuk, az Egyesült Államok keleti részein az 1955-ben előállitott villamosenergia nagyrészét nagy gőzerőművekben állitották elő, mig a vizerőművek a nyugati területeken előállitott energia túlnyomó részét biztositották. Ezenkivül a 3. ábráról leolvasható, hogy mely területek azok, ahol a nagy gőzerőművek mellett a kisebb gőzerőművek összetermelésben eltörpülnek. /I., II., III., V., és VIII. sz. területek/.

A 4. ábra összegezi az Egyesült Államok teljes villamosenergiatermelését az erőműtipusok szerinti bontásban 1954-re vonatkozólag és 1960-ra, 1965-re, 1970-re, 1975-re és 1980-ra. A 4. ábrán összegezett tervszámok egyik alapvető feltételezése az, hogy az atomenergia csupán elenyésző szerepet fog játszani az Egyesült Államok energiapiacában a következő években.

A konvencionális-fejlesztésű villamosenergia költségelemzése

A nukleáris energteika hátteréül szolgáló gazdasági

viszonyok tanulmányozása során azt találták, hogy a villamosenergia hagyományos módon történő előállitási költségeinek alapos elemzése igen fontos. Az ilyen elemzések eredményei később előnyösen felhasználhatók a termelési és fogyasztási tanulmányok eredményeivel kapcsolatban.

Az előállitási költség-eloszlásokat gőzerőművekre, vizerőművekre és belsőégésü motorokkal müködő erőművekre vonatkozólag vezettük le az Egyesült Államok valamennyi földrajzi területére, mind a régi /vagy müködő/ centrálékra, mind a most megépitendő uj erőművekre vonatkozólag.

A kis- és nagyméretü gőzerőműveket különállóan tanulmányoztuk. A vizerőműveket vizgyüjtő területenként tanulmányoztuk. Az Egyesült Államok mindegyik területén tanulmányoztuk a belsőégésü motorokkal üzemeltetett erőműveket. Az eredmények jellegének illusztrálása céljából az 5. ábrán egy sorozat költségeloszlási görbét mutatunk be hőerőművek esetére az 1. sz. FPC területre vonatkozóan az 1960-as évre.

Ezeknek és hasonló eloszlási görbéknek a levezetése céljából az Egyesült Államokban 1945 és 1957 között épitett minden egyes erőmü /összesen 187 erőmü/ költségeit részletesen tanulmányoztuk. Hasonló eloszlási görbéket szerkesztettünk mind a nyolc területre vonatkozólag 1960-ra, 1965-re, 1970-re, 1975-re és 1980-ra /gőzerőművekre, vizerőművekre és belsőégésü erőgépekkel dolgozó erőművekre/. Megfelelő analitikai költség-igazitást hajtottunk végre a várható pótlólagos beosztások, fütőanyagköltség növekedések, a specifikus hőfejlesztés csökkenésének és erőmü kiöregedések figyelembevétele céljából.

Megjegyzendő, hogy a hagyományos villamosenergia-előállitási költségek összetételében vagy szintjében a következő években jelentős változások nem várhatók. Ezzel kapcsolatban érdekes lehet néhány költségirányzat megvizsgálása, amelyeket a 187 uj üzemtől kapott adatok alapján állapitottunk meg. A 6. ábra egy elemzés-sorozatot összegez és azt bi-

zonyitja, hogy az áramfejlesztési költségek igen kismérvü csökkenése, az egyes erőművek kapacitásának növekedése és a terhelési tényező növekedése várható a tanulmányozott időszakban. A 7. ábra az előállitási költségeket a specifikus hőteljesitmény /termikus hatásfok/ függvényében összegezi. Ezek és az egyéb elemzések igen kevés alapot nyujtanak arra, hogy a következő években a hagyományos költségek lényeges csökkenése /vagy növekedése/ volna várható.

Az áramfejlesztési költségeknek egyik részletesebb és mélyebbenjáró tanulmánya során, többszörös korrelációs analizist végeztünk. A 143 erőmü mindegyikénél megadott hét költségtényezőre vonatkozóan elemeztük az áramfejlesztési költségeket. Más szavakkal a gerjesztési költséget függő változónak tekintve, 143 megfigyelés alapján, hét független változó egyidejü vizsgálatával többszörös korrelációs elemzést hajtottunk végre. A szóbanforgó elemzés eredményeinek egyik része az 1. táblázatban látható, amely megadja a leszármaztatott egyszerü korrelációs együtthatók mátrixát.

A II. táblázat összefoglalja a tanulmányozott 143 gőzerőmü mintájának jellemzőit.

1. táblázat

Az elektromos energetikai vizsgálatok során nyert egyszerű korrelációs együtthatók mátrixa

N = 143

	Beruházási költségek $/kW	Erőmű kapacitás kW	Terhelési tényező %	Termikus hatásfok BTU/kWó	Fűtőanyag költség cent/mill.BTU x/	Nem fűtőanyag-költségek ezred dollár/kWó	Növekmények /szám/ Increments/
1	2	3	4	5	6	7	8
1 Teljes költség mill/kWó	-,845	-,576	-,395	-,456	-,675	-,789	-,247
2 Beruházási költségek $/kW		-,536	-,648	-,333	-,377	-,606	-,268
3 Erőmükapacitás kW			-,337	-,814	-,044	-,725	-,512
4 Terhelési tényező %				-,490	-,354	-,616	-,174
5 Termikus hatásfok BTU/kWó					-,037	-,676	-,276
6 Fűtőanyag-költség $cent/10^6 BTU$						-,337	-,008
7 Nem fűtőanyag költségek mill/kWó							-,347

x/ BTU = British Thermal Unit = 0,252 kgkal.

2. táblázat

Az erőmü-minta jellemzői

Változó	Átlagérték	Parciális korrelációs együttható
1	2	3
/1/ Teljes áramfejlesztési költség	9,68 ezred-dollár per kWó	
/2/ Beruházási költség	183,00 dollár/kW	r12.345678 = 0,516
/3/ Erőmü-kapacitás	148.87 MW	r13.245678 = 0,0014
/4/ Terhelési tényező	71.8 %	r14.235678 = 0,022
/5/ Termikus hatásfok	11 808 BTU/kWó	r15.234678 = 0,305
/6/ Fütőanyagköltség	24,39 cent/10^6BTU	r16.234578 = 0,319
/7/ Nem tüzelőanyag költségek	0,91 mill/kWó	r17.234568 = 0,156
/8/ Szerkesztési növekmények	1,67	r18.234567 = 0,007

A nukleáris eredetü elektromos energia költségei

Cikkünk előző részeiben a tárgyalás elsősorban az áramfogyasztás és áramfejlesztés kérdéseivel, valamint a hagyományos erőművekben történő energiatermelés költségeivel foglalkozott. A következő részekben foglalkozni fogunk a nukleáris erőművekben fejlesztett elektromos energia összetevőivel, a különböző költségtényezők változásainak hatásával, a nukleáris nyersanyagok árának a nukleáris áramfejlesztés költségeihez való viszonyával és az elektromos energiának nukleáris energiaforrásokból való előállitásának várható költségei meghatározásával.

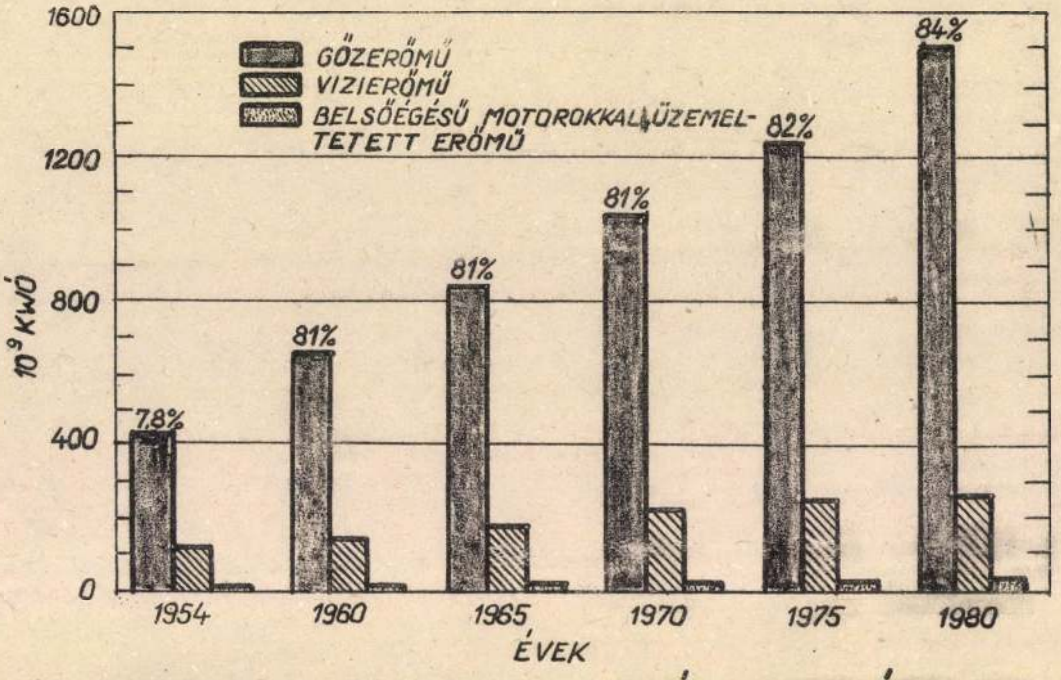
A 8. ábrán láthatjuk egy atomerőmü nukleáris fütőanyag netto költségének egyszerüsitett elemzését. Megjegyzendő, hogy mindhárom esetben négy-négy költségelemet ismertetünk /a plutonium-jóváirás negativ költségelem!/. Minden egyes költségelem-

nél egy-egy ezred dollár/kWó eltérést engedtünk meg az egyes esetek között. Legtöbben, akik ezzel a kérdéssel foglalkoznak, egyetértenek abban, hogy egyezred dolláros eltérés feltételezése indokolt az atomenergia területén napjainkban. Azonban ez az egyik esetről a szomszédosig feltételezett egyezred dolláros költségelem-változás az 1. esettől a 3.esetig 2-8 mi mill/kWó változást eredményez a nukleáris fütőanyag netto költségében. Későbbi tárgyalásunk alkalmával ki fogjuk mutatni, hogy az ilyen változások mennyire döntőek az atomenergia-piac kilátásaira vonatkozó becslések alkalmával.

A 9.ábra segitséget nyujt abban, hogy megtárgyaljuk az elektromos energia nukleáris fejlesztése k ö l t s é g é n e k a nukleáris fejlesztésü elektromos energia á r á h o z való viszonyát. Elképzelhető olyan vélemény is, hogy az állami tulajdonban levő atomerőmüvek tényleges energiafejlesztési költségei szabnák meg az egész országban a nukleáris fejlesztési elektromos energia árát. Azonban a 9.ábrán ismertetett helyzet rövid megvizsgálása alapján megállapithatjuk, hogy az atomenergia árának megállapitása bizonyos, a kérdés lényegéből fakadó nehézségekkel jár.

Jelentse a 9.ábra egy állami tulajdonban levő, besugárzott nukleáris fütőanyagokat reprocesszáló üzem feldolgozási költség contra üzemeltetési tényező görbéjét. Azonnal felmerül a kérdés, hogy ez az állami üzem milyen árakat számitson fel nem-állami megbizók részére végzendő reprocesszálási munkákért. Számolhatna a tényleges üzemeltetési tényezőnek megfelelő átlagos költséggel; de felszámithatnák az üzem optimális terhelése mellett érvényes önköltséget, vagy a kapacitás 100%-os kihasználásakor érvényes reprocesszálási költséget. De ugyanilyen joggal számolhatnának a 9.ábra kihuzott görbéjétől a többlet-termelésre kiszámitható többlettermelési költséggel /szaggatott vonal/ is.

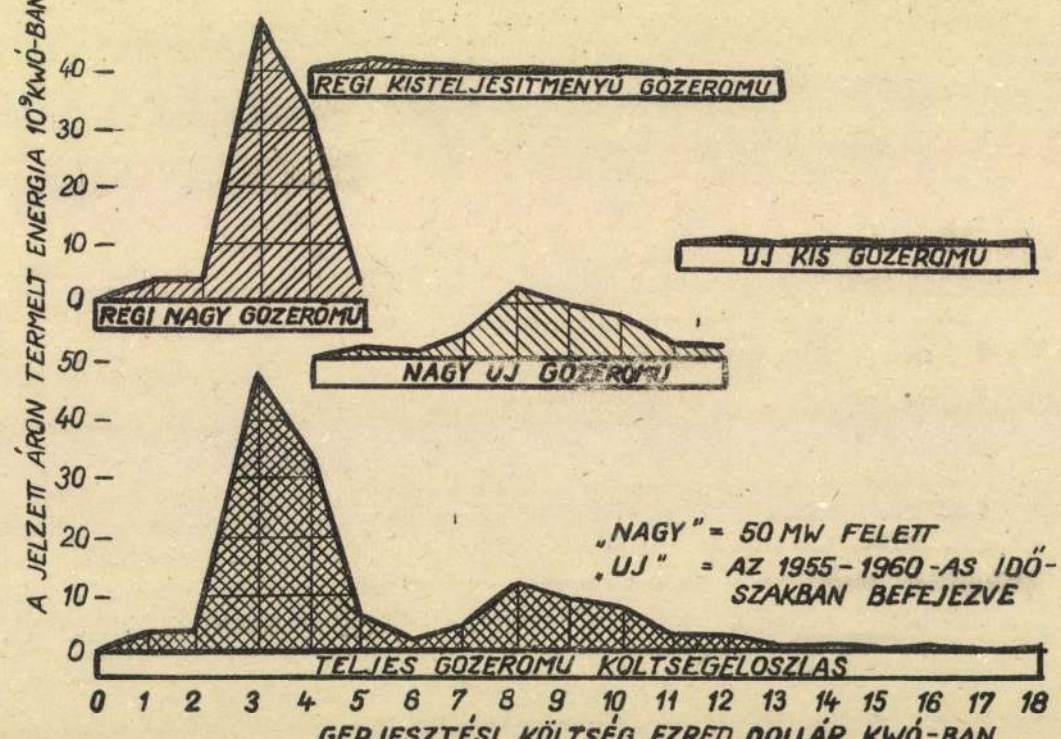
Az atomenergia-költségek meghatározása alkalmával fellépő karakterisztikus nehézségek természetesen azonnal megsokszoro-



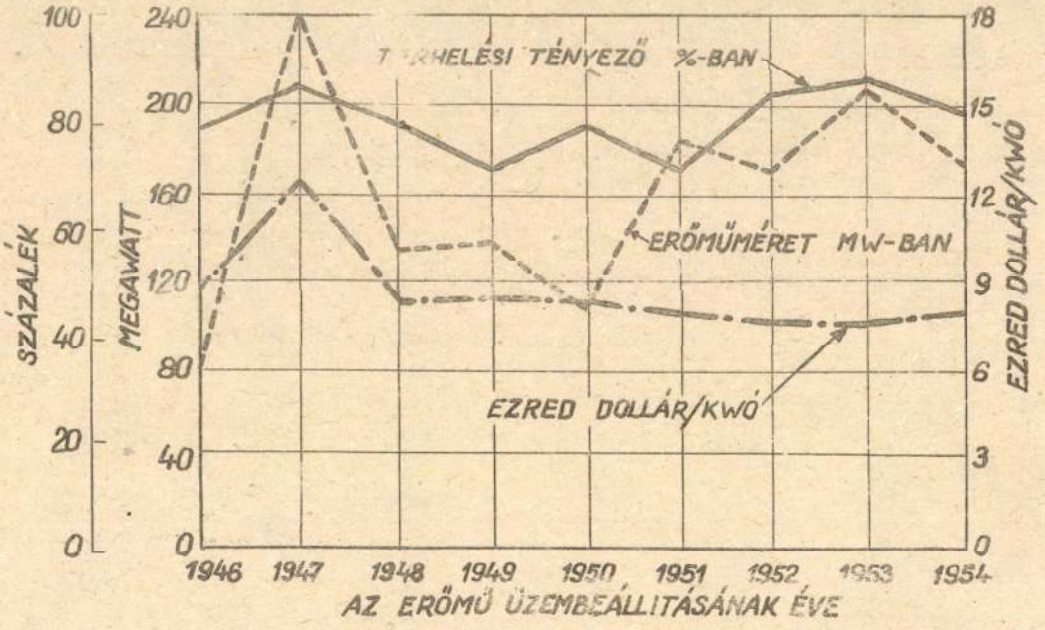
AZ ELEKTROMOS ENERGIAFEJLESZTÉS ELOSZLÁSA AZ ERŐMŰ TIPUSA SZERINT A MULTBAN ÉS JÖVŐBELI ELŐIRÁNYZATA AZ EGYESÜLT ÁLLAMOKBAN.

4. ÁBRA

A HŐERŐMŰVEK FEJLESZTETTE ELEKTROMOS ENERGIA TELJES KÖLTSÉGÉNEK ELOSZLÁSA AZ I. TERÜLETEN 1960-BAN.

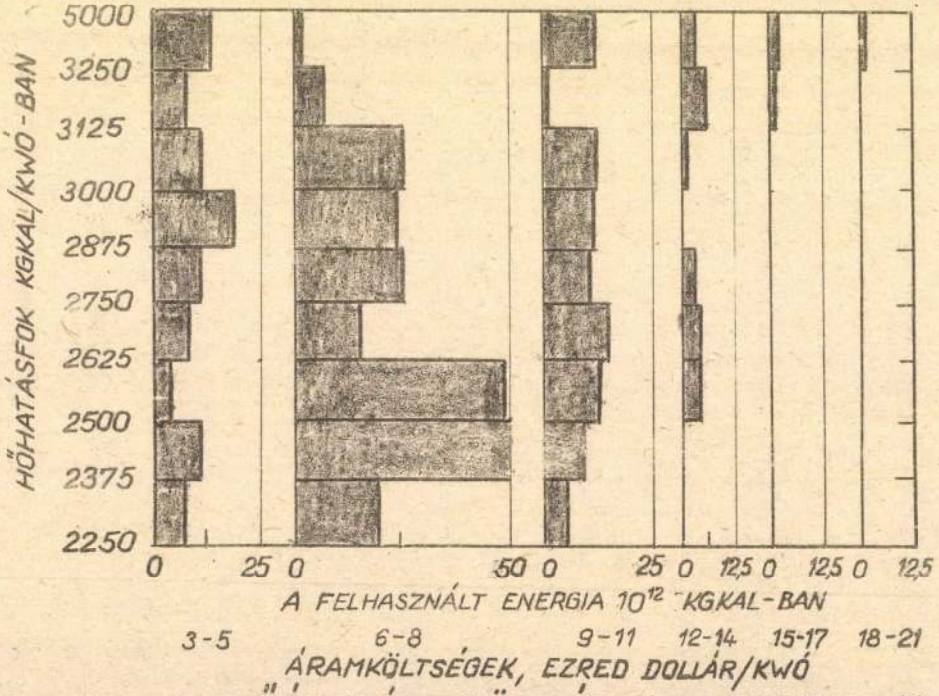


5. ÁBRA



1954-BEN AZ EGYESÜLT ÁLLAMOKBAN 187 GŐZERŐMŰNÉL MEGÁLLAPITOTT ÜZEMELTETÉSI TÉNYEZŐ, ERŐMŰ-MÉRET ÉS ÁRAMFEJLESZTÉSI KÖLTSÉG.

6. ÁBRA



AZ ENERGIA ELŐÁLLITÁSI KÖLTSÉG A TERMIKUS HATÁSFOK FÜGGVÉNYEKÉNT 187 GŐZERŐMŰNÉL (1954)

7. ÁBRA

zódhatnak abban az esetben, ha előre akarjuk megmondani a költségeket és irányzatokat. Az első Genfi Konferencián közzétett cikkek átnézése alapján megállapithatjuk, hogy az utóbbi néhány év alatt igen sokan küzdöttek ezekkel a nehézségekkel. Ezekben a cikkekben található állitások és előkalkulációk értelmezését vettük alapul a 10. ábrán látható nukleáris áramfejlesztési előkalkuláció kiszámitásához. Jóllehet az azóta levezetett ujabb görbék nagyjából ugyanazok, mint a 10.ábrán láthatók, az olvasónak nem kell feltétlenül elfogadnia az összes idáig közölt görbék bármelyikét is; jelen cikkben az atomenergia fejlődésével kapcsolatos világgazdasági helyzettel összefüggő adatok érvényesek lesznek, függetlenül attól, hogy az olvasó melyik atomenergiaköltség-előkalkulációt kívánja elfogadni.

A nukleáris eredetü elektromos energia iránti kereslet az Egyesült Államokban

Tekintettel arra, hogy jelenleg több tényező áll rendelkezésünkre, és 1955 augusztusa óta sok adatot pontosabban meg tudtunk határozni, az Egyesült Államok atomenergia piaca méretének és természetének becslése bizonyos mértékben eltérnek az 1955-ös Genfi Konferenciának P/475 számu dolgozatában szereplő becslésektől.

Azok a tények és számitási eredmények, amelyek 1955 augusztusa után váltak hozzáférhetővé, az előző fejezetekben és a grafikonokon olvashatóak. Ezeket az ujabb adatokat használtuk fel az Egyesült Államok nukleáris fejlesztésü villamosenergia-felvevőképességének becslésére, különböző költségszintekre vonatkozóan, 1965-re, 1970-re, 1975-re és 1980-ra. A 11.ábra az 1965-re levezetett piac-lehetőségeket összegezi.

A 11.ábrán összegezett adatok megadják az atomenergiapiac méreteit /milliárd kWó-ban/ az energiatermelő atomenergia költségének függvényeként. Ezenkivül az 11.ábra megadja a konkurrencia strukturáját, azaz azt, hogy az atomenergiának a következő években az egyes költségszinteken milyen erőmü-

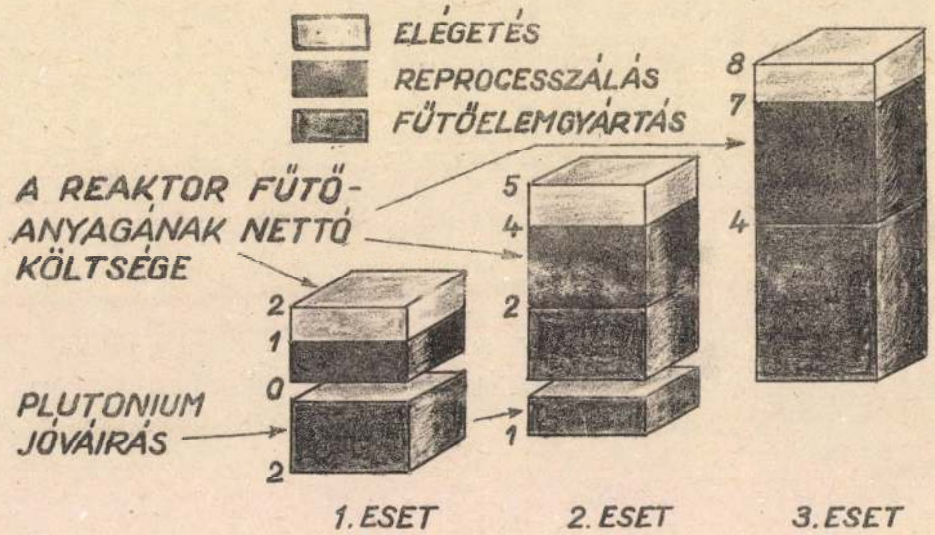
tipusokkal kell számolnia, mint versenytársakkal. A 11. ábra az 1965-re vonatkozólag megadott országos statisztika több száz földrajzi fekvés szerinti, erőmü-kapacitás szerinti, erőmü-életkor szerinti és erőmü-tipus szerinti összefoglalása. Ilyen statisztikára példát korábban az 5. ábrán adtunk meg.

A 11. ábrából láthatjuk, hogy ha a következő években atomenergia kb. 9 ezred dollár/kWó költséggel lenne előállitható, ugy 1965 körül az Egyesült Államokban évente kb. 50×10^9 kWó-nyi nukleáris fejlesztésü elektromos energia találna vevőre. Ebben az időpontban az atomerőmüvek legerősebb versenytársai az uj gőzerőmüvek lesznek. Az atomenergia iránti kereslet azonban mindaddig nem emelkedik rohamosan, amig az atomenergia-költségek 6-8 ezred dollár/kWó tartományba nem szorithatók le.

Előirányzott gazdasági fejlődés az Egyesült Államokban

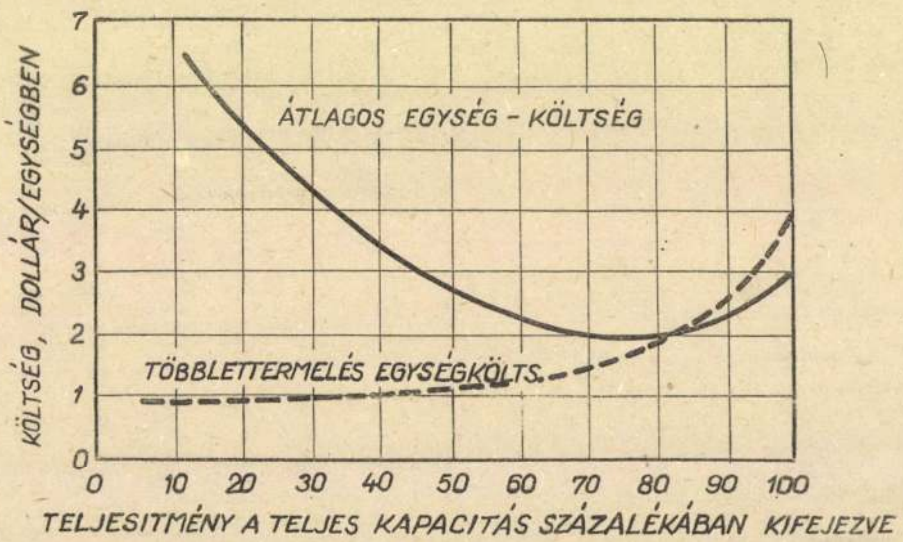
A 2.-tól kezdve a 9. ábráig és a 11. ábrán összegezett adatokból közvetlenül kiszámitható az atomenergia-ipar várható növekedése az Egyesült Államokban, minden egyes feltételezett nukleáris költség mellett. Abban az esetben, ha a 10. ábrát elfogadjuk, mint az atomenergiaköltségek várható alakulását az 1960-1980-as időszakban, megkaphatjuk az atomenergiaipar 12. ábrán látható gazdasági fejlődési görbét.

Még abban az esetben is, ha az atomenergiaköltségek olyan rohamosan és olyan mértékben csökkennek, amint azt a 10. ábrán láthatjuk, a 12. ábrán megadott adatokból nyilvánvaló, hogy a következő évtizedben az Egyesült Államokban az atomenergia-iparnak - ha egyáltalán bármilyen - legfeljebb elenyésző növekedése várható. Számszerüen: az 1965-ben előállitandó villamos energiamennyiségnek nem egészen 1 %-a származik atomenergiából.



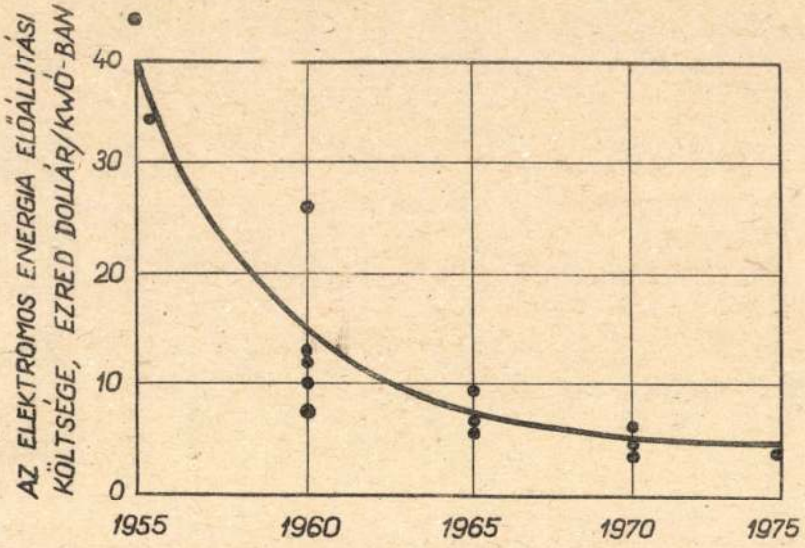
A REAKTOR FŰTŐANYAG NETTÓ KÖLTSÉGÉNEK ELEMZÉSE.
(HÁROM ESETET MUTATUNK BE.)

8. ÁBRA



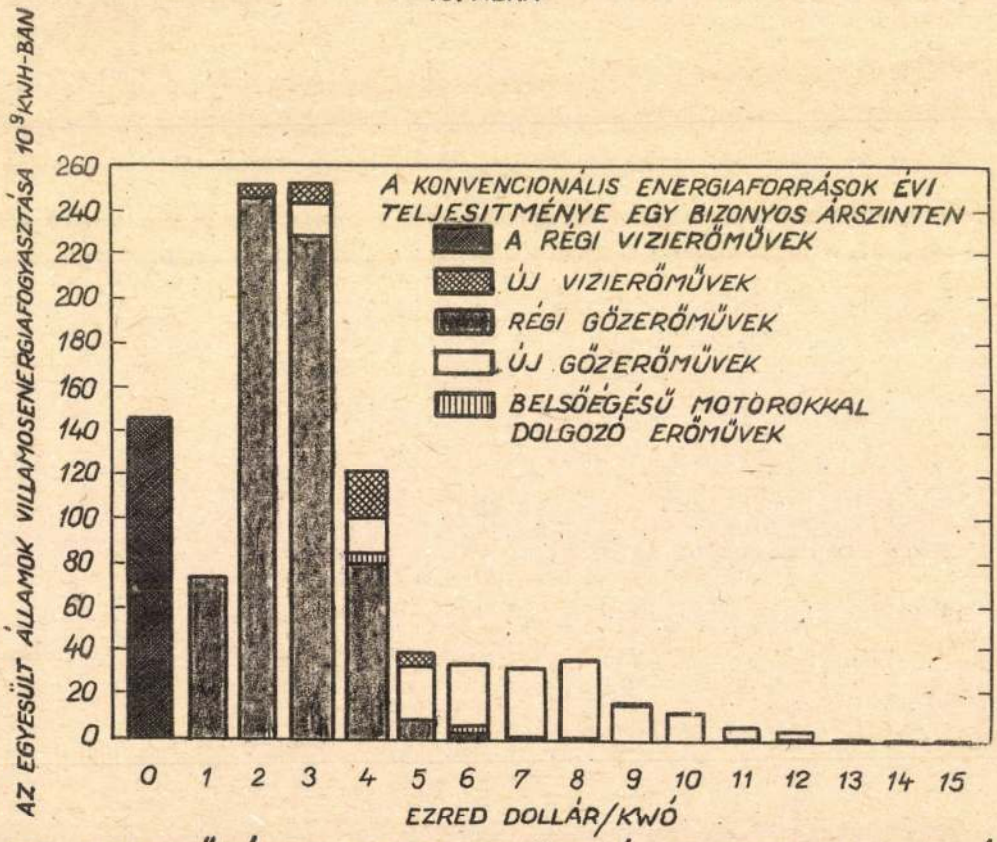
TETSZŐLEGES GYÁR ÜZEMELTETÉSI JELLEMZŐI.

9. ÁBRA



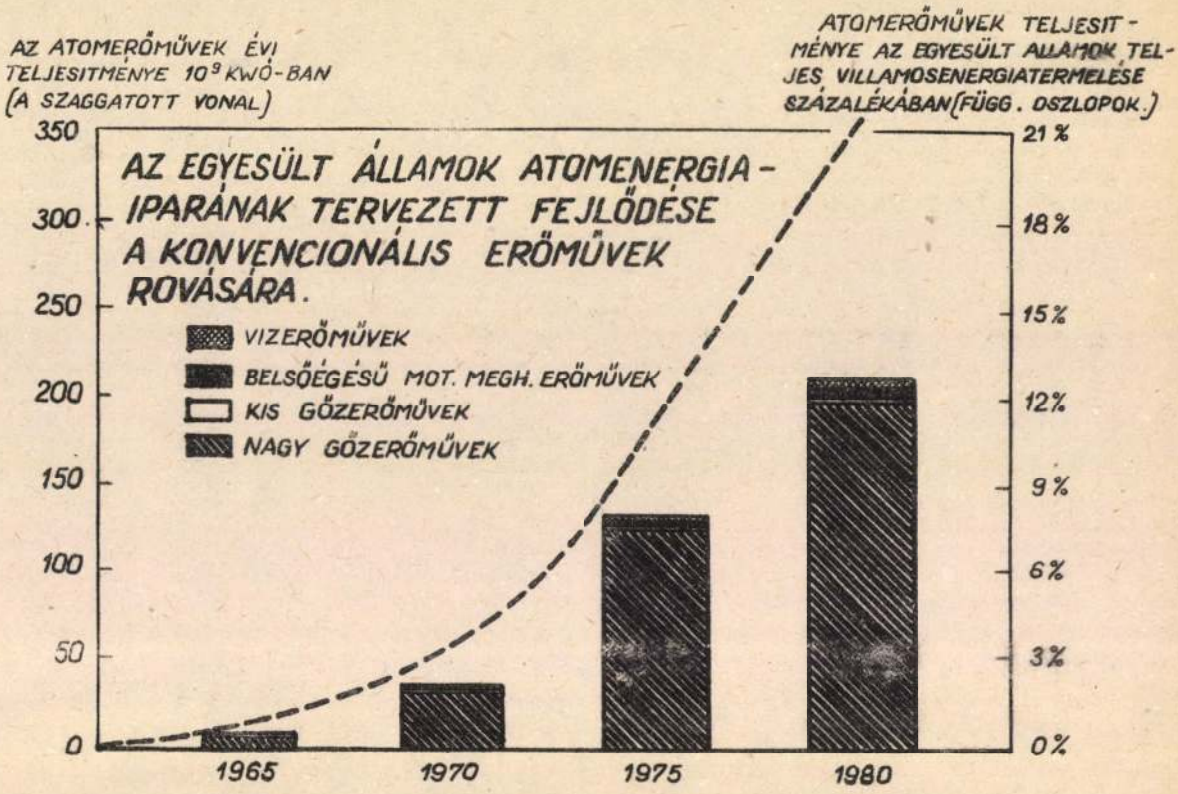
NUKLEÁRIS EREDETŰ VILLAMOSENERGIA KÖLTSÉGE AZ IDŐ FÜGGVÉNYEKÉNT.

10. ÁBRA

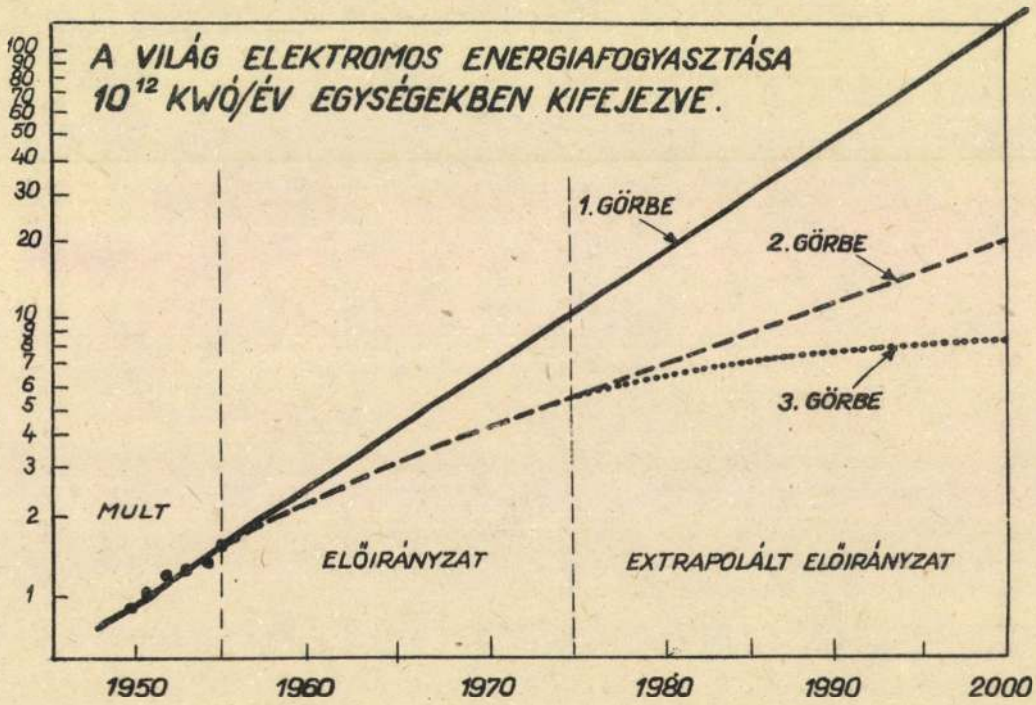


PIAC-LEHETŐSÉGEK AZ EGYESÜLT ÁLLAMOKBAN NUKLEÁRIS EREDETŰ VILLAMOSENERGIA SZÁMÁRA KÜLÖNBÖZŐ ÁRAMFEJLESZTÉSI KÖLTSÉGEK MELLETT 1965-BEN.

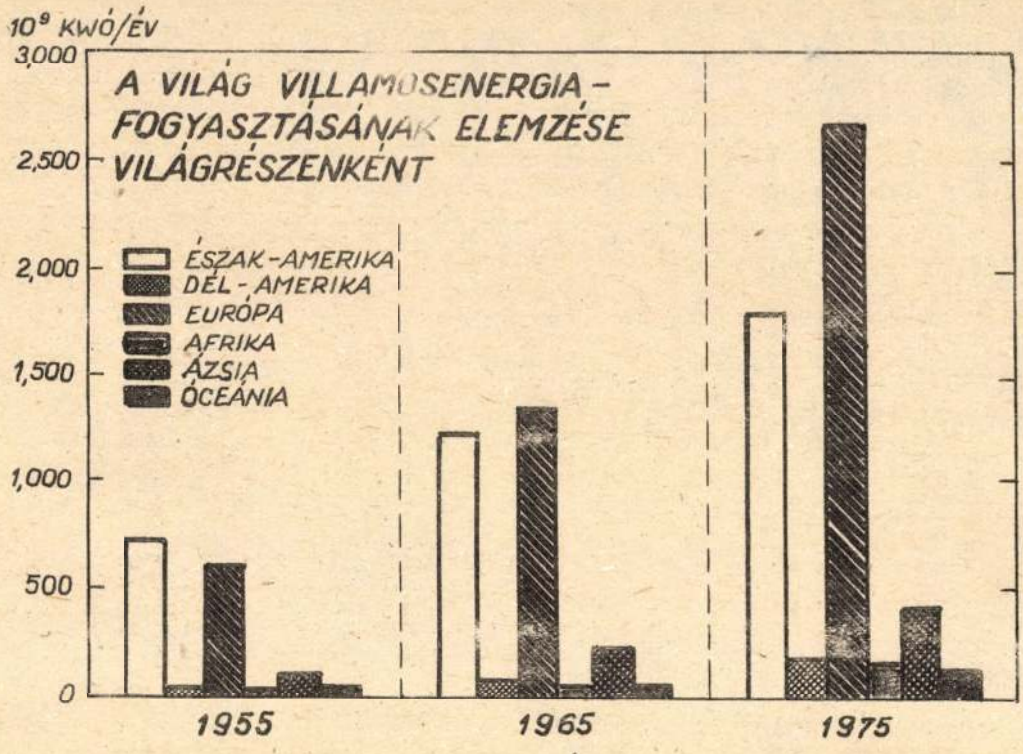
11. ÁBRA



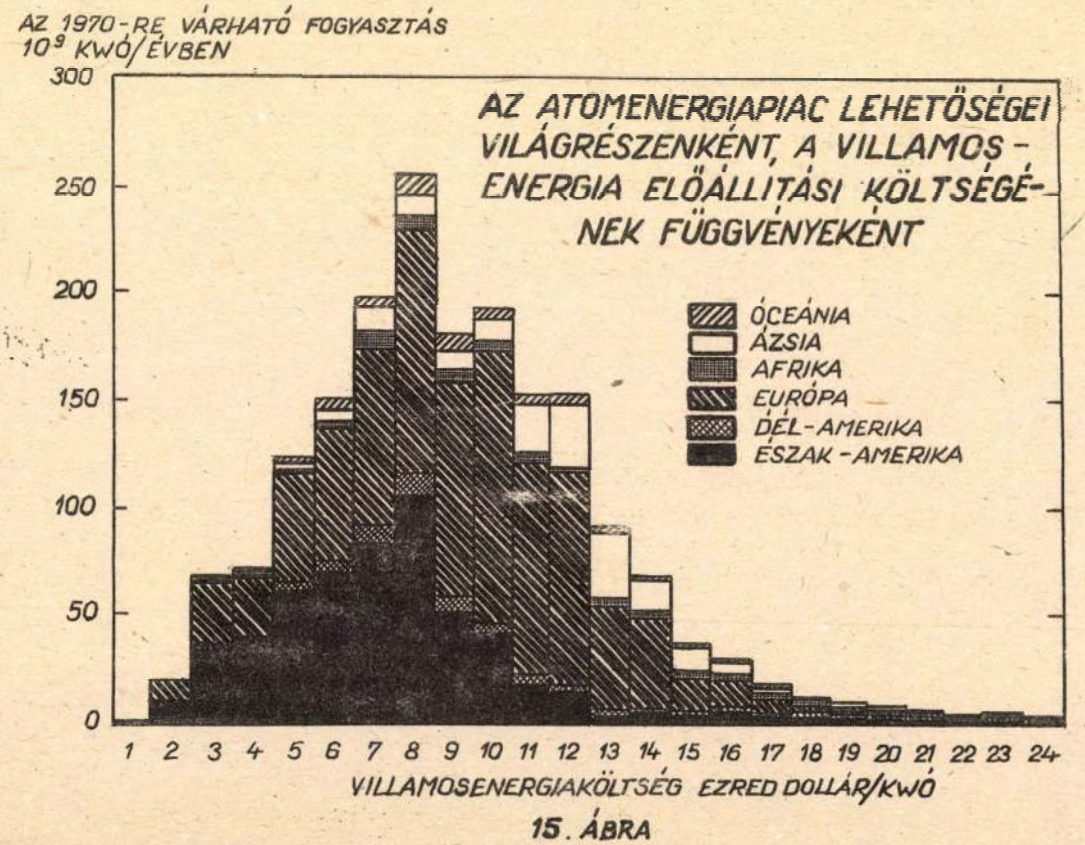
12. ÁBRA



13. ÁBRA



14. ÁBRA



15. ÁBRA

A 12. ábrából megállapithatjuk, hogy az 1960-1980-as időszakban az atomerőművek által elfoglalandó piac nagyrészét egyébként a nagy gőzerőművek foglalnák el. Számokban kifejezve 1980-ban az atomenergia által elfoglalandó piacnak kb. 95 %-át azok a nagy gőzerőművek foglalnák el, amelyeket az 1960-1980-as időszakban épitenek.

A nemzetközi piac felvevőképessége

Az előző fejezetek szövegrésze, továbbá az 1 - 12. ábrában összefoglalt eredmények és adatok részben azt a célt szolgálták, hogy illusztrálják azt a módszert, amellyel az atomenergia világgazdasági helyzetét analizáljuk az elkövetkező évekre vonatkozóan. Az Egyesült Államokon belüli helyzet elemzésénél alkalmazott alapvető megközelitési módszert más államok energiagazdálkodásának tárgyalására is felhasználtuk. Természetes, az egyes országoknál rendelkezésre álló adatok mennyiségében és jellegében fennálló különbségek szükségessé tették az alapvető megközelitési módszer bizonyosmérvü megváltoztatását, hogy az alkalmas legyen egyedi feltételekre.

A világ energiafogyasztásának tervszámai 1960-1975-re

A 13. ábra összefoglalja a világ elektromos energiafogyasztásának egyes tervszámait 1975-ig, továbbá ezen előirányzatokat egészen 2000-ig extrapolálja. A 13. ábrán látható 1.számu görbe egyenesvonalu előirányzat, amely a világ elektromos energiafogyasztásának 1948-1955-ös növekedésének egyenes folytatása. A 2. számu görbe az 1970-1975 közötti időszak fogyasztáselőirányzatának 2000-ig történő kiterjesztése. A 3.számu görbe azokat a tervszámokat adja meg, amelyek 1975 és 2000 között lennének érvényesek. A tervszámok eltérése a lineáris folytatástól az évszázad utolsó negyedében ugyanolyan lenne, mint a harmadik negyedben.

A 2. és 3. görbék a világ egyes országainak és világrészeinek elektromos energiafogyasztására vonatkozó tényszámain és tervszámain alapulnak. Megjegyzendő, hogy a világ előirányzott villamos energiafogyasztásában a növekedés üteme 1955 és 1975 között jelentős mérvü csökkenést mutat. Abban az esetben, ha 1975 és 2000 között a fogyasztás növekedésének csökkenése ugyanilyen ütemben folytatódnék, ez azt jelentené, hogy 2000 után alig-ha kellene szaporitani az erőmüvek számát. Az uj erőmüvek épitkezési ütemének csökkenése jelentős befolyást gyakorol az atomenergia-piac kilátásaira, ugyanis várható, hogy az uj erőmüvek többsége nukleáris erőmü lenne.

Lényeges, hogy a vásárolható atomenergia már a közeli jövőben jelentős mennyiségben álljon rendelkezésre. Abban az esetben, ha egy uj erőmü piaca egyszer elveszett, az gyakorlatilag örökre elveszett. Az erőmü-épitkezés ütemének csökkenése azt jelenti, hogy az atomenergiatermelés felvevő piaca éppen a versenyképesség küszöbének szintjén fog csökkenni.

A jelenlegi tanulmány céljaira a világot 152 egységre osztottuk. Minden egységre vonatkozólag megvizsgáltuk a korábbi energiafogyasztást, és ahol lehetséges volt, tanulmányoztuk az előirányzatokat is. A várható energiafogyasztást a 152 egység mindegyikére külön-külön a rendelkezésre álló legmegfelelőbb adatok alapján értékeltük. Az előirányzat megállapitására alkalmazott módszer esetenként a körülményektől és a rendelkezésre álló adatoktól függően változott.

A világ elektromos energiafogyasztásának kontinensenkénti eloszlását a 14. ábrán mutatjuk be az 1955-ös, 1965-ös

és 1975-ös évre vonatkozólag. Várható, hogy Európában nagy abszolut növekedés fog bekövetkezni, és a világos 1965 körüli Európa fogja elfoglalni a vezető helyet. Igen gyors növekedési ütemre van kilátás Ázsiára, Afrikára és Dél-Amerikára vonatkozóan. Azonban tekintettel arra, hogy ez utóbbi esetekben a növekedés igen alacsony szintekről indul, az uj erőmüépitkezések döntő többsége mégis a régebbi, fejlett területeken következik be annak ellenére, hogy a növekedés üteme itt esetleg alacsonyabb lesz.

A nukleáris villamosenergia nemzetközi piaclehetőségei

A villamos energia-fogyasztás előreláthető értékének kontinensek szerinti felbontását felhasználtuk az atomenergia iránti nemzetközi kereslet lehetőségeinek levezetésére. /15. ábra/ Az 1960-1970-es időszakban felépitésre kerülő uj erőmüvek számát országokra és világrészekre való bontás utján vezettük le.

Minden egyes országot besoroltunk az energiatermelés tipusa és az erőmü-méretek eloszlása szerint; az egyes megadott országokra levezetett nyers energia-költségelosztást ugy módositottuk, hogy az tükrözze a fütőanyag helyi költségét. Más szavakkal kifejezve, abban az esetben, ha az Egyesült Államok szénfütésü erőmüvekkel dolgozó területén a hőenergia áltagos költsége 1,4 dollár/millió kgkal /: ez kb. 4 ezred dollár/kWó-val egyenértékü:/ és a fütőanyag költsége például Belgiumban 2 dollár/millió kWó, ugy a belgiumi energia-költségeloszlás nyers adatait két ezred dollárral jobbra toltuk el, hogy ezzel tükrözzük a magasabb fütőanyagköltségeket. A költségeloszlási görbét a lokális fütőanyag relativ ára szerint az egyes országokban jobbra vagy balra kellett eltolnunk.

Az itt leirt számitási, becslési és korrigálási módokat csupán azért kellett alkalmaznunk, mivel közvetlen információ az egyes országokat illetően nem állt rendelkezésre; egyébként sokkal kivánatosabb lett volna a világ elektro-

mos energetikai adatait erőmüről erőmüre menve tanulmányozni, amint az az Egyesült Államokban történt. Előnyösen felhasználtuk a végzett becslések korrekciójánál az összes könnyen rendelkezésre álló információt. Tanulmányunkban kivánatosnak láttuk, hogy az atomenergia-piaci előirányzatok alapjául a lehető legjobb mennyiségi elemzéseket vegyük, s ne azt az eljárást kövessük, hogy mennyiségi becslések nélkül vonjunk le következtetéseket azon a cimen, hogy az adatok sokszor hiányosak és bizonytalanok.

A 15. ábrán az energia költségeloszlásokat láthatjuk az 1960-1970-es időszakra és az egyes világrészekre vonatkozóan. Az egyes világrészeken az egyes költségszinteken előállitásra kerülő uj energia becsült mennyisége közvetlenül leolvasható a 15. ábráról. Az egyes világrészekre vonatkozó költségeloszlásokat össze is adtuk, hogy le tudjuk vezetni az egész világ elektromos energia-termelésének költségeloszlását. A 15. ábrán az egész világra vonatkozó adatok sok szempontból hasonlók az 11. ábrán az Egyesült Államokra vonatkozó adatokhoz.

A 15. ábrán látható a nukleáris fejlesztésü villamosenergia egységárában bekövetkező változás jelentősége az atomenergia iránti kereslet szempontjából. Nem szabad meglepődnünk azon, hogy az északamerikai atomenergia-piac a magasabb költségtartományokban igen gyenge, és hogy az európai kereslet mindegyik költségszinten messze felülmulja az összes többi piacot.

A világ összegezett atomenergia piaclehetőségei, 1970

A 15. ábrán láthatók a világ atomerőmü-termelte villamosenergia piacának lehetőségei az egyes költségszinteken; de megadja az ábra a piac elemzését bármely megadott költség esetében világrészenként is. Az ábráról azonban nehéz leolvasni pl. a 14 ezred dollár/kW6-költséggel előállit-

ható villamosenergia iránti teljes keresletet, hiszen ehhez összegezni kell a 14 ezred dollár/kWó-árnál drágább valamennyi fogyasztást.

Mivel várható, hogy az 1960-1970-es időszakban az atomenergia előállitási költségei fokozatosan csökkenni fognak, érdekes a 15. ábrán megadott egyes fogyasztási értékek összegezése a 16. ábrán látható módon. Tekintettel arra, hogy az európai piac az atomenergia világpiacnak igen fontos része, a 10-20 ezred dolláros tartományban külön összegezzük a piac felvevőképességét Európára, és külön a világ többi részére vonatkozólag. A 16. ábrán látható az európai piac igen nagy fontossága, különösen a 10-14 ezred dollár költségtartományban; ez a költségnivó az 1960-1970-es években elérhető atomenergia-költségnek látszik.

A 16. ábrán közölt adatok grafikusan kimutatják, hogy az európai atomenergia-piac mértéke a következő évtizedekben minden szóbajövő költségszinten nagyobb lesz, mint az energiafogyasztás mértéke a világ többi részében együttvéve. Abban az esetben, ha az atomenergia-költségek 20-ról 15 - illetve 10 ezred dollár/kWó értékre csökkennek, az európai piac relativ sulya rohamosan növekszik. A 16. ábra görbéjének felrajzolásához felhasznált adatok további elemzése azt mutatja, hogy az európai elektromos energiapiac tulnyomó része ténylegesen Nyugat-Európára vonatkozik.

Végső következtetésünk igy az, hogy a 10 és 20 ezred dollár/kWó között levő bármely költségszinten a következő évtizedekben Nyugat-Európa a leg-

nagyobb és legjobb piac az atomenergia számára.

A nukleáris ipari hőtermelés gazdasági lehetőségei

Mind gazdasági, mind pedig müszaki szempontból jóval kevesebb munkát végeztek a nukleáris ipari hő területén, mint a nukleáris villamosenergia területén. Ez az állitás mind általánosságban, mind pedig a szerző által végzett gazdasági elemzésekre vonatkozólag igaz.

Jóllehet már jóegynéhány éven keresztül bizonyos mértékben foglalkoztak az atomenergia ipari hőenergiává való átalakitásának gondolatával, ezen a területen alaposabb gazdasági tanulmányokat csak ujabban végeztek. 1957 elején a szerző /mint a Stanford Research Institute tanácsadója/ beható tanulmányokat folytatott azoknak a gazdasági feltételeknek meghatározására, amelyek az ipari hőt termelő reaktorok szempontjából az Egyesült Államokban 1962 és 1967 között fontosak lesznek. Ezeket a nukleáris hőenergiára vonatkozó tanulmányokat 1957 második felében és 1958 első felében a világ egyéb területeire is kiterjesztették, és ezenkivül megvizsgálták a különböző tipusu hőenergia-termelő reaktorok müszaki-gazdasági jellemzőit.

Cikkünk jelenlegi részének az a célja, hogy beszámolót adjon arról a gazdasági kutatómunkáról, amelyet egyes, a nukleáris hőenergiának ipari felhasználását megszabó gazdasági tényezők természetének és jelentőségének meghatározása céljából végeztünk.

Közöljük az előzetes elemzések és számitások eredményeit, hogy ezzel jelezzük a várható piac méretét, és megadjuk az ipari hőenergia piacával kapcsolatos leglényegesebb jellemzőket az Egyesült Államokban és egyéb területeken.

Cikkünkben az "ipari hőenergia" kifejezést a termelő iparágak által nem villamosenergia-termelési célokra felhasz-

nált tüzelőanyaggal egyenértékü hőenergia jelzésére használjuk. Talán az 1. ábrából olvashatjuk le legjobban, hogy az energiagazdálkodásnak mely ága az, amellyel cikkünk ezen része foglalkozik. Az 1. ábra jobb oldalán levő legszélső oszlop jelenti az energiagazdálkodás itt tárgyalt szektorát.

A modern gazdaságtani kutatás ezen a területen a hőenergia-fogyasztás általános elemzéséből indul ki, és magában foglalja a kazánok jellemző tulajdonságainak és a fizetett tüzelőanyag-áraknak fajlagos elemzését. Az analitikai lépések az alábbiak voltak:

1. A gyáripar termelési tervszámainak megadása 1962-1967-es évekre.
2. A gyáripar tüzelőanyag- és hőenergiafogyasztásának elemzése.
3. A nem villamosenergia-termelési célokra jelenleg felhasznált ipari hőenergiamennyiség becslése.
4. A nem villamosenergia-termelési célokra a jövőben felhasználásra kerülő ipari hőenergiafogyasztás előbecslése.
5. A konvencionális ipari hőenergiafejlesztés költség-elemzése.
6. Az ipari hőenergia alkalmazásának a vidék fekvése szerinti, kazánkapacitás szerinti és gőznyomás szerinti analizise.
7. Azoknak az iparágaknak a kiválasztása, amelyeknél legvalószinübb, hogy az atomenergia a következő években felhasználásra kerül.
8. Annak a felbecslése, hogy milyen lehetőséggel rendelkezik az atomenergia a hőenergia-piac követelményeinek kielégitésére /figyelembevéve az olyan tényezőket, mint a várható fogyasztásnövekedés, a hőfejlesztés költségei, a szükséges gőzfejlesztők kapacitása és a gőzt felhasználó ipari eljárásokhoz szükséges üzemi gőznyomásértékek/.

Az Egyesült Államok ipari hőenergia kérdésének tanulmányozásánál kidolgozott analitikai módszereket és kapott eredményeket felhasználtuk arra a célra, hogy közelitő becsléseket végezzünk más államok nukleáris fejlesztésü hőenergiapiacaira vonatkozólag is.

A cikkünkben körvonalazott kutatási munka elvégzése alkalmával felhasznált fő adatforrások két fő csoportba oszthatók: 1. állami és ipari statisztikák, és 2. más személyek által végzett tanulmányok eredményei.

Hasonlóképpen, mint a nukleáris villamosenergia tanulmányok eredményeinél, rövid cikkünkben a nukleáris hőenergiatanulmányok területén végzett kutatásoknak csupán fontosabb eredményeit ismertetjük. Az eredményeket most is grafikus ábrázolásban közöljük olyan módon, hogy azok visszatükrözzék a tanulmányaink keretein belül végzett elemzések módszerét.

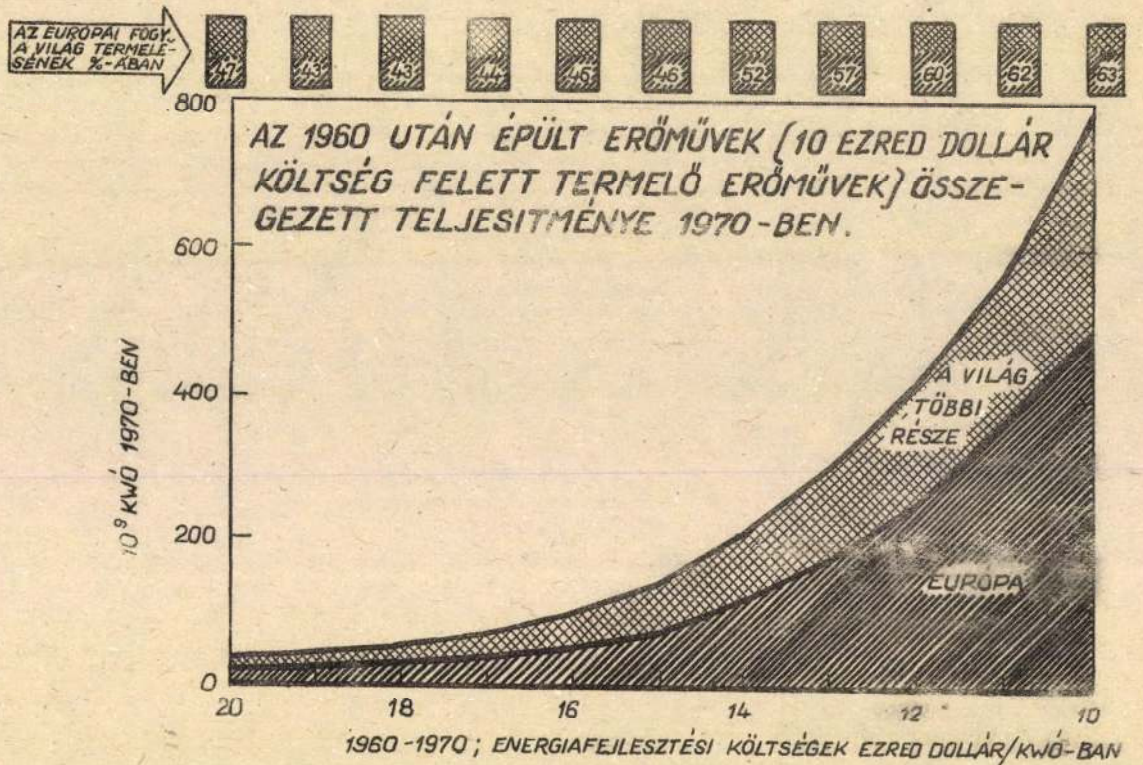
Az Egyesült Államok ipari hőenergiafogyasztásának előrebecslése

A termelő iparágak által az Egyesült Államokban bármely adott évben felhasznált hőenergiamennyiség részben az illető év gyártási teljesitményétől függ. A jövőben felhasználásra kerülő hőmennyiség becslése céljából elsősorban a jövőben termelt áruk és szolgáltatások mennyiségét kell előre meghatározni.

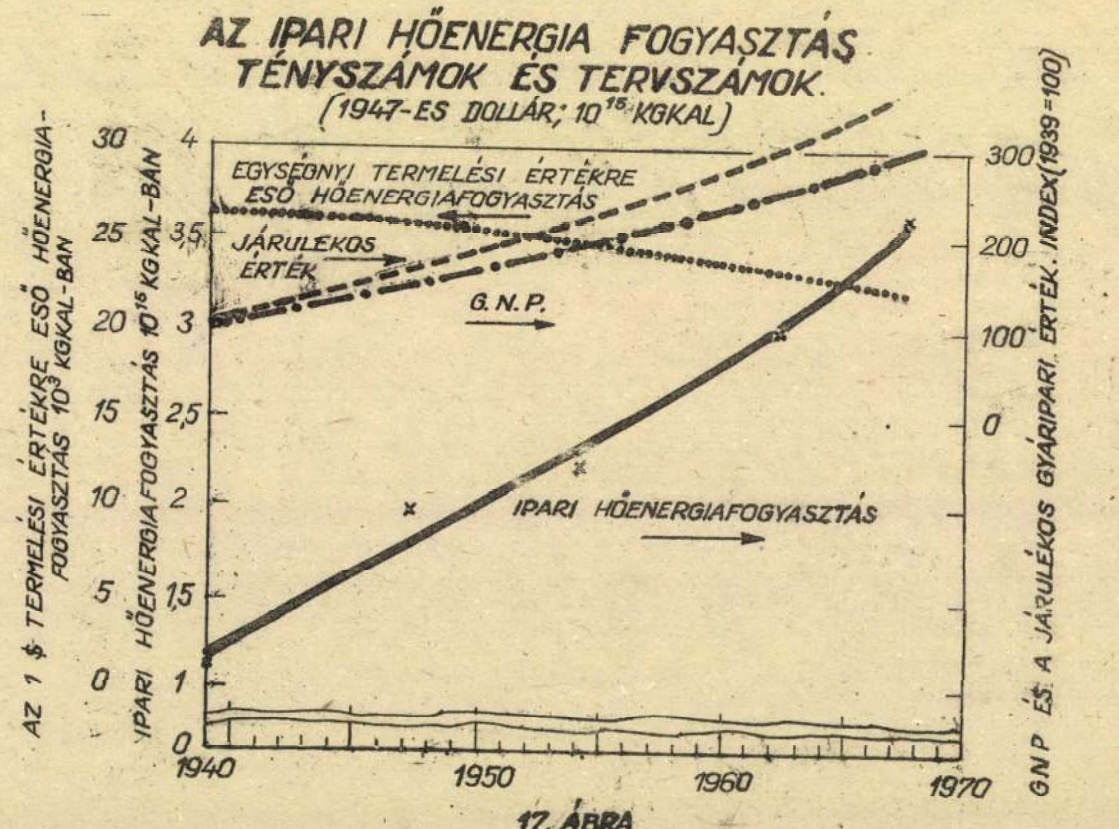
A gyártási teljesitmény bármely megadott évben a gazdasági rendszer által termelt áruk és szolgáltatások teljes mennyiségének egy része. Ezt a teljes mennyiséget gyakran bruttó nemzeti termelésnek /röviditése angolul GNP/ nevezzük.

A közgazdaságtani irodalomban több GNP előirányzat található. Természetesen minden egyes előirányzat hosszu feltételezés-sorozatokra vonatkozik, amelyek olyan tényezőket foglalnak magukban, mint a termelékenység, egy főre eső heti munkaórák száma, stb.

Minél nagyobb mennyiségben termelnek javakat és szolgáltatásokat az összes termelő iparágak - vagy valamely különálló iparág - annál nagyobb lesz az ipari hőenergiafogyasztás, feltéve, hogy "az összes többi tényező azonos". Idővel azonban



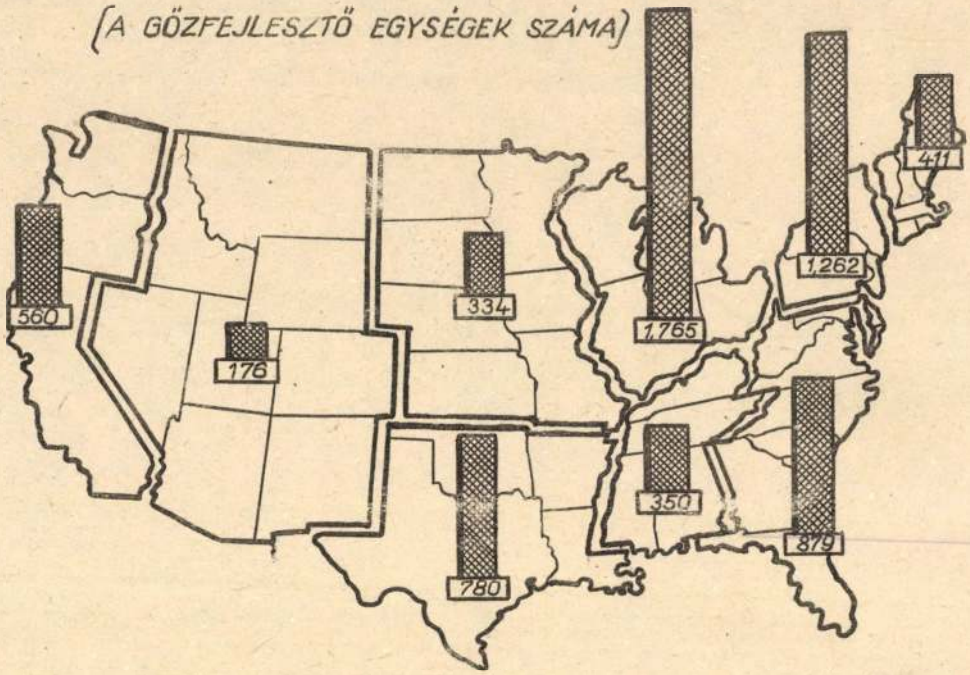
16. ÁBRA



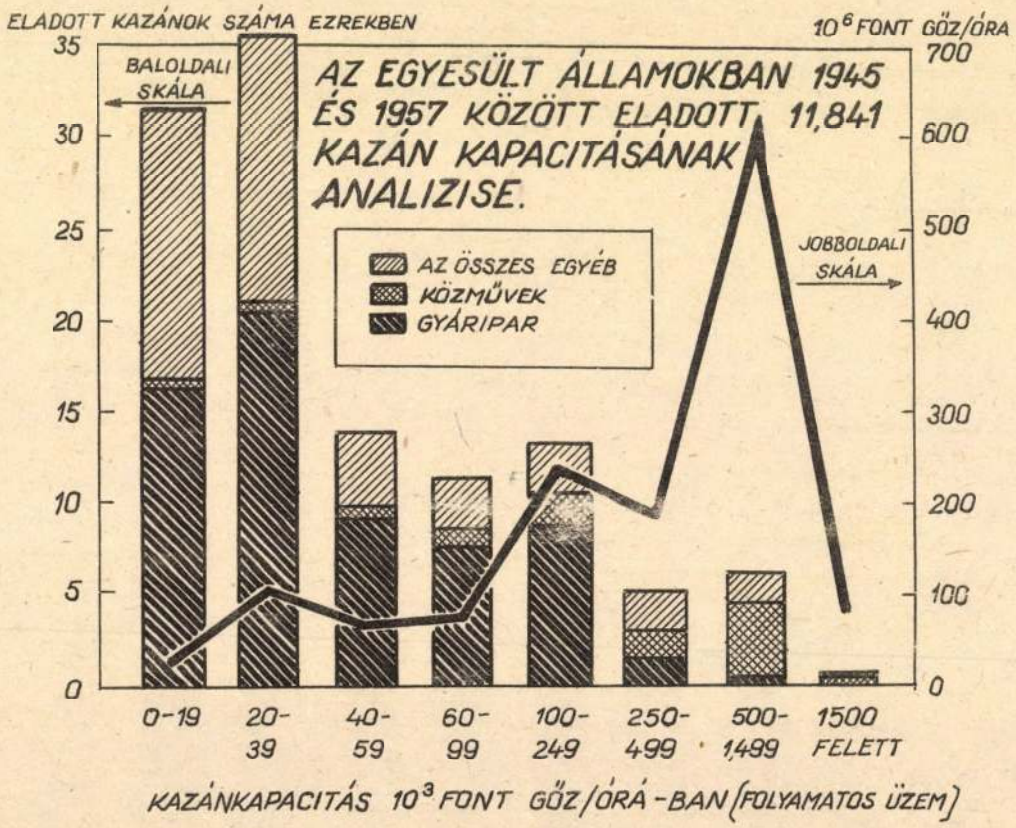
17. ÁBRA

A GYÁRIPAR SZÁMÁRA 1945 ÉS 1957 KÖZÖTT ELADOTT 6,508 KAZÁN FÖLDRAJZI MEGOSZLÁSA.

(A GŐZFEJLESZTŐ EGYSÉGEK SZÁMA)



18. ÁBRA



19. ÁBRA

"az összes többi tényező" már nem lesz többé azonos, és különkülön kell megállapitani a hőenergiamennyiségeknek és a termelt áruk értékének kapcsolatát a multra, a jelenre, illetőleg a jövőre vonatkozólag.

A nemrégiben befejezett tanulmányokban egyrészt

1. adatokat állapitottunk meg az 1939-re, 1947-re és 1957-re vonatkozó ipari termelés értékére, valamint tervszámokat dolgoztunk ki az 1962-re és 1967-re várható termelési értékre vonatkozólag; másrészt
2. megkiséreltük felbecsülni az 1939-ben, 1947-ben és 1954-ben a gyáripar által felhasznált ipari gőz mennyiségét.

Ezeket az adatokat használtuk fel a gyáripar által 1962- és 1967 években előreláthatólag felhasználásra kerülő hőenergiamennyiség értékelésére.

Az 1939-ben, 1947-ben és 1954-ben gyártott áruk és a felhasznált hőenergia értéke alapján minden egyes tanulmányozott iparágra vagy iparág-csoportra vonatkozólag index-sorozatokat állitottunk össze. Minden egyes egységnyi termelési értékre eső bevitt hőenergia-indexet az ismert multbeli index-változási irányzatok alapján, a technológiai fejlődés multbeli és várható hatását figyelembevéve, iparágról iparágra haladva, extrapoláltuk.

A hőenergiafogyasztási indexek jövőre vonatkozó levezetett értékeit egybevetettük a gyáripari termelés tervszámaival, hogy fel tudjuk becsülni az iparágak várható hőenergiafogyasztását. Más szavakkal, az egységnyi termelési értékre eső bevitt hőenergiamennyiséget megszoroztuk a termelési egységek előirányzott számával, hogy megkapjuk azt a hőenergiamennyiséget, amit az egyes iparágak a jövőben fel fognak használni. Az egyes iparágak igy kapott várható hőenergiafogyasztását összegeztük, és igy megkaptuk az egész gyáripar által 1962-ben ill. 1967-ben felhasználásra kerülő hőenergiamennyiséget.

A 17. ábra összefoglalja a gyártó iparágak által 1962-ben ill. 1967-ben előreláthatóan felhasználásra kerülő hőenergiamennyiséget. Ezenkivül az ábrán megadtuk mind a brutto nemzeti termelés, mind pedig az ipari termelés járulékos értékindexének irányzatát[x] és előirányzatát.

Megjegyezzük, hogy az ipari termelés járulékos értéke előreláthatóan gyorsabb ütemben növekszik a brutto nemzeti termelésnél. Ezenkivül megjegyzendő, hogy az egységnyi értékü termék gyártásához szükséges hőenergiamennyiség várhatóan tovább csökken, amint az a 17. ábrán látható. A teljesitmény rohamosan növekvő értéke és a lassan csökkenő specifikus hőenergia-szükséglet együttvéve a gyáripar ipari hőenergia-fogyasztásának meglehetősen gyors növekedését eredményezi. Várható, hogy a következő évtizedben az ipari hőenergiafelhasználás az évi kb. $2,5 \times 10^{15}$ kgkal értékről kb. $3,5 \times 10^{15}$ kgkal értékre növekszik, ami 40 %-os emelkedésnek felel meg. Ez a növekedés igen nagy uj hőfejlesztő kapacitás beállitását teszi szükségessé még abban az esetben is, ha nem vesszük figyelembe a régebbi gőzfejlesztő egységek kiöregedése okozta kapacitáskiesést.

A nukleáris hőenergia részesedését a nagyarányu fejlődés előtt álló ipari-hőtermelésben több különböző tényező, köztük a fejlesztett hő relativ költsége, szabja meg. A költségtétellel kapcsolatban vannak a versenyképességnek egyéb előfeltételei is, igy az előállitott gőz paraméterei, a gőzfejlesztő egység kapacitása, az üzemeltetési tényező, valamint a nukleáris uton történő hőfejlesztés melléktermékei felhasználhatóságának biztositása ill. bebizonyithatósága.

A hőenergia-piac földrajzi eloszlása

Ha előzetesen meg akarjuk határozni az Egyesült Államoknak azokat a területeit, ahol az ipari hőreaktorok legnagyobb számban lesznek értékesithetők, jó kiinduló pontot je-

x/ /"GNP and manufacturing value added index trends"/

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

lenthet az 1945-1957 közötti időszakban értékesitett ipari kazánok telephelyeinek földrajzi eloszlása. A 18. ábra megadja a gyáripar számára 1945 és 1957 között eladott 6 508 kazán földrajzi megoszlását. Meg kell jegyeznünk, hogy a gyáripar részére eladott uj kazánok tulnyomó részét a Mississippitől keletre és a Mason-Dixon-vonaltól északra elhelyezkedő üzemekben állitották fel.

Nem meglepő, hogy a gyáripar számára eladott kazánoknak több mint felét az Egyesült Államok északkeleti negyedén állitották be. Várható, hogy az ipari kazánok beruházása nagyjából az ipari termelés intenzitását követi. Azonban - tekintettel arra, hogy egyes gyártási profiloknál nagyobb az egységnyi termelési értékre eső hőenergia, továbbá figyelembevéve az Egyesült Államok ipari tevékenysége sulypontjának nyugati és déli irányu lassu eltolódását - a kazánvásárlások eloszlásának várható alakulását csak a kérdés további tanulmányozása utján lehet megadni.

A gőzfejlesztő-egységek /kazánok/ jövőbeni kapacitásmegoszlásának analizise

Ha előzetesen meg akarjuk határozni a jövőben szükséges ipari kazánméreteket, joggal feltételezhető, hogy a gőzfejlesztők kapacitását elsősorban a hőenergiát igénylő technológiai eljárások szükségletei határozzák meg. Más szavakkal kifejezve, olyan kazánokat fognak gyártani, amelyek legjobban megfelelnek a gyártási eljárás szükségleteinek. Ennek az okfejtésnek a továbbfejlesztéséből az következik, hogy a hőreaktor-méreteket szintén olymódon kell megállapitani, hogy azok megfeleljenek a gyárak szükségletének. A gyártási folyamat során felhasznált hőenergia költsége ugyanis elenyésző az egyéb gyártási költség mellett, és igy aligha várható, hogy a gyárvállalatok olyan megadott hőreaktorkapacitásra méretezzék a gyártási folyamatokat, amelyeket a reaktor-tervezők "gazdaságos"-nak tartanak.

A 19. ábra megadja az Egyesült Államokban 1945 és 1957 között a./ a gyáripar részére; b./ a közműveknek és c./ egyéb intézményeknek /ideértve a kórházakat, iskolákat, stb./ eladott 11 841 kazán méretelemzését. Megjegyzendő, hogy a gyáriparnak eladott kazánok nagyrésze a közműveknél megszokott méretekhez képest "kis" kazán, és az ipari kazánok több mint felének teljesitménye nem éri el a 18 000 kg gőz/óra teljesitményt, folytonos üzemeltetés esetében. 18 000 kg gőz/óra hőteljesitmény a 2 500 kgkal/kWó-nyi igen alacsony hatásfok esetében mindössze kb. 4 000 kW-os elektromos kapacitással ekvivalens. Mint a 19. ábrában szereplő adatokból látható, az utolsó évtizedben eladott uj ipari gőzfejlesztő egységek közül csak igen kevés elég nagyméretü ahhoz, hogy 25 MW elektromos teljesitményü közszolgáltatási centráléval legyen egyenlő értékünek tekinthető. Más szavakkal: a 100 MW hőteljesitményü ipari hőreaktorok a jelenlegi alkalmazási területek nagyrészénél tulságosan nagyok volnának, tehát ha a nukleáris hőreaktor-tervezők el akarják hóditani az ipari hőenergia-piac nagyobb részét, jóval kisebb méretü egységekre kell összpontositaniuk figyelmüket.

A 19. ábrán látható adatok ezenkivül azt is bizonyitják, hogy az igen nagy fütőegységeket elsősorban a közmüvek alkalmazzák. Ezenkivül látható az is, hogy a nagy-kapacitásu hőfejlesztők kategóriája által előállitott gőz mennyisége jóval nagyobb, mint a kisebb méretkategóriákban előállitott gőzmennyiség.

Az üzemi nyomások elemzése

A 20. ábra megadja az Egyesült Államokban 1945 és 1957 között eladott 11 036 kazán tervezett üzemi gőznyomásának elemzését, grafikus összefoglalásban. Megjegyzendő, hogy az eladott kazánok nagyrésze a közmüvek mértékével mérve nagyon is "alacsony" gőznyomáson történő üzemeltetésre készült.

A viszonylag alacsony nyomáson történő üzemeltetésre eladott uj kazánok nagy részét nem-közmüvi fogyasztók számára adták el. A gyáripari üzemekben beállitott uj kazánoknak kb. felét 10 atm-nyomásnál alacsonyabb gőznyomásokon történő üzemeltetésre konstruálták. Az 50 atm-nál nagyobb nyomásokon történő üzemeltetésre konstruált kazánok nagy részét közmüveknek adták el; minden valószinüség szerint kivétel nélkül villamosság, vagy villamosság és hő egyidejü fejlesztésének céljaira.

A hőenergia-ipari hatóságokkal folytatott megbeszélések alkalmával a szerző megállapitotta, hogy igen kevés olyan ipari folyamat van - amennyiben egyáltalán van ilyen - amelynél 34 atm-t meghaladó gőznyomás szükséges. 460 gyári gőzfejlesztő kazán kapacitása nagyobb 500 tonna/óránál. Az ezek által felhasznált gőzmennyiségnek nem egészen 5 %-ánál szükségesek a 20 atm-nál magasabb nyomások. A különböző hőenergiagazdálkodási hatóságok tapasztalatain, ismeretein alapuló becslések azt bizonyitják, hogy a gőzmennyiség igen nagy részét ténylegesen 10 atm-nál alacsonyabb nyomásokon alkalmazzák /: ez magában foglalja azt a gőzmennyiséget is, amelyet 10 atm feletti nyomásokon fejlesztenek, de a technológiai folyamat során történő felhasználás céljaira a megfelelő nyomásszintekre /és hőmérsékletekre/ visznek le.:/

A gyáripar által előállitott, felhasznált és igényelt gőz nyomásának elemzése igen fontos a reaktortervező számára, aki olyan terméket akar előállitani, amely megfelel a hőenergiafogyasztás szükségleteinek. Az előző paragrafusok gondolatmeneteihez kapcsolódó előzetes elemzések eredményei is irányt mutatnak a reaktortervezőknek a versenyképesség elérésére.

Például a 20. ábrán látható adatok azt mutatják, hogy a következő években eladásra kerülő kazánok nagy részét kis nyomásokon történő üzemeltetésre fogják tervezni. A reaktortervezők ama törekvéseit, hogy a reaktoraik teljesitményét a megengedhető üzemi nyomás emelésével "javitsák" meg, valószi-

nüleg más, sürgetőbb tervezési problémák megoldása irányába is terelhetnék, és ezek megoldása nagyobb gazdasági sikert jelentene. Ugyanis a konstrukciós nyomások emelése a reaktorépitési költségeknek olyan mérvü emelésével járhat, hogy a hőfejlesztő reaktor egyszerre versenyképtelenné válik.

Ha azonban a gyáripar hőenergia igénye az alacsonyabb gőzparaméterek felé tolódik el, és a hőfejlesztő reaktorokkal végzett kutatások eredménye szerint alacsonyabb gőznyomások esetén o l c s ó b b reaktoranyagok és alkatrészek is megfelelnek, ugy az i l y e n i r á n y u kutatómunka már igenis indokolt. Ha pedig ez ténylegesen igy van, ugy megfelelő propagandát kell kifejteni a gőzfelhasználó vállalatok felé, hogy ezek ne vásárolják a szükségesnél nagyobb nyomásu és igy drágább nukleáris hőfejlesztőket.

A nukleáris fejlesztésü hőenergia és a hőenergia-piac

Cikkünk előző fejezeteiben becslést végeztünk az Egyesült Államok ipari hőenergiaszükségletének várható alakulását illetően, és grafikus formában megadtuk egyes jellegzetességeinek rövid ismertetését. Idáig nem sok említés történt sem a hagyományos, sem a nukleáris uton történő hőenergiatermelés költségeiről.

A hagyományos módszerekkel termelt ipari hőenergia költségbecslései igen nehezen hajthatók végre, mivel nem ismerjük a tüzelőanyag-költségeket, illetőleg az ipari fogyasztók által fizetett tüzelőanyag-árakat. Csupán egyes erőművekre, vagy egy államon vagy területen belüli "átlagos" erőművekre vonatkozólag állnak rendelkezésünkre adatok.

Az idáig végzett kutatási munka folyamán a hagyományos kazánokra és gőzfejlesztő berendezésekre vonatkozólag nagy mennyiségü információt tanulmányoztunk át. Az épitési költségekre, az üzemeltetési jellemzőkre, a hőfejlesztő telepitési helyére, kapacitására, a használt tüzelőanyag tipusára, az erőmü korára és a kiszolgált iparág tipusára vonatkozó

adatokat összegyüjtöttük és elemeztük. Csaknem 12 000 kazánnal kapcsolatos adatot tanulmányoztunk.

A kazánszerkesztési és üzemeltetési információkat, valamint a tüzelőanyagra vonatkozó adatokat a kazángyártó cégek, a kazántulajdonosok és a kazánüzemeltetők, tervezőirodák, és a Statisztikai Hivatal bocsátotta rendelkezésünkre.

Amint várható is volt, nem tudtunk minden egyes kazánra vonatkozóan minden szükséges adatot összegyüjteni, jóllehet minden rendelkezésre álló forrásból minden elérhető adatot összegyüjtöttünk. 1 376 uj kazán felépitésével és üzemeltetésével kapcsolatban azonban elegendő adatot gyüjtöttünk össze ahhoz, hogy fel tudjuk becsülni a különböző költségszinteken előállitott ipari hő mennyiségét.

Az első IBM eljárásnál az épitkezési költségekre vonatkozó adatokat, /az 1954-es árakon átszámitva/, a bemeneti hőmérsékleteket, a kimenő hőmérsékleteket és az üzemeltetési nyomásokat használtuk fel. Minden egyes kazánra felirtuk a közelitően érvényes hőenergiamérleget, majd ennek alapján kiértékeltük az egyes kazánokban elégetett tüzelőanyagmennyiséget és az előállitott hőmennyiséget. Ezenkivül felbecsültük az egységnyi kimenő hőteljesitményre eső beruházási tőkeköltségeket. Azonban az alaposabb vizsgálat azt mutatta, hogy a különböző kazánoknál kapott tőkeköltségek nem hasonlithatók össze, mivel minden uj kazántulajdonos más és más eljárást alkalmaz egy uj gőzfejlesztő berendezés felállitásával kapcsolatban, más és más lesz a felhasznált emberi munka és az üzemeltetésnél használt felszerelés. Éppen emiatt, egységesen 80 cent/millió kgkal-nyi tőkeköltséggel számoltunk, 50 %-os üzemeltetési tényező feltételezésével. Üzemeltetési költség gyanánt pedig 20 cent/millió kgkal-t vettünk fel.

A tanulmány szóbanforgó részében feltételeztük, hogy minden egyes ipari kazán az 1954-ben felhasznált tüzelőanyagot azon az átlagáron vásárolta, amely 1954-ben az illető államban érvényes volt. A tüzelőanyag 1954-es átlagos árát az

az U.S. minden egyes államára az ebben az évben vásárolt tüzelőanyag mennyiségére, minőségére és árára vonatkozó hivatalos statisztikai adatokból állapitottuk meg.

Az 1 376 uj /azaz 1947 óta épült/ kazánban elégetett tüzelőanyagnak becsléssel megállapitott mennyiségét az érte fizetett ár függvényeként állapitottuk meg. Ezt az összefüggést a III. táblázatban szereplő adatokban összegezzük.

III. táblázat

1 376 kazán által 1954-ben az egyes költségszinteken előállitott ipari hőenergia mennyisége és a minimális nukleáris hőenergiakereslet tervszámai 1957-1967-ig
1957-1967-ig

Hőenergia becsült egységára cent/10^{12}kgkal	A termelt hőenergia az egyes költségszintek szerinti beosztásban 10^{12}kgkal	%	Minimális évi nukleáris hőenergiaszükséglet 1957-67-re /tervszámok/ 10^{12}kgkal
0 - 39,9	0	0	0
40 - 79,9	0	0	0
80 - 119,9	0	0	0
120 - 159,9	26,5	8,21	82,0
160 - 199,9	101,8	31,49	315,0
200 - 239,9	111,0	34,32	343,2
240 - 279,9	72,5	22,43	224,3
280 - 319,9	8,7	2,72	27,2
320 - felett	2,7	0,83	8,3
	323,2 10^{12}kgkal	100,00 %	1000,- 10^{12}kgkal

Amint már korábban emlitettük, a III. táblázatban szereplő adatok az U.S. egyes államainak átlagos tüzelőanyagárain alapulnak. Ha azonban az egyes gőzfejlesztők egyedi adatait és egyedi tüzelőanyagadatokat használtunk volna fel, az árspektrum nyilván jóval szélesebb lett volna, és a 320 cent/millió

kgkal-nál magasabb áron előállitott hőenergia aránya magasabb lett volna, mint ahogy az a III. táblázatban szerepel.

Ha feltételezzük, hogy a III. táblázatban szereplő adatok megközelitik az ipari hőenergia költség-eloszlását a következő évekre vonatkozólag /a szélsőséges esetek kivételével/, ugy a 21. ábra megadja a hőenergia iránt várható keresletet az egyes költségnivókon. Ez igy nagyon óvatos piackutatás, mivel a szélsőségesen drága tüzelőárakat az átlagos tüzelőanyag-költség adatok alkalmazásával kiküszöböltük, és nem vettük figyelembe a jelenlegi berendezések kiöregedésekor beszerzendő uj hőfejlesztő beállitását sem.

A 21. ábrán szaggatott vonallal ábrázoltuk azt a valószinü költségeloszlást, amelyet az egyes gőzfejlesztő berendezések adatainak birtokában kaptunk volna meg. A "konzervativ" /azaz a számitott/ eloszlás az évek során előreláthatólag kismértékben balra fog eltolódni. Egyrészt azért, mert a gőzfejlesztők egy részét 80 cent/millió kgkal-nál alacsonyabb beruházási költséggel épitik; a kazánok bizonyos hányadánál az üzemeltetési költségek nem érik el a 20 cent/millió kgkal értéket; egyes hőtermelő üzemeknél a tüzelőanyag-árak kisebbek az átlagos állami értéknél. A balfelé tolódás másik oka az, hogy van néhány olyan gőztermelő üzem, amely egyesiti magában az alacsony épitési költséget, az alacsony üzemeltetési kiadásokat és az alacsony tüzelőanyagárak előnyét.

A tüzelőanyagárakra vonatkozó költségek vizsgálata azt bizonyitja, hogy a ténylegesen kifizetett árnak sokkal magasabbnak kell lenni az átlagos állami árnál; ennek több oka van: 1. a hőfejlesztő üzem kedvezőtlen telepitési helye, 2. az elégetett tüzelőanyag fajtája és 3. az évenként vásárolt tüzelőanyag mennyisége. Például a pennsylvaniai alapfémiparba tartozó üzemek által a nyersolaj-fütőanyagért kifizetett átlagár 1947-ben 120 cent/millió kgkal-val volt magasabb, mint a bitumenes szénért kifizetett átlagár, ill. 60 cent/millió kgkal-val

volt magasabb, mint az összes tüzelőanyagokért kifizetett átlagár /ideértve a fűtőolajat is/. Ezért joggal számolhatnánk azzal, hogy az egyes kedvezőtlen fekvésü pennsylvaniai hőtermelő üzemek 120 cent/millió kgkal-val fizetnek többet a tüzelőért, mint egy "átlagos" üzem. A helyzet a többi államokban és egyéb iparágakban valószinüleg hasonló. Ezért, ha egyedi üzemi adatokkal tudtunk volna számolni, a hőfejlesztés költségeloszlása 120 cent/millió kgkal-val tolódott volna ki jobbfelé az átlagos állami adatok segitségével kiszámitott "konzervativ" eloszláshoz képest.

Meg kell jegyeznünk, hogy a hőenergiapiacnak még ez az igen "konzervativ" elemzése is viszonylag magas értékesitési lehetőségeket sejttet az olyan hőenergia-reaktorok számára, amelyek 280-320 cent/10^{12} kgkal közötti áron képesek előállitani gőzt. Nem szabad azt sem elfelejtenünk, hogy a 21. ábra adatai magukba foglalják az Egyesült Államok valamennyi uj gőzfejlesztő berendezését; igy kiterjednek a gőzfejlesztő kapacitásra, valamennyi gőz-hőmérsékletre és nyomásra, minden iparágra és az ország egész területére.

Még ha volna is biztositék arra nézve, hogy az előző fejezetekben ismertetett vizsgálatok az ipari hőenergia-piac méretének és természetének használható becsléseihez vezetnek, akkor is becslést kellene végezni a nukleáris hőenergia költségét illetően, mielőtt a nukleáris fejlesztésü hő iránt várható keresletre vonatkozóan számitásokat végezhetnénk.

Az ACF Industries, Incorporated müszaki és gazdasági elemzéssel foglalkozó részlegei több tanulmányt végeztek a javasolt ipari hőreaktor-konstrukciókkal kapcsolatban. E vizsgálatok célja a konstrukciós és üzemeltetési költségek részletes elemzése, a részletes reaktor-tervrajzok készitése és az ipari nukleáris hőtermelő berendezések tényleges felépitése. A tanulmányozásra kerülő egyes üzemek indirekt ciklust /kettős cirkulációt/ alkalmaznak az üzemek áramfejlesztő és

gőzfejlesztő részének védelme céljából. A fejlesztett gőz minden esetben száraz; telitése 8-16 atm tartományban történik. Az ilyen nyomásu gőz megfelel az ipar gőzszükséglete legnagyobb részének, amint az a 20. ábrából leolvasható.

Az idáig végzett tanulmányok eredményei azt bizonyitják, hogy a nukleáris energiafejlesztés esetében gazdaságossági szempontból célszerü a tiszta hőenergiatermelés. Az ACF részlege által tanulmányozott feltételek esetében ugy látszik, hogy a gőznek, technológiai felhasználását megelőzően, munkavégzésre /és igy áramfejlesztésre/ történő felhasználásához szükséges magasabb hőmérsékletek, magasabb nyomások és speciális berendezések forditott többletkiadásai felülmulják azt a többletértéket, melyet a gőz plusz elektromos energia együttes termelése nyujtana. Azaz gazdasági szempontból csak a t i s z t á n h ő e n e r g i á t termelő nukleáris üzemek helyeselhetők; a gyár villamosenergiaszükségletét ne a hőtermelő reaktor szolgáltassa, hanem más forrásból szerezzék be.

Az eddigi vizsgálódások eredményei azonban nem teszik lehetővé, hogy általánosabb jellegü következtetéseket vonjunk le. Elképzelhető, hogy vannak olyan esetek, ahol a magasabb elektromos energia-jóváirások igazolhatják azokat a pótlólagos kiadásokat, amelyek egy csupán nukleáris hőenergiatermelő üzemnek hőenergia plusz villamosenergia-termelő, kettős rendeltetésü erőmüvé történő átalakitásával járnának. Cikkünk keretein kivül esik az idevágó részletes konstrukciós szempontok tárgyalása, s az is nyilvánvaló, hogy a tényleges, kialakitásra kerülő konstrukcióknak ki kell elégiteniük az egyedi esetek speciális követelményeit.

Az idáig végzett müszaki és gazdasági tanulmányok azt bizonyitják, hogy a 4 dollár/millió kgkal értk alatti hőenergiatermelési költségek nem elérhetetlenek. Valóban, a jelenlegi tanulmányok eredményei a 2,8-3,2 dollár/millió kgkal

tartományba eső költség-nivókra utalnak. Nem szabad azonban megfeledkeznünk arról, hogy ilyen költségszintek jelenleg csak a viszonylag nagyméretü egységekben érhetők el.

Ugy látszik, hogy az ipari hőenergia-termelésben az atomenergia az Egyesült Államokban kezdi megközeliteni a versenyképesség küszöbét. A piac tulfedésének mértékére és a nukleáris hőfejlesztés gazdaságosságának pontos feltételeire vonatkozó kérdésekre kielégitő választ csak a most folyó vizsgálatok befejezése után tudunk adni. Részletesebb tüzelőanyag-elemzéseket kell végeznünk, mielőtt összeállitanók a hőenergia-költségeloszlások tervszámait. Külön tanulmányokat kell végeznünk a kis kapacitásu vagy kis üzemeltetési tényezőjü gőzfejlesztőkben termelt "drága" hőenergia felhasználási arányának meghatározására.

Az ipari hő nemzetközi piaca

Jóllehet a cikkünkben idáig körvonalazott munka elsősorban az Egyesült Államok hőenergia-piacára vonatkozott, a világ egyéb részein jelentkező piacokra vonatkozólag is végeztünk bizonyos kutatásokat. Ezenkivül jelenleg meglehetősen részletes kooperáció-kutatás folyik szóbajövő tengerentuli fogyasztókkal. Jóllehet igen korai volna végleges megállapitásokat tenni, állithatjuk, hogy ha az Egyesült Államokban jelenleg megközelitjük a versenyképességi küszöböt, bizonyos tengerentuli területek, ahol a jelenlegi tüzelőanyagárak az amerikai áraknak kétszeresei, sőt háromszorosai, elsőrendü felvevő piacai lesznek az Egyesült Államok nukleáris hőfejlesztő berendezéseket gyártó cégei számára. A tengerentuli beruházási költségek többféle okból eléggé alacsonyak, a tüzelőanyagárak viszont magasak; ezért a nukleáris és hagyományos fejlesztésü hőenergia költségének összehasonlitása sokkal előnyösebb lesz a nukleáris fejlesztés javára, mint a nukleáris ill. hagyományos fejlesztésü villamosenergia gazdaságossági összehasonlitása.

A jelenleg folyó tanulmányaink befejezésekor esetleg az is ki fog derülni, miszerint azonkivül, hogy egyes tengerentuli területek sokkal jobb piacok lehetnek a nukleáris erőművek számára, mint az Egyesült Államok, - a nukleáris hőtermelés még sokkal többet igér, mint a nukleáris elektromos-energiatermelés. Ez ahhoz az elkerülhetetlen megállapitáshoz vezethet, hogy a legjobb a gazdasági lehetősége ilyen feltételek esetében a nukleáris hőreaktoroknak Nyugat-Európában való értékesitése számára. A legrosszabb ötlet viszont nukleáris elektromos centrálóknak az Egyesült Államokban megkisérelendő értékesitése volna.

A világ ipari hőenergia-piacának becsült nagysága

Igen kivánatos volna, ha az ipari hőenergia-piacra vonatkozólag országonkénti alapon átfogó tanulmányokat tudnánk végezni olyan módon és olyan részletesen, mint az Egyesült Államok piacának tanulmányozása során az előző oldalakon tettük. Jelenleg azonban nem állnak rendelkezésünkre azok az adatok, amelyek az ilyen átfogó munka elvégzéséhez szükségesek.

Jelenleg valamivel kevésbé átfogó kutatómunka folyik, amelyben az Egyesült Államok Ipari Statisztikájához hasonló jellegü külföldi anyagot gyüjtünk össze elemzés céljából. Ez adatanyag nem szerezhető be minden országra vonatkozólag, és a rendelkezésre álló anyagban szereplő adatok sokszor nem alkalmasak az összehasonlitásra. Ennek ellenére a most folyó vizsgálatok gyakorlatilag felhasználható következtetésekhez fognak vezetni a világ ipari hőenergia-piacának méretére vonatkozólag, és megfelelő elemzést kapunk a különböző piacterületek viszonylagos jelentőségével kapcsolatban.

A nemzetközi hő-nergia-piac első, igen elnagyolt vizsgálatát már befejeztük. Az első megközelités a felhasznált teljes energiamennyiség és a bruttó belföldi áruterme-lés /GNP/ országonkénti elemzésén alapult. Minden olyan esetben, ahol adatok álltak rendelkezésünkre, az alábbi számitási módszert követtük:

$$H = 0{,}82\ E \times M \div P$$

H = a felhasznált ipari hőenergia becsült értéke

E = teljes felhasznált energiamennyiség

P = belföldi árutermelés teljes értéke

M = a gyáripari árutermelés részaránya a teljes belföldi árutermelésben

0,82 = az Egyesült Államok ipari hőenergia-piacának elemzéséből levezetett konstans szorzó tényező.

Könnyü elképzelni, hogy az ilyen közvetett számitási módszer sok nemkivánatos tulajdonsággal rendelkezik. Ebből a közvetett módszerből levezetett eredményeket csupán ugy tekinthetjük, mint első közelitéseket, amelyek addig alkalmazhatók, amig átfogóbb tanulmányok eredményei nem állnak rendelkezésünkre.

A IV. táblázat összefoglalja a világ ipari hőenergia-piaca becsült méretének adatait. Valamennyi energiaadatot millió MWó / = 10^{12} Wó/ elektromos egyenértékben adtunk meg, 100 %-os átalakitási tényező alapján. Azoknál az országoknál, amelyeknél a bruttó hazai termelésre vonatkozó adatokat nem tudtuk megkapni, azon világrész levezetett átlagértékeit alkalmaztuk, ahol az illető ország fekszik.

A IV. táblázatban közölt adatokból megállapithatjuk, hogy az ipari hőenergia-piac tulnyomó része Európára és Észak-Amerikára esik. Ha emlékezetünkbe idézzük, hogy már magának a tüzelőanyagnak az ára is jóval magasabb Európában, mint az Egyesült Államokban, a jelek igen határozottan arra mutatnak, hogy Európa lesz messze a legjobb piaca a drága nukleáris fejlesztésü hőenergiának.

IV. táblázat

Az évi ipari hőenergia fogyasztás elemzése világrészenként 1952-ben

Világrész	Teljes energia-fogyasztás 10^{12} Wó-ekviv.	Ipari hő-energia-fogyasztás 10^{12} Wó-ekviv.	Az egész világfo-gyasztás %
1	2	3	4
Észak-Amerika	10 613,1	2 465,4	37,6
Közép-Amerika	31,0	2,5	0,0
Dél-Amerika	704,7	118,0	1,8
Nyugat-India	161,7	17,9	0,3
Európa	10 453,2	3 287,5	50,3
Afrika	749,9	105,5	1,6
Ázsia	3 640,2	479,1	7,6
Oceánia	599,8	54,6	0,8
	26 953,6	6 548,5	100,0

Ha arra a végső konkluzióra jutunk, hogy az Egyesült Államokban a 2,80 dollár/millió kgkal áron előállitott ipari hőenergia piacának mérete legalább 1 millió kW teljesitménynyel egyenértékü 1958 és 1968 között, nyugodtan állithatjuk, hogy a világ 2,80 dolláros nukleáris hőenergia-piacának mérete a következő évtizedben legalább 3 millió kW lesz.

A következtetések összefoglalása

A szóbanforgó kutatásainkból levonható fontosabb következtetéseket cikkünk szövegrészében körvonalaztuk, és ábráin grafikus formában is megadtuk. Mégis célszerünek tartjuk, hogy az eredményeket most ujból összefoglaljuk.

1./ Az Egyesült Államokban a nukleáris fejlesztésü, 10 millió/kWó-nál drágább elektromos energia iránti kereslet 1970-ben a 20.10^9 kWó/év érték alatt lesz, /ez kevesebb mint az Egyesült Államok egész villamosenergiatermelésének 2 %-a.

2./ A villamosenergia-fogyasztás növekedési üteme az egész világ viszonylatában, ötéves periódusokat tekintve, az 1955-1960-as évekre várható 165 %-os emelkedésről az 1970-1975-ös évekre előreláthatólag 134 %-ra fog lassulni. Az energiafogyasztás abszolut mennyisége az 1955 évi 1 525 . 10^9 kWó értékről 1975-re 5 397 . 10^9 kWó/év értékre fog emelkedni.

3./ 1965-re Európa villamosenergia-fogyasztása el fogja érni az évi 1 349 . 10^9 kWó értéket, és magasabb lesz, mint bármely más világrész villamosenergia fogyasztása. 1975-re becslés szerint Európában évente 2 678 . 10^9 kWó/évnyi villamosenergiát fognak felhasználni, ami a világ 1975-ös, becsléssel megállapitott energiafogyasztásának 49,6 %-ával egyenlő.

4./ A világpiaci kereslet a 20 millió/kWó költségen előállitott nukleáris villamosenergia iránt 1970-re évi 24,5 . 10^9 kWó értékre becsülhető; ebből becslésünk szerint évi 11,5 . 10^9 kWó Európában fog jelentkezni. Észak-Amerikában a piacméret ezen a költségszinten elhanyagolható.

5./ Európa a legnagyobb egyedi piac a 15 ezred dollár költségü nukleáris villamosenergia számára; ugyanis a világ évi 132,6 . 10^9 kWó-ra becsült teljesitményéből 1970-ben Európa előreláthatólag évi 61,8 . 10^9 kWó-t fog igénybevenni. A 61,8 . 10^9 kWó/év nukleáris uton fejlesztendő elektromos teljesitményhez szükséges berendezések létesitéséhez kb. 2 milliárd dollárnyi beruházásra lesz szükség. A 15 ezred dollár áru villamosenergia egyéb nagyobb piacai Ázsia és Afrika lesznek, ahol valószinüleg Japán, Kina és Egyiptom lesznek a legfontosabb területek.

6./ Az Egyesült Államok nukleáris ipari hőenergia-piacának mérete 2,80 dollár/millió kgkal, vagy ennél alacsonyabb költségeken előállitott hőenergia számára az 1958-1968-as időszakban becsléssel megállapithatóan legalább évi

35.10^{12} kgkal kapacitással lesz egyenlő. Ahhoz, hogy az atomreaktorok, tegyük fel, 50 %-os üzemeltetés mellett évenként 35 . 10^{12} kgkal hőmennyiséget tudjanak termelni, megközelitőleg 9,5 millió kW termikus kapacitással kell rendelkezniök. Eszerint az Egyesült Államokban a következő évtizedben évente legalább 1 millió kW-os összkapacitásu hőfejlesztő reaktor kerül eladásra, 2,80 dollár/millió kgkal költségszinten történő hőfejlesztés céljaira.

7./ A 2,40 dollár/millió kgkal áron kapható nukleáris hőenergia iránti kereslet mérete az 1958-1968-as időszakban eléri az évi 260 . 10^{12} kgkal értéket. Ennek kielégitésére évente legalább 7 millió kW uj termikus reaktorkapacitást kell üzembehelyezni. Ez azt jelenti, hogy a következő évtizedben egyedül az Egyesült Államokban több mint 70 millió termikus kW-kapacitásu hőfejlesztő reaktort fogunk megvásárolni.

8./ A 2,80 dollár/millió kgkal költséggel előállitott ipari hőenergia iránti világpiaci kereslet volumene a következő évtizedben legalább évi 3 millió kW termikus kapacitás lesz.

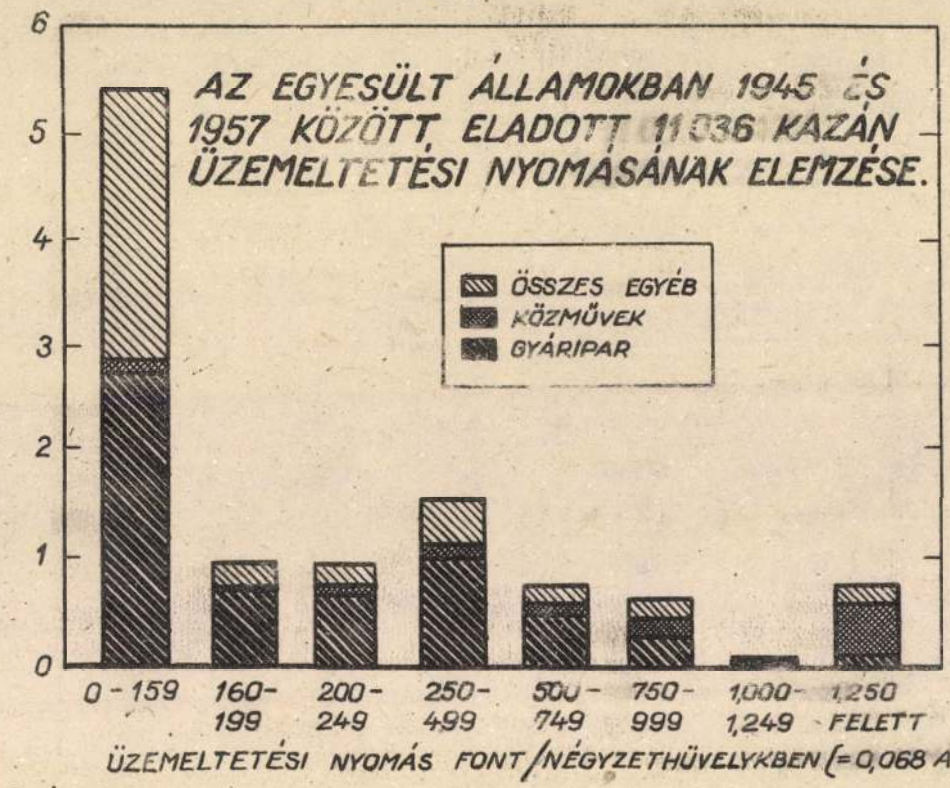
9./ Előreláthatólag a következő években sok olyan vidéke lesz a világnak, ahol csak a hőtermelő reaktorok lesznek gazdaságosak; más területeken viszont a tisztán elektromos energiát termelő atomerőmüvek is kifizetődnek; ismét másutt pedig csak a kettős rendeltetésü /hő- és elektromos energiát termelő/ reaktorok lesznek rentábilisak.

Javaslatok további tanulmányozásra

Ez a cikk ugy tekinthető, mint egy igen bonyolult kérdés-komplexum-sorozatra adott válaszok első megközelitéseivel kapcsolatos beszámoló. Reméljük, hogy ezt kiindulási alapul fogják felhasználni egyes területek, vagy egyes társaságok igazgatóságai számára érdekes sok részletes elemzéshez.

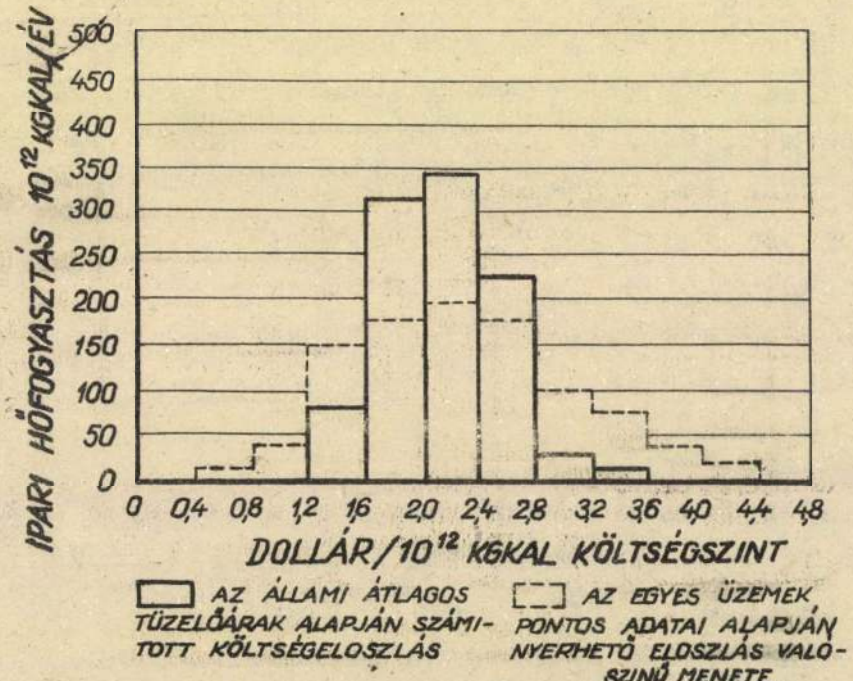
Véleményünk szerint a helyi energia,villamosenergia-, hőenergia-fogyasztásra és termelésre vonatkozó tanulmánysorozat olyan adatokat nyujthat, amelyek nagy segitséget jelenthetnek más, hasonló természetü tanulmányok végzése esetében/"második közelités"/. Különösen értékesek lennének a különböző területeken a tüzelőanyag-költségek és a villamos-, ill. hőenergia-költségek összefüggésére vonatkozó adatok. Ezenkivül igen hasznosak volnának az energiafejlesztő egységek méreteinek várható eloszlására vonatkozó tanulmányok, különböző energia-gazdasági egységekre nézve.

Még abban az esetben is, ha elegendő adat áll rendelkezésre javitott "második megközelitési", vagy "harmadik megközelitési" tanulmányok elvégzésére, nyilvánvaló, hogy egy általános jellegü tanulmány értéke speciális, helyi jellegü ipari és gazdasági problémák megoldása területén erősen korlátozott. Egy bizonyos terület, ország, vagy gyártó cég számára ezt és az egyéb általános gazdasági tanulmányokat ki kell egészíteni az egyedi problémák megoldására szolgáló elemzésekkel.



20. ÁBRA

A NUKLEÁRIS FEJLESZTÉSŰ IPARI HŐENERGIA PIACI LEHETŐSÉGEI AZ EGYESÜLT ÁLLAMOKBAN A KÖVETKEZŐ ÉVTIZEDBEN (CSUPÁN ÚJ ÜZEMEK.)



21. ÁBRA

A REAKTORTERVEZÉS ÉS A NUKLEÁRIS FEJLESZTÉSÜ ELEKTROMOS ENERGIA KÖLTSÉGEINEK JÖVŐBENI ALAKULÁSÁRÓL

Sir Christopher Hinton

Atom 1958. ápr. No.6. p.10-31

Sir Chr.Hinton március 15-én a svéd mérnökök számára a Vetenkaps Akadémián tartott előadásában összehasonlitást tett a hagyományos erőművekkel és az atomerőművekkel termelt áram költségeinek jövőbeni valószinü alakulása között. Nézete szerint 1990-ben az atomenergiából nyert elektromos energia költsége kb. 3/8-a lesz a széntüzelésü erőművek termelte villamosenergia költségeinek.

x

A világ legtöbb nemzete, az utóbbi tiz év meglepő fejlődését látva, felteszi a kérdést, mit kellene tenniök, hogy előnyükre forditsák azokat a lehetőségeket, amelyek az atomenergiának elektromos energia-termelésre való felhasználásából adódnak. Egyes országoknak, pl. Nagy-Britanniának és Japánnak sürgős és azonnali szüksége van meglevő energiaforrásaik kiegészitésére. Másoknak, igy az U.S.A.-nak, nincs nyomasztó gondja e téren. De abban mindnyájan egyetértenek, hogy a nukleáris energetika fejlődése még kifürkészésre váró uj perspektivákat nyit meg az elektromos energiatermelés számára.

Minden ország elsősorban azt szeretné tudni, vajon a nukleáris fejlesztésü villamosenergia olcsóbb lesz-e, mint a konvencionális erőművek elektromos energiája. Ez utóbbi termelési költsége aszerint változik, hogy rendelkezik-e az illető ország könnyen bányászható és alkalmas helyeken fekvő nagy széntartalékokkal vagy vizienergiával, az energia felhasználá-

helyeihez kellő közelségben; függ még a beruházási kölcsön után fizetendő kamat mértékétől is. Bár ez a kérdés minden országban más és más, mégis ugyanazok az általános elvek érvényesek mindenütt, és a válasz attól függ, hogyan fog fejlődni az atomenergia-ipar, és ennek megfelelően milyen áron lesz lehetséges a jövőben atomenergiából villamosenergiát termelni. E probléma vizsgálatának szándékozom szentelni e cikk legnagyobb részét.

Az atomerőművek kifejlesztésében Nagy-Britanniában mindenekelőtt a nagyteljesitményü erőművek tervezésére fordítottuk a figyelmet. Ez azért történt igy, mert Anglia fütőanyaghiánynak néz elébe, és olajat máris olyan mennyiségben importál, hogy az hátrányosan befolyásolja külkereskedelmi mérlegét. Az atomenergia segithet ezen a helyzeten, ha nagy kapacitásu nukleáris erőműveket épitünk. Ez az elgondolás logikus folytatása a klasszikus energetikának.

A Calder Hall tipusu grafitmoderátoru, gázhütésü reaktor az angol atomenergia program alapja. Ez a nagyméretü, csaknem hagyományos jellegü erőmü természetes uránt használ fütőanyagul, szerény : 1,4 MW/tonna specifikus hőteljesitménnyel. A Calder-Hall-i tipus az eredeti Windscale-i reaktorokból fejlődött ki. Ennél még az egész fejlesztett hőmennyiség kárba veszett. Viszont a Calder-Hall-i reaktorokból fejlesztették ki azokat az uj atomerőműveket, amelyeket legutóbb a Central Electricity Authority /Elektromosenergiaügyi Főhatóság/ rendelt meg. Az itt emlitett fejlődési fokok mindegyike nagy előrehaladást jelentett technológiai vonalon, és már láthatjuk azokat a további tökéletesitéseket is, amelyeket a közeli néhány évben végre tudunk hajtani. Jövő terveink előkészitésében azonban még azokon a lehetőségeken is tulmenően kell terveznünk, amelyeket ma még csak elképzelni tudunk, de megvalósitani nem; és használnunk kell képzelőtehetségünket, hogy előre láthassunk olyan lehetőségeket is, amelyek mostani látókörünkön belül még fel sem bukkantak.

Segitségünkre lesz ebben, ha áttekintjük a hosszu fejlődésen átment hagyományos áramfejlesztő berendezések történetét. Az 1. ábra és az 1. táblázat a gőzfütésü erőművek egy HP-re[x/] eső költségét tünteti fel; ugyanezt láthatjuk a 2. ábrán és a 2. táblázatban, olajfütésü erőművekre vonatkozóan. Bár a dolog természeténél fogva, a költségek lényeges szórást mutatnak, mindkét esetben szembetünő az áramtermelés költségének mint az idő függvényének exponenciális csökkenése és a görbék hasonló meredeksége. E görbék elkészitésében a lehetőség szerint pontos korrekciókat alkalmaztunk, hogy a pénz értékének változásából származó hibákat kiküszöböljük. Más tipusu erőművek beruházási költségei is hasonlóan alakultak a történeti fejlődés során.

A jövőre vonatkozóan első közelitésben joggal azt várhatjuk, hogy az atomerőmüvek költségei is hasonló módon, tehát exponenciálisan fognak csökkenni. Ez pedig igen nagyjelentőségü. A Calder Hall-i reaktorokat kettős rendeltetés céljából épitették. Derülátó tervezésük olyan, hogy ne az áramtermelés, hanem a plutonium-termelés szempontjából legyenek optimálisak. Az Angol Elektromos Müvek által rendelt tisztán áramfejlesztési célra épült atomerőmüvek költségei a következőképpen alakulnak:

A költségkimutatást lásd a tuloldalon!

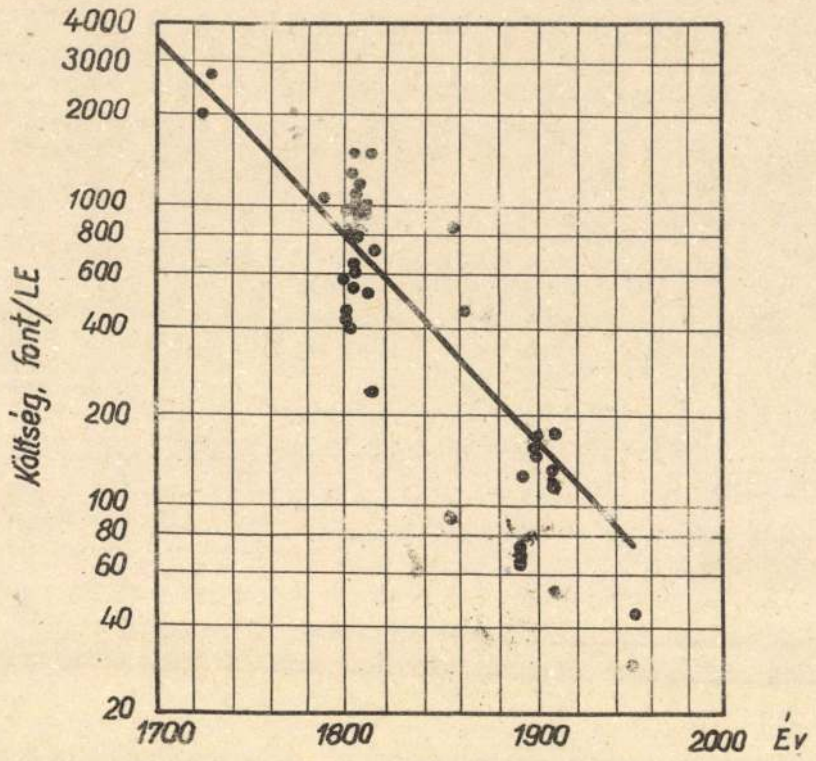
---

x/ 1 HP = 0,7453 kW

Beruházási tőkeköltségek /5 % kamat és 20-éves élettartam esetére/	0,37	penny/nettó kWó
Az első fütőanyagtöltés költségének kamatai /5 %/	0,06	"
A fütőanyag utánpótlási költségei /: 20 000 £/urániumtonna :/	0,24	"
Üzemeltetési költség	0,06	"
Bruttó összköltség:	0,73	"
Jóváírás a fütőanyagban keletkezett plutoniumért	0,07	"
Nettó összköltség	0,66	penny/nettó kWó

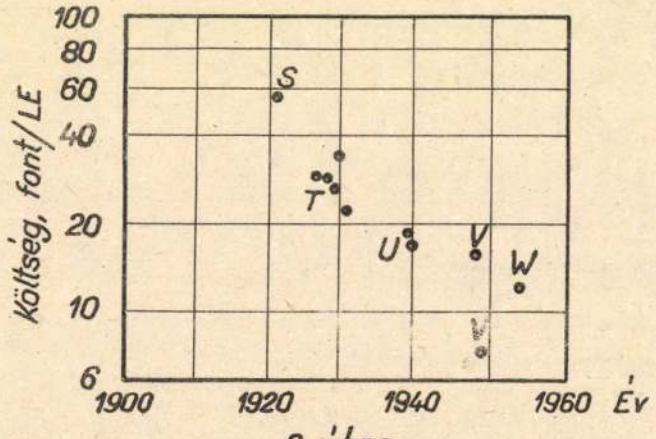
Tehát a hálózatba táplált elektromos energia előállítási költségének 65 %-a a beruházási költségekből ered. A szokásos széntüzelésü erőműveknél a villanyáram árának csak 25 %-át teszik ki a beruházási költségek. Ebből következik, hogy igen fontos lenne az atomerőművek beruházási költségeit csökkenteni, mivel ez a termelt energia árát is lényegesen mérsékelné.

A történeti analógiák önmagukban nem jogositanak fel minket arra, hogy feltételezzük a költségek csökkenését, ha nem tudjuk megmondani azt is, milyen módon valósitható ez meg. Ehhez megint csak igen hasznos lesz az elsődleges energiatermelő berendezések történetére visszatekinteni. A gőzfütésü erőművekkel termelt elektromos energia olcsóbbá válása igen szorosan összekapcsolódik azzal a ténnyel, hogy milyen kezdeti hőmérsékletet tudtak a gőzrendszerben elérni. A kezdeti hőmérséklet emelkedését az idő függvényeként a 3. ábrán láthatjuk. A hőmérséklet emelésének a különböző időszakokban más és más tényezők szabtak határt. Kezdetben tekintetbe kellett venni, hogy az öntöttvas tartály mekkora nyomásnak tud ellenállni. Később a dugattyurendszerben használt hengerkenő olajok türőképessége jelentett korlátozást. Az utóbbi 40 évben ezt főképp a tulhevitő, a gőzrendszer és a turbinák anyagának metallurgiája határozza meg.



1. ábra

Hőerőművek tőkeköltségei. (1954-es árak)



2. ábra

Olajtüzelésű erőművek beruházási költségei.

I. táblázat

Gőzerőművek adatai

	év	lóerő	egy lóerőre jutó beruházási költség dollárban	egy lóerőre jutó egyenértékü beruházási költség dollárban, 1954-ben
A	1725	8	145,0	2,010
B	1728	0,43	186,0	2,555
C	1788	4	88,5	1,054
D	1799	30	35,0	407
E	1800	4	81,8	950
		10	49,1	571
		20	37,5	436
		30	35,0	407
		40	36,0	419
		50	34,5	401
F	1804	2	87,0	988
G	1804	20	54,0	613
		24	53,0	602
		30	47,0	534
		1	126,0	1,430
		2	110,0	1,250
		3	94,0	1,068
		4	87,0	989
		5	80,0	909
		6	74,0	841
		7	67,0	761
		8	62,0	704
H	1807	8	100,0	1,136
			79,0	888
I	1810	4	22,0	239
	1816			
J	1812	3	133,0	1,478
		20	62,0	688
		40	45,0	500
K	1825	10	42,0	438
		14	37,3	389
		18	34,0	354
L	1854	335	10,1	87,8
M	1856	250	96,0	820
N	1860-5			430
P	1900	2 1/2	32,0	168,4
		3 1/2	30,0	158
		5	27,0	147,3
Q	1893	1 1/2	22,0	122
		3 1/2	12,0	66,7
		6 1/2	12,5	69,5
		10	11,0	61
	1910	1 1/2	34,0	177
		2 1/2	25,5	132,7
		3 1/2	21,5	112
		6 1/2	26,5	138
R	1953	80,400	28,5	28,5
		201,000	41,0	41,0

/A táblázathoz nem füzünk magyarázatokat/

A 4. ábra mutatja, miképp emelkedett a hatásfok az utóbbi években. James Watt gőzgépe 2,7 kg szenet használt el HP óránként; ma egy korszerű, gőzzel működő erőmünek ehhez csak 0,35 kg szén szükséges. A hatásfok emelkedését csaknem teljesen a kezdeti hőmérséklet növekedése idézte elő. A nagyobb kezdeti hőmérséklet nemcsak az elméleti és a gyakorlati hatásfokot növelte. Lehetővé tette a nagyobb nyomással való üzemeltetést, ez viszont egyéb korszerüsitésekkel együtt n a g y o b b kazánok és turbinák épitéséhez vezetett, s az erőművek méretének és specifikus teljesitményének növekedése minden egyébnél nagyobb mértékben játszott közre a költségek csökkenésében.

Régebbi reaktortipusok

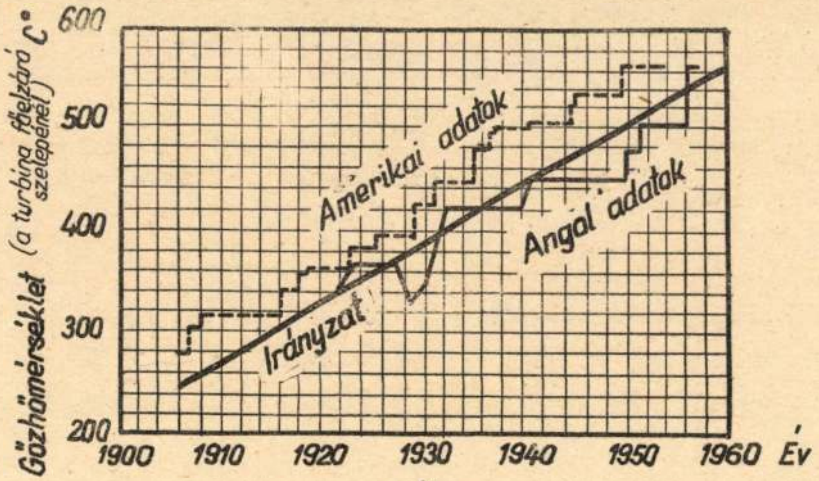
Nagy-Britannia a reaktortervezéssel kapcsolatos első tapasztalatait a harwelli kisérleti reaktor /BEPO/ épitésében szerezte. Ezt a reaktort 2,3 cm átmérőjü, hengeralaku uránium fütőelemekkel tervezték, sima aluminiumtokban. Az uránium felületének hőmérsékletmaximumát a reaktorban 200 C°-os konstans értéken rögzitették, a reaktorból kilépő levegő hőmérséklete 90 C° volt. E fütőanyag átlagos specifikus hőteljesitménye mindössze 0,15 MW/tonna volt. Ezt a mérsékelt teljesitményt nem vehették alapul a Windscale-i reaktorok tervezésében, s alapos megfontolások után ugy döntöttek, hogy e reaktorok fütőanyagául hengeres urániumrudakat használnak, bordázott aluminiumtokolással. A tok maximális hőmérsékletének tervezett értéke 300 C°. E reaktorok hatéves müködési időtartama alatt lehetséges volt az üzemeltetési körülményeket annyira javitani, hogy a maximális tok-hőmérséklet 340 C°-ra és az uránium maximális hőmérséklete a középpontban 395 C°-ra emelkedett.

Szembetünő a tervezésben követett célok konzervativ volta, de az atomerőmü-tervezés jellemző sajátsága, hogy a

II. táblázat

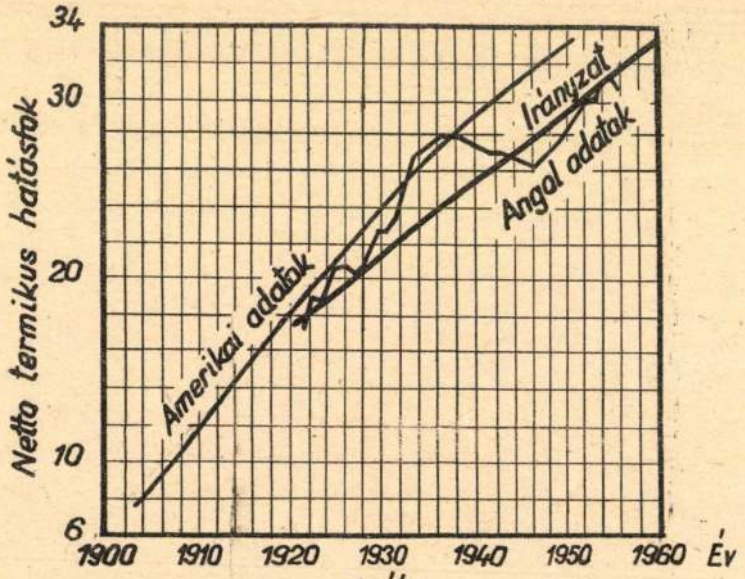
Olajtüzelésü erőmüvek adatai

	Év	Átlagos tonnánkénti beruházási költség dollárban	Tonnánkénti teljesitmény lóerőben	Egy lóerőre eső beruházási költség	Az egyenértékü beruházási költség dollárban 1954-ben
S	1920	230	8,62	26,7	51,4
T	1926	138	12,1	11,4	28,5
	1927	144,5	12,8	11,28	28,1
	1928	147,8	13,9	10,6	26,5
	1929	200,0	14,75	13,6	34,4
	1930	141,5	15,75	8,97	22,9
U	1939	227,0	29,9	7,58	18,2
	1940	264,0	33,0	8,0	17,3
V	1948	693,0	62,2	11,1	15,07
	1949	376,0	68,0	5,52	7,28
W	1954	-	-	-	12,0



3. ábra

A gőzhőmérséklet emelkedése az évek folyamán.



4. ábra

A hatásfok növekedése az évek folyamán.

legmerészebb ujitásokat a legszigorubban konzervativ előirások betartásával kell végrehajtani. A mérnöki tudományok minden más területén a fejlődést sokkal jobban elősegitették az elkövetett hibák, mint a bevált konstrukciók. A terhelés alatt összeroskadt hidak a hidépités tudományának nagyobb segitségére voltak, mint azok, amelyek jól beváltak; a felrobbanó kazánok inkább előmozditották a kazántervezés fejlődését, mint amelyekkel nem történt baleset; s azok a turbogenerátorok, amelyek csődöt mondottak, jobb leckét adtak a generátor-tervezőknek, mint azok, amelyek kifogástalanul müködtek. Az atomtechnika fejlődése azonban nélkülözni kénytelen a hibás konstrukció nyujtotta ismeretek előnyeit. Nagyobb reaktorbaleset ugyanis komoly veszélyt jelenthet a környék lakossága számára. Emellett még mindig sok az előitélet az atomenergiával szemben: sok ember képzeletében ez a fogalom a bombákhoz kapcsolódik, és egy ilyen baleset pszichológiai hatása az ipart jelentős időre visszavetné. Ezenkivül üzemben levő nukleáris berendezéseken javitásokat és módositásokat végrehajtani nehéz feladat, sőt sokszor lehetetlen is, igy az üzemzavar vagy baleset folytán keletkező kár elviselhetetlenül nagy lehet. Ezek azok a tényezők, amelyek alapján egészen szokatlanul nagy felelősség hárul az atomenergia hasznositására szolgáló berendezések tervezőire és épitőire.

A Windscale-reaktorok üzemi hőmérsékletének megtervezésénél a következő szempontok jöttek számitásba: először is gondoltunk a grafitmoderátor és a hütőlevegő között fellépő kémiai reakció lehetőségére, másodszor pedig a fütőelemekkel kapcsolatos üzemzavarok eshetőségére. Laboratóriumi kisérletek alapján az első nehézség nem látszott tul komolynak, ellenben gondolni kellett arra, hogy a szén/oxigén-reakció sebessége a neutronbesugárzás hatására esetleg növekszik. A tapasztalat szerint azonban ez a valóságban nem következett be.

A fütőelemekkel kapcsolatban többféle nehézséggel számoltunk. Először is igen nehezen sikerült a tokok számára

megfelelő kiváló minőségű aluminiumot beszerezni. Mint sok más könnyü fém, az aluminium is nehezen szabadul meg a salakzárványoktól, az olvasztás során. Ha már most ilyen salakzárványok fordulnak elő a tokok falát alkotó vékony aluminiumlemezekben, melyekbe az urániumot helyezik, ez könnyen a tokok meghibásodására vezethet. Másodszor, ismeretes, hogy uránium és aluminium között reakció lép fel, melynek eredményeképpen egy olyan vegyület /UAl_3/ keletkezik, amely jóval nagyobb térfogattal rendelkezik, mint alkotóelemei külön-külön, és ez a tokok feldudorodását és végül törését idézheti elő. Ezt a problémát sikerült ugy megoldani, hogy az uránium és a tok közé egy nem reagens réteget iktattak be. Rájöttek azonban arra, hogy bár ez általában hatásos, mégis felléphetnek olyan körülmények, amikor ez a védőréteg felmondja a szolgálatot, és a két fém érintkezésbe kerül egymással. A harmadik eshetőség, mellyel foglalkoznunk kellett, az uránium ill. aluminium plasztikus deformációja. Ezt ellensulyozta az, hogy a fütőelemeket vizszintesen helyezték el a reaktorban és állandó alátámasztással látták el. Ez a jelenség végül is sokkal kevésbé lényegesnek bizonyult, mint pl. az uránium besugárzás alatti deformációja.

A reaktormagban uralkodó üzemi körülmények között minden egyes urániumkristály hajlamos arra, hogy 3 főtengelye közül valamelyikének irányában megnyuljon. A többkristályu urániumnál ennek többféle következménye lehet. Ezek közül a legfontosabb a felület megráncosodása olyan helyen, ahol a kristályokat a mellette levők nem szoritják elég erősen. Egy-egy ilyen "ránc" akár 1,5 mm mély is lehet. Ha az ilyen kristályok eloszlása nem statisztikus, akkor ezek a kitüremlések az urániumrud egész alakját megváltoztathatják, és ezért a toknak elég rugalmasnak kell lennie ahhoz, hogy ezt a deformációt károsodás nélkül ki tudja állni. Végeredményben a Windscale-reaktorokban a tokokat ugy kellett készitenі, hogy az uránium részére hajlékony burkot képezzenek.

Most már tisztában vagyunk azzal, hogy az ilyen kristálydeformációk jelentéktelenné tehetők; az uránium finomszem-

c.. s szerkezetü, rendszertelen eloszlásu kristályokból áll. Azt is megállapitották, hogy az egyes kristályok növekedési sebessége 200 C° körül maximumot ért el, és 400 C° felett teljesen eltünik. Ezek a jelenségek azonban olyan körülményekre vezetnek a reaktorokban, melyek a fütőelemek meghibásodását okozhatják. Ha ilyen meghibásodás lépne fel, a fütőelem oxidálódnék, és ezáltal uránium és hasadási termékek kerülnének ki a reaktorból, messze a reaktor kimenetén tulra. Éppen ezért detektáló berendezéseket állitottak fel, melyek az egyes csatornákon át távozó levegőből mintát vesznek. Ha egy fütőelem meghibásodott, akkor hasadási termékek jutnak belőle a hütő gázáramba. Ezek közül a hasadási termékek k.. egyesek gázalakban szabadulnak ki, de bomlanak, és e- közben szilárd radioaktiv származékaik keletkeznek. Ha a levegőpróbákat filtráljuk és a szürletben levő szilárd alkatrészeket elektrosztatikus módszerrel egy GM-csövön átvezetett drótra kicsapjuk, ugy a kimeneti gáz radioaktivitását mérni tudjuk, és igy a meghibásodott fütőelemek helye is megállapitható. Azonban nem volt arra mód, hogy a reaktor valamennyi légcsatornájából folyamatos levegőmintákat vegyenek; ezért az eredeti tervnek megfelelően minden egyes légcsatornából négy óránként csak egyszer, éspedig 20 percig vesznek levegőt. Azonban egy fütőelem a teljes tönkremenésig fokozódó oxidációjának sebessége a növekvő hőmérséklettel igen gyorsan nő, és ezért a reaktor üzemi hőmérsékletét ugy kellett megszabni, hogy egy kezdődő hibának ne lehessenek sulyos következményei a következő mintavételig.

Az emlitett nehézségek ellenére, a reaktortervezés idején még hiányos ismereteink dacára, e reaktorok kezdeti üzemeltetésénél a teljes besugárzásnak kitett 200 000 fütőelem közül csak 27 hibásodott meg.

A Calder-reaktorok fő jellemvonásai

Ha most a Windscale-reaktorról, amelyben az egész felszabadult hőmennyiség felhasználatlanul maradt, áttérünk a

Calder Hall-i reaktor tárgyalására, amelynél a hőt elektromos energiatermelésre használjuk fel, a maximális tok-hőmérséklet egyszerre 408 C°-ig, a gáz kimeneti hőmérséklete pedig 336 C°-ig ugrik fel. Most azon fejlődést vizsgáljuk meg, amely az üzemi hőmérséklet e növekedését lehetővé tette.

Először is a Calder Hall-i reaktort 7 atm. nyomású széndioxid cirkuláltatásával hütik, míg a Windscale-reaktorokat atmoszféra nyomásu levegővel. Ezt a változást mindenekelőtt azért hozták létre, hogy megjavitsák a hütőközeg hőkapacitását; ezzel még kémiai és metallurgiai előnyök is együttjárnak. Igy jelentékenyen csökkent a grafit szennyeződésének veszélye is. A Calder Hall-i reaktorokban a grafit hőmérséklete 140-345 C° között változik, s a kisérleti munka megmutatta, hogy még magasabb hőmérsékletnél sem lép fel a széndioxid nagyobbmérvü elbomlása, még ha figyelembe vesszük is azt a tényt, hogy a lebomlás neutronbesugárzás jelenlétében jelentékenyebbé válik. A széndioxid hütőként való alkalmazása bizonyos mértékben eloszlatta a hibássá vált tokokban levő uránium oxidációja miatti aggodalmakat. A kisérletek kimutatták, hogy a széndioxid reakciósebessége az uránnak a Calder Hall-i reaktorban elért hőmérsékletén sokkal kisebb, mint a légköri oxigén megfelelő reakciósebessége a Windscale-reaktor hőmérsékletén.

Nagy lépést jelentett előre az az elhatározás, hogy aluminium helyett magnézium-tokokat használnak. Már rámutattunk arra, hogy az urán és az aluminium kémiai reakcióba lép, s ez a reakció a hőmérséklet növekedtével egyre gyorsabbá válik. Ha nem sikerült volna találni kevésbé reaktiv tokanyagot, mint amilyent a Windscale-i fütőelemeknél alkalmaztak, nem tudtak volna aluminium-tokok használatával a Windscale-inél jelentékenyen nagyobb tokhőmérsékletet előállitani. Már Windscale-ben gondoltak arra, hogy a tokanyagként magnéziumot alkalmazzanak, de a velejáró tüzveszély miatt elvetették az ötletet. Bár ez a veszély közvetlenül nem fenyegetett, a következmények tul sulyosaknak látszottak ahhoz, hogy ezt a na-

gyon távoli kockázatot elvállalják. A Harwellben lefolytatott kutatások eredményeként azonban egy egész sor olyan magnéziumötvözetet alakitottak ki, amelyek nem hajlamosak az öngyulladásra. Ez, és még az a tény, hogy a magnézium sokkal kisebb valószinüséggel reagál a széndioxiddal, mint a légköri oxigénnel, elegendő biztositékot nyujtott a magnézium tokanyagként való alkalmazására. A magnézium az urániummal nem képez vegyületet, igy a tok meghibásodásának ez az oka elesik, s nagyobb hőmérsékletek elérését teszi lehetővé. Amint a Windscale-i reaktorok esetében is, ugy Calder Hallban is, az uránrudban létrejövő méretváltozások mértéke olyan nagy, hogy a toknak hajlékony burokként kell viselkednie; biztositanunk kellett tehát, hogy az ajánlott magnéziumötvözet oly tulajdonságokkal rendelkezzék, amely e kivánalmaknak megfelel. A magnézium feszültség alatti megnyulása a 250 C^{o}-ig terjedő tartományban kicsi; a fém azonban határozott hajlamot mutat arra, hogy nagy szemcséket alkosson, különösen ha hosszu időn át hevitik; a szemcsenagyság növekedése pedig várhatóan előnyösen befolyásolja a nyujthatóságot. A kutatómunkát e szemcsenövekedés befolyásolásának irányában kezdték el, és elő is állitottak egy olyan ötvözetet, amelynek megfelelő tulajdonságai vannak. E munka folyamán kiderült, hogy bizonyos körülmények között gömbalaku üregek alakulhatnak ki a szemcsehatárokon. Először azt hitték, hogy ez határt szab a megengedhető deformációnak, mert ezen üregek csatornákká állhatnak össze, s ezeken keresztül az oxigén hozzáférhet a belül levő uránhoz. Ma már megállapitott tény azonban, hogy ez csak akkor fordulhat elő, ha a hézagok repedésekké egyesülnek, a tartós folyás első lépéseként.

A fütőelemek elhajlása

A Calder Hall-i reaktorokban a fütőelemek függőlegesen helyezkednek el, s egymás fölé vannak helyezve. Igy mindegyik elem viseli a felette levő valamennyi fütőelem sulyát. Azért fogadták el ezt az elrendezést, hogy egyszerü legyen, s hogy megtakaritsák azt az időt és kisérleti munkát, amely a

fütőelemeket külön-külön rögzitő elrendezés megvalósitásához lett volna szükséges. Az elrendezés igy támasztóoszlopként veszi igénybe a fütőelemeket, és mivel a reaktorban fellépő hőmérsékleteken az uránium tartós folyási határa alacsony, megvan annak a valószinüsége, hogy a fütőelemek a terhelés alatt elhajlanak. Ha a görbülés nagymértékü, komoly bajt okozhat, mert megnehezitheti a fütőelem kihuzását. Ezért a tartós folyás vizsgálatára komoly kisérleteket végeztek, s ezek alapján ugy látszik, hogy a legnagyobb plasztikus deformációk a reaktor közepe felé lépnek fel, ahol - bár a fütőelemek megterhelése nem a legnagyobb - a hőmérséklet magasabb.

Röviddel a reaktor megindulása előtt azonban Mr. Cottrell Harwellben azt a véleményét fejezte ki, hogy a legrosszabb körülmények valójában a legalsó fütőelemeknél léphetnek fel, bár ezek nincsenek kitéve olyan magas hőmérsékletnek. Véleménye szerint a hasadás nagy feszültségü vékony övezeteket hozhat létre, s ez a feszültség az anyagra oly hatással van, mintha valójában a számitottnál nagyobb terhelésnek lenne kitéve. Szükséges volt tehát gyorsan kiszámitani a hatások nagyságrendjét és ez - mivel a deformáció sebessége nagyon kicsi /:10^{-6}/óra:/ - nagyon nehéz feladatot jelentett.

Háromféle kisérletet végeztek. Az egyiknél urán spirálrugót terheltek axiálisan, neutronfluxusban. A másiknál több, végeiken alátámasztott vizszintes uránrudat sugároztak be a Windscale-i reaktorokban, s terhelésnek tették ki őket. A harmadiknál egy teljes méretü fütőelemet sugároztak be speciálisen tervezett berendezésben, amelyben terhelésnek vetették alá. E próbák megerősitették Cottrell elméletét, s a hatás nagyságának számértékét is megadták.

Abban az időben az első Calder-reaktor feltöltése már folyamatban volt, s lehetetlen volt, hogy bármilyen módositást hajtsanak végre a terven. A próbák különben azt mutatták, hogy az első töltésnél sikerül a tervezett besugárzást elérni. Bi-
KFKI 204

zonyos fütőelemcsatornákat ekkor eltávolitottak, és ilymódon üzem közben nyilt mód Cottrell elméletét ellenőrizni. Ez az ellenőrzés meg is történt, és igazolta a Cottrell-elmélet helyességét. A probléma egyébként Calder Hallban könnyen megoldható; itt ugyanis van arra mód, hogy a fütőelemeket végeiken alátámasszák. A legujabb reaktortervezési vizsgálatok azt mutatják, hogy mód van minden egyes fütőelem külön-külön történő mechnikus rögzitésére is.

A fütőelemek mellett a Calder-reaktor üzemi hőmérsékletének és többi paraméterének meghatározásában a következő problémát a reaktormagot körülvevő nyomástartály megépitése jelentette. Calder Hallban ez a tartály hengeralaku, 1127,7 cm átmérőjü és 2133,5 cm teljes magasságu. Alsó és felső lapja bolygozott. Ilyen tartályt szükségképpen a helyszinen kell előállitani. Érdekes, hogy a helyszinen való gyártás egyaránt jellemző a konvencionális és a nukleáris erőművek kezdeti szakaszára. Watt valamennyi korai gőzgépét a helyszinen készitette, s nem mühelyekben állitották össze. Amint a hagyományos erőművek szerkesztésének e jellemvonása eltünt az erőmüépités fejlődésével, ugy szünik ez meg végül, minden valószinüség szerint, az atomerőmüvek épitésének jellemvonása lenni. Ma még azonban ez olyan tulajdonság, amely pillanatnyilag létezik, s létezni fog a következő évtizedben is.

A nyomástartály szerkesztésénél mindenekelőtt meg kell határozni azt a maximális falvastagságot, amelyet biztonsággal lehet a helyszinen hegeszteni és átvilágitani. Calder Hallbán e vastagságot 5,08 cm-nek találták. Gondosan kellett tanulmányozni, hogy a lemezeknél milyen fajta acélt használjanak. A helyszini hegesztés körülményei a környezet hőmérsékletében gyors változásokra vezethetnek; ezek hátrányosak, s rideg szakadásokat okozhatnak. Továbbá, mivel a nyomástartály 350 C° maximális üzemi hőmérsékletnek van kitéve, oly acélt kell választani, amelynek kielégitő tartós folyási határa van.

Olyan finomszemcsés acélra volt szükség, amely alacsony hőmérsékleten megfelelő hornyolt szakithatósággal és jó hegeszthetőséggel rendelkezik. Finomszemcsés acél alkalmazását követeli meg annak a lehetősége is, hogy a besugárzás ronthatja a a hornyolt szakithatóságot alacsony hőmérsékleteken. E követelményeket a "Lowtem" elégitette ki, amely teljesen pihentetett aluminium-acél.

A Calder tipusok óta fellépő fejlődés

A Calder Hall-i reaktorok már dolgoznak, s ezuton megteendő következő lépésünk az lesz, hogy meghatározzuk az 1961 vége felé induló reaktorok üzemi paramétereit. Nyugodtan irhatjuk elő a tok maximális hőmérsékletéül a 450 C^{o}-ot. Ezt a Calder Hall-i reaktorok 408 C^{o}-os hőmérsékletéhez képest történő haladást nem a tokanyag vagy a tok gyártási eljárásának valamilyen tökéletesitése, de nem is az uránfütőelemek metallurgiájának megjavitása tette lehetővé, hanem az a növekvő biztonságérzet, amelyet a Calder Hall-i üzemeltetési tapasztalatok, valamint a fütőelemek egyenkénti megtámasztása eredményeztek. Ez az előrehaladás tehát nem annyira a metallurgia haladásán alapult, hanem inkább a mechanikai szerkesztés tökéletesitésén.

A nyomástartály szerkesztésénél az 5 cm-es lemezvastagságról 7,62 cm-re való áttérés kétségtelen előrehaladás volt. Ezt a haladást nagyrészt a Calder Hall-ban szerzett tapasztalatoknak köszönhetjük. Érdekes azonban megjegyezni azt, hogy a jelen körülmények között a hegesztések helyszinen történő röntgenezése e vastagságnál mind nehezebbé válik. A 7,62 cm vastag lemezek használata méginkább szükségessé teszi az anyag hornyolt szakithatóságának megállapitását.

Valószinüleg lesz olyan tervező, aki gömbalaku nyomástartályt használ, mivel e formánál kedvezőbb feszültségviszonyok állnak fenn. Ez a reaktor szerkesztési paramétereinek teljesen uj koordinálását teszi szükségessé. A feltételezett

viszonyok lehetővé teszik, hogy 18 m-es átmérőjü gömbtartályt épitsünk s ezért sokkal nagyobb teljesitményt kaphatunk, mint a Calder Hall-inál elért 35/40 eMW. Az optimális körülményeket valószinüleg ugy teremthetjük meg, hogy hütőgázunk üzemi nyomását kb. 10 atm.-nak választjuk. Ez oly nagy reaktor magátmérőt tesz lehetővé, amely kb. 130 eMW teljesitményt tud nyujtani. A szerkesztésnek e felfelé irányuló tendenciáját, a specifikus teljesitmény, a maximális tokhőmérséklet, s a gáz kimeneti hőmérsékletének növekedését az alábbiakban foglaljuk össze.

	BEPO	Windscale	Calder Hall	Tervezés alatt
Átlagos specifikus teljesitmény MW/t	0,15	0,75	1,4	2,00
Maximális tokhőmérséklet C°	200	300	408	450
A gáz kimeneti hőmérséklete C°	90	211	336	380

Igy nyomon követtük, hogyan emelkedik a hőciklusban elérhető kimeneti hőmérséklet 1947-től 1961-ig. A növekvő tendencia nagyon feltünő, s még egyre tart, de most a jövőre kell gondolnunk, s azt vizsgálnunk, hogy további fejlődés miként lehetséges.

Szinte biztos, hogy a magnéziumötvözetekkel kapcsolatos tapasztalatok s ezen ötvözet tökéletesitése biztositja azt, hogy egészen 475 C° tokhőmérsékletig használhassuk őket. Ha továbbra is hengeralaku uránrudakat használunk fütőelemként, a jelenlegi átlagos specifikus teljesitménnyel az urán közepén 620 C°-os hőmérsékletet érhetünk el.

Ha azonban tekintetbe vesszük a specifikus teljesitmények emelkedésének sebességét, ugy számitanunk kell a fütőelem belsejében 800 C°-os központi hőmérsékletre. Az urán allotrop módosulása 660 C° és 770 C° mellett következik be, s

jelentős térfogatváltozás lép fel mind a felső hőfokon, mind ennek megközelitése közben. Az urán általunk előrejósolt központi hőmérséklete ezért olyan tartományba visz bennünket, ahol a rud a középpontjában létrejövő térfogatváltozások nehézséget jelentenek. Ugy látszik tehát, hogy el kell vetnünk a hengeres rudalakot s vagy kis átmérőjü pálcát, lapos lemezt vagy csöves elemet kell használnunk. Mindezen geometriák növelik a fütőanyag kg-jára eső tokanyag sulyát, s ezért kedvezőtlenül befolyásolják a reaktor magfizikai tulajdonságait. Szinte teljesen bizonyos, hogy e kedvezőtlen hatás ellensulyozására kissé dusitott fütőanyag használata válik szükségessé.

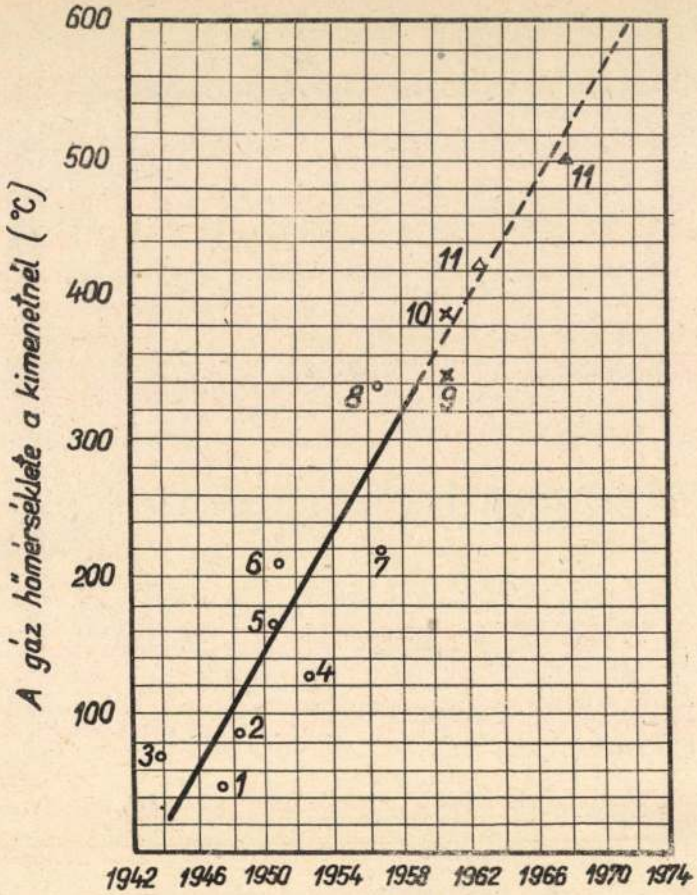
Mihelyt dusitjuk fütőelemeinket /azáltalpéldául, hogy uj rendszereinkbe a korábbi reaktorokból melléktermékként nyert plutoniumot tápláljuk vissza dusitóanyagként/ lényegesen növelnénk fütőanyagunk költségét és e költségesebb fütőanyag maximális kihasználását nem lehet korlátozni olyan tokanyag alkalmazásával, amely, mint pl. a magnézium, a tokhőmérséklet számára 500 C°-os abszolut határt szab. /A magnézium olvadáspontja 650 C°/. Itt tehát minden bizonnyal kénytelenek leszünk magasabb olvadáspontu tokanyagot használni. Gázhütésü reaktorokban ily szempontból legalkalmasabb anyag a berillium. A cirkónium, bár vizhütéses reaktoroknál kecsegtet bizonyos előnyökkel - a gázhütés esetén alkalmatlan, mert 500 C° fölött reakcióba lép a széndioxiddal. A berilliumnak viszont 1300 C° az olvadáspontja s a megvalósitható tokban száraz széndioxiddal 600 C° alatt nem reagál; az urániummal pedig egyáltalán nem vegyül. Kétséges azonban, hogy teljesen ki lehet használni a berillium összes előnyét tokanyagként alkalmazva addig, mig fütőanyagként fémuránt használunk, még ha vékony rétegek alakjában is. A berilliumnak mint tokanyagnak összes előnyeit valószinüleg csak keramikus vagy félkeramikus uránoxid fütőanyagként való alkalmazásával tudjuk hasznositani.

KFKI 204

A berillium-tokanyag fejlesztése további nehézségek elé állit bennünket. Szigoru elővigyázatossággal kell kezelni, mert mérgező; megfelelő minőségü berillium fémet eddig még nem állitottak elő nagyban; még sok kutatómunka szükséges gyártásával kapcsolatban. Nem valószinü, hogy 1963 előtt megindulhatnak berilliumot alkalmazó reaktorok s hogy ez időpontig 500 C°-os tok-hőmérsékletet s 425 C°-os kimeneti gázhőmérsékletet sikerül elérnünk.

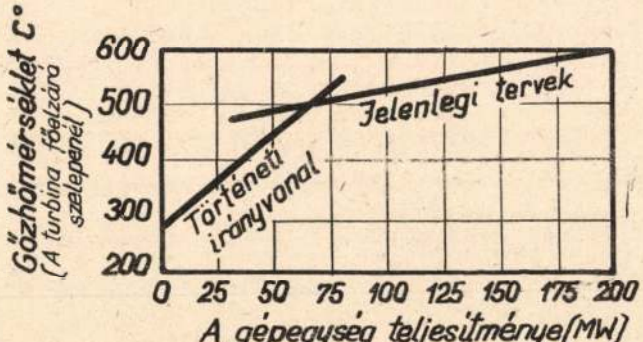
Mindez akkor áll fenn, ha fütőanyagként továbbra is fémuránt használunk. Ezen tulmenően megvan a lehetőség arra, hogy az uránt keramikus formában használjuk fel. Ez könnyen további 75 fokkal emelheti a hőmérsékletet, ugy hogy 1968-ig 600 C°-os tok-hőmérsékletet s kb. 500 C°-os kimeneti hőmérsékletet várhatunk. Az 1963-ra és 1968-ra itt jósolt tokhőmérsékletek minden valószinüség szerint megkövetelik, hogy a tokszerkesztést egészen uj alapokra helyezzék. Eddig a tokot a fütőanyagrudat körülvevő hajlékony buroknak képzeltük el; magát a fütőanyagot saját szilárdsága tartja. Az általunk jelzett nagyobb hőmérsékleteket valószinüleg csak ugy tudjuk elérni, ha a fütőelemet kivülről támasztjuk fel, akár a tokfal segitségével, akár más módon.

A gáz kimeneti hőmérsékletének emelkedését az utolsó 10 évben a 5. ábra mutatja. A berillium-tokozás és a keramikus fütőelemek itt vázolt lehetőségei alátámasztják a görbének 1968-70-es időszakaszra való extrapolációját. A hőmérséklet további növekedését, még az ábrán megadott időpontokon tul is minden bizonnyal meg is fogják valósitani. Nem számit, hogy jelenleg képtelenek vagyunk megmondani: miként; a 30-as évek vége felé, amikor Sir Leonard Pearce, a Battersea "B" erőművet szerkesztette, a turbina 90 atm nyomás és 510 C°-os hőmérséklet turbinaállási paraméterek mellett, sok mérnök /köztük én is/ azt vallotta, hogy eljutott a gazdaságosság határáig, s nehéz elképzelni, hogy az üzemi hőfokot tovább lehet növelni. Mégis ma 160 atm-ás nyomást és a tul-



5. ábra

A kimenő gáz hőmérsékletének emelkedése az évek folyamán.



6. ábra

A gőzhőmérséklet és a turbina nagyságának növekedese az időben.

hevitő kimeneténél 560 C° hőmérsékletet érnek el a modern hőerőművek szerkesztésénél.

Az üzemi hőmérsékletek növekedése természetesen sulyos problémákat idéz elő a nyomástartály szerkesztésénél; ez azonban kettősfalu, közbülső hütéses edények használatával megoldható ugy, hogy a külső héj ne legyen feleslegesen nagy hőmérsékletnek kitéve. A mechanikai szerkesztés fejlődését oly acélok használata követi majd, amelyeknek kiváló tulajdonságu tartós folyási határuk van. Ellentmondás van abban, hogy egyrészt nagy hornyolt szakitószilárdságra van szükség alacsony hőmérsékleteken, másrészt elég magas folyási határra. A megoldást valószinüleg valamilyen gyengén ötvözött acél szolgáltatja majd.

A nyomástartályok tervezésének és épitésének problémája elhanyagolható a fütőelemekkel kapcsolatos problémákhoz képest. Nem valószinü, hogy a tartályépités problémái fognak határt szabni a hőciklusban elérhető maximális hőmérsékletnek.

A termodinamikus körfolyamatban maximális hőmérséklettel kapcsolatos gőznyomás /más szavakkal azon hőmérsékleti tartomány nagysága, amelyet a gáz tulhevitéséhez fel kell használni/, a turbinatervező elhatározásától függ, de joggal feltételezhetjük, hogy az 1968-70 időszakra kb. 70 atm-ás gőznyomást használnak az addigra megvalósitható 700 C° körüli kimeneti gőzhőmérséklettel. Ez szükségessé teszi, hogy ujra átgondolják az atomerőmüvek kazánszerkesztési problémáit. A Calder Hall-i reaktorokból kilépő gáz egy 533,4 cm átmérőjü tartályon megy keresztül, s hőjét átadja a csöveknek, amelyeknek hőfelületét a Babcock-féle csőszerkezet felhasználásával növelték meg. Hogy a hütőgázból kapható hőt a legjobban hasznosithassák, a gőzt kétféle nyomáson termelik s átfolyó turbinában használják fel. A csövekben levő vizáramot szivattyuval segitik elő, a Lamond kazánoknál használt berendezésekhez hasonló rendszerrel.

KFKI 204

A gázhütésü reaktorokhoz szerkesztett kazánoknál lényeges követelmény az, hogy a hőkicserélő felületnek alkalmasnak kell lennie a hőnek száraz és teljesen tiszta gázból vizre való átvitelére, és semmi lehetőség sem állhat fenn arra nézve, hogy viz jusson a gázáramba. Kétséges,hogy a Babcock-féle rendszer ideális módja-e a hőátadó felület megnövelésének tökéletesen tiszta gáz esetén, s az is, hogy a fütőfelületeknek a Calder Hall-i kazánokban használt általános elrendezése kibirja-e azon magasabb hőmérsékleteket s nyomásokat, amelyeket az 1968-70-es időszakra megjósoltunk.

Az atomerőművekhez szükséges turbinák tervezési problémái már sokkal könnyebben megoldhatók. Az atomenergia bevezetése oly hatást gyakorol a turbinakivitelezőre, mintha az idő kerekét oly gépek gyártásának idejére forgatnánk vissza, amelyeket a 20 évvel ezelőtti hagyományos erőműveknél szabványos gőznyomásoknál lehetett használni. Ezóta a turbina főelzárószelepek növekvő nyomása nagyobb berendezéseket tett szükségessé, hogy elfogadható hatásfokot kapjanak a nagynyomásu hengerben. A nagyobb méreteket pedig egyéb vonalakon bekövetkezett fejlődés tette lehetővé, a nagyobb tulhevités alkalmazása viszont lehetővé tette, hogy elkerüljék a türhetetlenül nagy gőznedvességet a szivattyu végén, anélkül, hogy indokolatlanul bonyolult ujrahevitő berendezésekre lett volna szükség. Hogy mi módon függ össze a turbina mérete a turbina főelzárószelepénél levő hőmérséklettel, a 6. ábra mutatja. E görbét ezenkivül arra is fel lehet használni, hogy kijelöljük azt az utat, amelyen az atomerőművekben felhasznált turbinák mérete valószinüleg fejlődni fog. Ugy tünik azonban, hogy a használt berendezések mérete a kipuffogó nyilásnál fellépő konstrukciós problémáktól függ, s épp a kimenet konstrukciójának technikai tökéletesitése az a terület, amely felé a turbina-kutatást a leghasznosabban irányithatjuk.

Hangsulyoznunk kell, hogy e jóslásokat csak ugy kell venni, mint a fejlődés méreteinek első becsléseit s ezeket még nagyon gondos elemzésnek kell alávetniök azoknak a cégeknek, amelyek atomerőművek épitésével foglalkoznak. E cégeknek rá kell jönniök arra, hogy a 60-as évek végére az erőmü-vállalkozások nagy része e területre tolódik majd el. Ha pl. Anglia akkori helyzetét próbáljuk elképzelni, valószinü, hogy az Elektromos Hatóságok olyan programot fogadnak el, amelyben a hazai használatra épitett erőművek háromnegyede atomerőmü lesz; mig a 70-es évek elejére valószinü, hogy az ujonnan épitendő közszolgáltató erőműveknek majdnem 100 %-a lesz atomerőmü. A szerkesztés technológiája oly gyorsan fejlődik, hogy a gyáripar felkészülését prognozisokra kell alapozni.

Hőfolyamatunk kezdeti hőmérsékletén kivül az atomerőművek beruházási költségeit nagymértékben befolyásoló másik tényező a fütőelemek specifikus teljesitménye, vagyis az a hőmennyiség, amelyet a reaktorban levő fütőanyag 1 kg-jából mp-enként kivonhatunk. E teljesitmény meghatározása ismét csak kompromisszumot jelent; a specifikus teljesitményt mindig tudjuk emelni az elért maximális hőmérséklet feláldozásával, mivel ilymódon nagyobb hőmérséklet-különbség áll rendelkezésünkre a fütőelem és a hütő közt. /Itt kell még megjegyeznünk, hogy amint már láttuk, a fütőelem metallurgiája az, amely lényeges korlátokat állit a hőmérséklet elé/. Ettől eltekintve azonban a reaktorban levő fütőanyag fajlagos teljesitménye a rendelkezésre álló hőkicserélő felület tipusától s a hütőfolyadékok jellemvonásaitól függ.

Itt ismét kompromisszummal állunk szemben: hütőgázunk hőkapacitását nyomásának emelésével növelhetjük, mivel azonban a reaktormagot boritó nyomástartály acélfalának maximális vastagsága korlátot jelent, a tartály növelése az edény átmérőjének csökkentését teszi szükségessé, ezáltal a

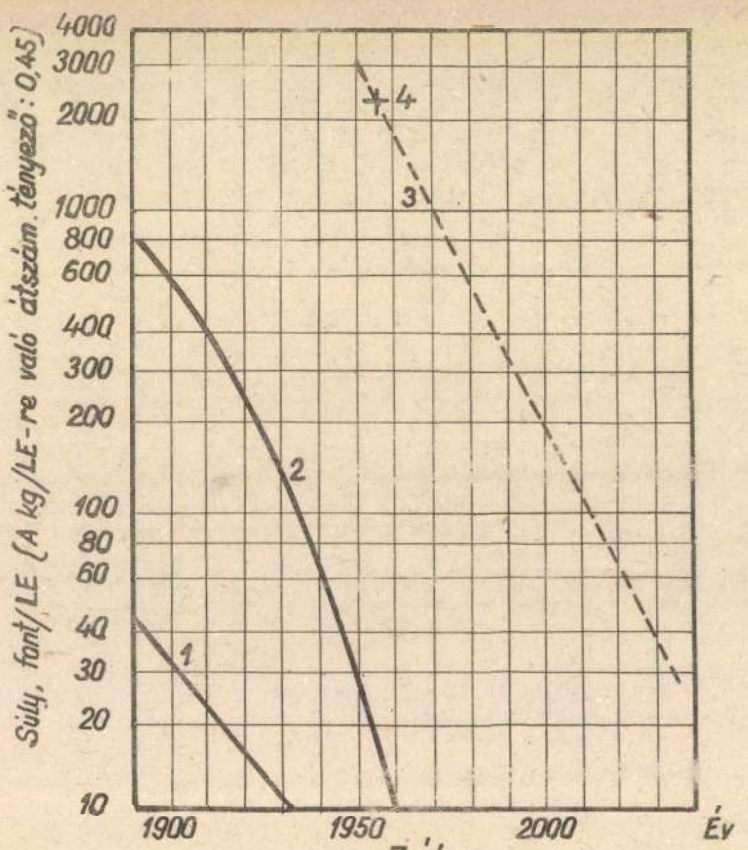
mag mérete is csökkent. Ez azután csökkenti a reaktor teljesitményét, és növeli a MW-kénti beruházási költséget.

További kompromisszumra kell lépnünk a tok bordás felületének szerkesztésénél. Hőkicserélő tulajdonságait javitani lehet a hütőbordákban levő anyag mennyiségének növelésével, ez azonban károsan visszahat a mag neutrongazdaságára.

A szerkesztés optimálissá tételénél számba veendő utolsó tényező a gázáram cirkuláltatásához használt fuvóventillátorok energiafogyasztása. Fütőelemeink specifikus teljesitményét azáltal is növelhetnénk, hogy nagyobb tömegü gázáramot használunk a hütőcsatornákban. E megnövelt hütőgáz áramlásban tartása viszont több energiát fogyaszt.

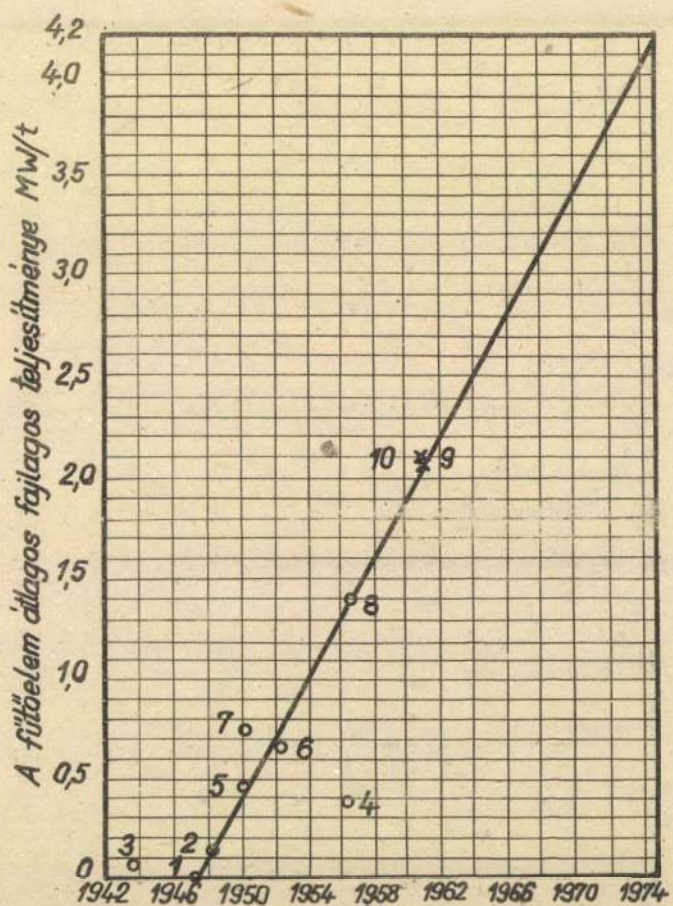
Tökéletesedést e téren attól is várhatunk, hogy más hütőgázt alkalmazunk, nem széndioxidot. Ezt azért választották, mert hőkapacitás és neutron-ökonomia tekintetében kielégitő megoldást jelent, emellett olcsó és könnyen beszerezhető. A héliumnak hütőként való alkalmazása is vonzónak látszik. Bár ugyanazon hőteljesitmény és hőmérsékleti tartomány esetén csak alig valamivel kevesebb cirkulációs energiát igényel, de kémiai szempontból tökéletesen semleges lévén, alkalmazása sok aggodalmat oszlatna el a fütőelemek és a nyomástartály szerkesztésével kapcsolatban a várható nagyobb hőmérséklet által támasztott követelmények kielégitése szempontjából. A héliumnak az a nagy hátránya van, hogy nagy mennyiségben csak egyetlen tengerentuli forrásból szerezhető be.

Másrészt a hidrogén rendelkezik előnyös anyagi paraméterekkel, de egyuttal komoly problémát is jelent. Hogy ugyanekkora hőteljesitményt és hőmérsékleti intervallumot érjünk el, a cirkulációhoz a széndioxidnál szükséges energiának csak 1/6-a szükséges. Ez a kis energiafogyasztás lehetőséget nyujt arra, hogy nagyobb áramsebességet létesitsünk. Ezzel szemben állnak hátrányai. A hidrogén az urániummal egy bizo-



7. ábra

A gőzturbinák, rögzített nyersolajmotorok és atomerőművek súlyának összehasonlítása.



8. ábra

A fűtőelem fajlagos teljesítményének növekedése az idővel.

nyos hőmérsékleti intervallumban öngyulladó vegyületet alkot; emellett ismeretes, hogy törékennyé edzi az acélt. Nem szabad azonban kizárnunk annak a lehetőségét, hogy e nehézséget le lehet győzni.

Meg kell említenünk, hogy a gázhütéses reaktorokban levő hőkicserélő felületek szerkesztéséhez a távolabbi jövőt illetően egészen uj módon kell közelednünk. Mint már láttuk, hogy eddig fütőelemeinket rudalakura terveztük, amelyek önmagukat merevitik, és a tokot, kiterjedt hőkicserélő felületével együtt, ezen uránrudat tartalmazó hajlékony buroknak tekintettük. De már jeleztük, hogy a hőmérséklet s a specifikus teljesitmény növelésével az önmerevitő uránrud fogalmának szinte biztosan el kell tünnie, s az urán vékony rud, vékonyfalu cső, vagy vékony lemez alakja figyelmünket valamilyen keramikus származék felé irányitja, amelyek már nem önmerevitők. Az ilyen tulajdonságu fütőelemeket a folyadékhütésü reaktorokkal kapcsolatban már tanulmányozták, de nem szenteltek nagy figyelmet a gázhütéssel kapcsolatos hőkicserélési problémáknak. A kutatásnak nagy területe van, amelyre több figyelmet kell forditanunk. Könnyen belátható, hogy a fütőelem specifikus teljesitménye közvetlenül megszabja az atomerőmünek a kimenő elektromos teljesitmény-egységre eső teljes sulyát. Ezért érdekes megnézni azt a változást, amelyen a hagyományos erőmüveknél az erőmü sulyának 1 HP-re eső hányada a multban keresztülment. Ezt a 7. ábra mutatja. Ezen az ábrán egy empirikus görbét is felrajzoltunk, tisztán a feltételezett analógia alapján, hogy jelezzük, miként csökkenhet az atomerőmü 1 kW-ra eső sulya. A 8. ábrán már látható, hogy a feltételezett tendenciát az atomerőmüveknek az utóbbi 10 év alatti története is igazolja. Az ábra azt mutatja, hogyan nőtt az eddig megépitett reaktorokban levő fütőanyag specifikus teljesitménye. Ha figyelembe vesszük, hogy szoros összefüggés áll fenn a fütőanyag specifikus teljesitménye és az atomerőmü sulya közt, nyilvánvalóvá válik, hogy a 8. ábra görbéje alátámasztja a 7. ábra görbéjének menetét.

Az atomenergia költségei a jövőben

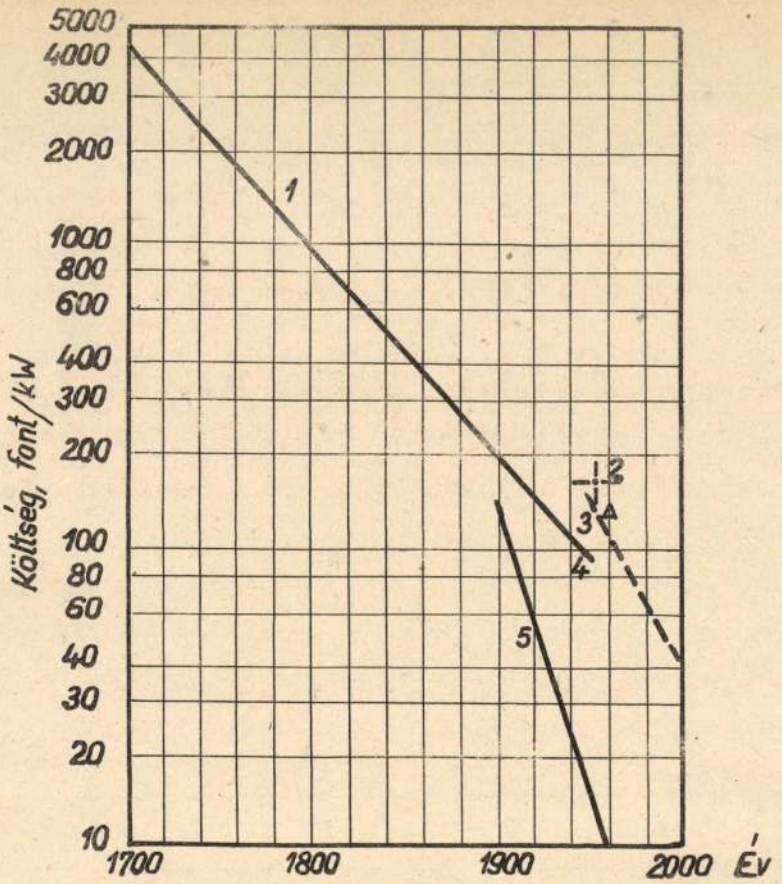
Előadásunk kezdetén azt tüztük ki magunk elé, hogy az elektromos energia atomerőművekben való fejlesztésének jövendő költségeit vizsgáljuk meg. Az 1. és 2. ábrán megnéztük azon hagyományos energiaforrások 1 kW-ra eső költségét, amelyeknek már hosszu történetük van. Analógiás alapon megjósoltuk az atomerőművek költségének alakulását, célul tüztük ki, hogy megnézzük, az atomtechnika rövid története mennyire támasztja alá e becsléseket, s hogy mennyire alapos technológiai okunk van arra, hogy el is várjuk azt a további fejlődést, amelyet általános elvek alapján megjósoltunk. Elvárhatjuk, hogy az 1. és 2.sz. ábrán látható görbék menetét elfogadhatóan alá tudjuk támasztani s e görbéket a 9. ábrára átrajzoltuk, ahol az atomerőművekre vonatkozó hasonló görbével együtt láthatók. Az előkalkulált beruházási költség ismeretében ki tudjuk majd számitani a kimenő teljesitményre eső költséget a jövő atomerőműveire vonatkozólag. E számitásokat a 3. táblázat, az összköltség menetét pedig a 10. ábra mutatja.

3. táblázat

Az atomerőművek által termelt energia költsége penny/nettókWó-ban

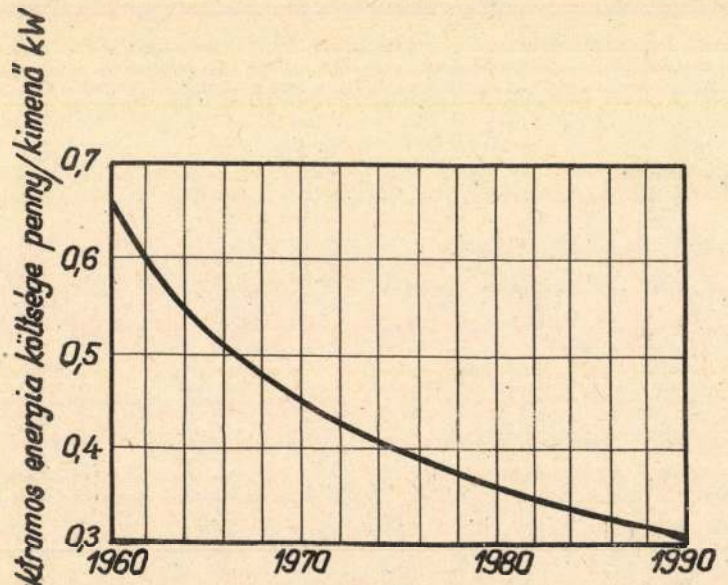
Megindulás időpontja	1960	1970	1980	1990
Beruházási tőkeköltség	0,37	0,30	0,26	0,22
A fütőanyagköltség kamata	0,06	0,04	0,03	0,02
Az évi cseretöltés	0,24	0,13	0,08	0,06
Üzemeltetési kiadások	0,06	0,05	0,04	0,03
Összesen:	0,73	0,52	0,41	0,33
Plutonium-jóváirás	0,07	0,05	0,03	0,01
Nettó	0,66	0,47	0,38	0,32

A 3. táblázat számadatai az e dolgozatban kifejtett érveken és becsléseken alapulnak. Megmutattuk, miként várhat-



9. ábra

Gőzerőművek, olajtüzelésű áramfejlesztők és atomerőművek beruházási költségei 1945-ös árakon.



10. ábra

Az atomerőművekkel termelt elektromosság költsége.

juk, hogy a beruházási költség a metallurgia fejlődése és hőciklusunk hőmérsékletének emelkedése következtében csökkenjen. Nemcsak a valószinünek látszó tökéletesitéseket vizsgáltuk meg, hanem megláttuk azt is, hogy a beruházási költség csökkenő irányzata a hagyományos energiaforrások eddigi történetében is tapasztalható. A 9. ábrán a gőzgépek és robbanó motorok beruházási költségének történetét ábrázoltuk az atomerőművek várható beruházási költségének görbéjével együtt. A tőkeköltségek kiszámitásánál figyelembe vettük, hogy az atomerőművek előreláthatóan nem lesznek olyan előnyös helyzetben, hogy állandóan alapterheléssel dolgozhatnak. Igy az 1970, 1980 és 1990 évekre vonatkozó számitásoknál 70, 65 ill. 60 %-os terhelési tényezőket használtunk. Bár a berillium-tokozás és a kerámia-technika növelik a fütőelemek tonnánkénti árát, a várható nagyobb besugárzás ellensulyozza a növekedést, és igy a fütőanyagköltségek csökkennek.

Plutoniumjóváirás

A plutoniumjóváirás is láthatóan csökken az idők folyamán. Ez azért van, mert a melléktermékként nyert plutonium a gyors-szaporitó és egyéb fejlettebb tipusu reaktorok fütőanyagaként adható el. Ezen reaktorok pedig csak olyan árat fizethetnek fütőanyagukért, amely mellett még a termelt elektromos energia költsége nem lesz nagyobb a tárgyalt uránium-töltésü atomerőművek termelési árainál. Ebből az következik tehát, hogy mivel az uránium-reaktorokban termelt energia költsége csökken, ezek a plutoniumfütésü reaktorok kevesebbet tudnak fizetni fütőanyagukért. A jóváirás csökkenésének másik oka az, hogy a növekvő besugárzással a plutoniumban levő nagy rendszámu izotópok mennyisége nő és igy csökkenti fütőanyag-értékét.

Természetesen az 1970, 1980 és 1990-re megadott számokat nem lehet pontos becsléseknek tekinteni, csak komoly és gondos kisérletet jelentenek a jövő feltárására. E jóslást az

irányzatok gondos elemzésére alapoztuk, és ezen elemzés egy részét végeztük el e cikkben.

Tegyük teljessé összehasonlításunkat azzal, hogy megbecsüljük azt a költséget, amellyel ezekben az években hagyományos erőművekben energiát termelhetünk. Félelmetes fejlődés ment végbe a háboru óta a hagyományos erőművek fejlesztésében, s e fejlődés még ma is tart. A termikus hatásfok növekszik és a generátorok és kazánok beruházási költsége csökken. Ezen tökéletesitéseket a 11. ábra mutatja. Kellemetlen azonban, hogy a szén ára reálértékben mérve 1925 óta állandó növekedést mutat /12. ábra/, s ez a növekedés elnyomja azon tökéletesitések hatását, amelyeket az erőmü-mérnökök létre tudnak hozni a hagyományos erőművek tervezésénél. Mindkét tényezőt figyelembe véve a 4. táblázatban megadjuk a hagyományos erőmü energiatermelési költségbecslését.

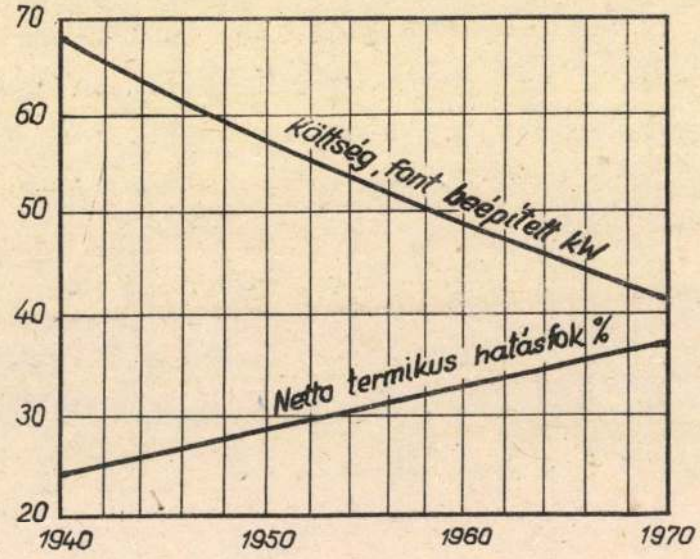
4. táblázat

Hagyományos erőmü által termelt energia költsége 75 %-os terhelés mellett

penny/nettókWó-ban

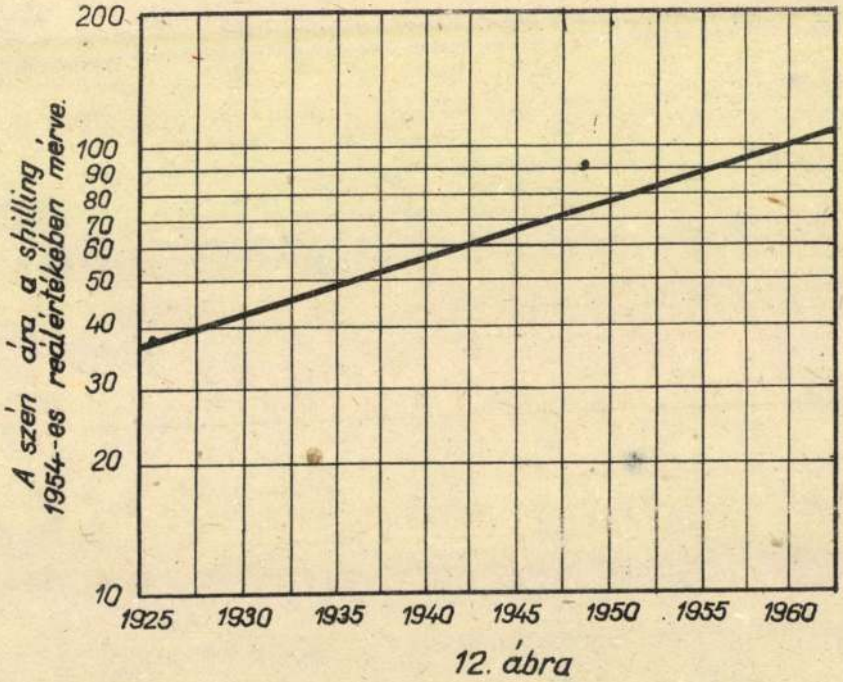
Üzem megindulása	1960	1970	1980	1990
Tőkeköltségek	0,12	0,11	0,09	0,08
Fütőanyagköltségek	0,44	0,52	0,60	0,72
Üzemi kiadások	0,04	0,04	0,04	0,04
Összesen	0,60	0,67	0,73	0,84

Természetesen lehet ugy érvelni, hogy a szén árának 1926 óta való növekedése /ami a 12. ábrán látható/ olyan időszakban ment végbe, amelyben a bányászok a legalacsonyabb ipari bérkategoriákból majdnem a legmagasabba verekedték fel magukat és hogy /elérve ezt a pontot/ a szén árának további növekedése meg fog állni. Viszont azt sem szabad elfelejtenünk, hogy az idők folyamán s a szükségletek növekedésével kevésbé könnyen kibányászható szénlelőhelyeket is ki kell aknázni. To-



11. ábra

A hagyományos erőművek beruházási és termikus hatásfoka.



12. ábra

A szén ára a shilling 1954 - es reálértékében mérve.

vábbá figyelembe kell vennünk azt is, hogy az atomenergia a hagyományos hőerőművek többlettermelését fogja helyettesiteni és igy éppen a legdrágábban kitermelhető aknák szenét pótolja. Mindent tekintetbe véve a 4. táblázat számadatai végülis elég reálisnak látszanak.

Ezt elfogadva, láthatjuk, hogy 1960-61-ben befejezendő első atomerőművek által termelt elektromos energia költsége várhatóan kissé magasabb lesz mint ugyanekkor induló hagyományos erőművek által termelt energiáé s mondjuk 1962-63-ban induló uj erőmü-csoportban ez az előny kis mértékben valószinüleg az atomerőművek oldalán fog jelentkezni. 1970-re az atomenergia lényegesen olcsóbb lesz, mint a hagyományos energia és ez az előny a további években csak nő. Ez biztosan kijelöli azt az utat, amelyen az iparnak haladnia kell; már jeleztük e cikkben, hogy az a gyors fejlődés, amelyet megjósoltunk, nem érhető el, ha jóelőre nem készülünk fel rá. E cikk célja az, hogy kijelölje az utat egy olyan területen, amely még feltérképezetlen; a szükséges fejlődést csak az igéretes, de kikutathatatlan ösvényeken való bátor áttöréstől remélhetjük.

Forditotta: Barlai Katalin,
Illy József,
Kovács Jenőné

KFKI 204

AZ IPARI HŐT TERMELŐ REAKTOROK PERSPEKTIVÁI

Nucleonics Vol.16. Number 2. 1958 February

Az ipari hő, mint az atomenergiaipar egyik fő terméke, egy alvó óriáshoz hasonlit. Ha a nukleáris eredetű energia is ugyanúgy oszlik el a fogyasztók között, mint a hagyományos energiaforrások energiája, azt várhatjuk, hogy a teljesitményreaktorokban fejlődő energiát sokkal nagyobb százalékban fogják ipari hő alakjában felhasználni, mint elektromos energia formájában. Ma Amerikában az összenergiának több mint 80 %-át közvetlenül hő-, s kevesebb, mint 20 %-át elektromos energia formájában használják fel. Ha ebből a nagy hőenergiamennyiségből levonjuk a fütésre és a közlekedésre forditott hőmennyiséget, úgy a maradék már az ipar hőfogyasztását jelenti. Ez a mennyiség ma jelentékenyen nagyobb, mint az elektromos centrálék hőfogyasztása, sőt a hőenergiafogyasztás mértéke erős ütemben nő.

Az ipari hőt termelő reaktorokat üzemi hőmérsékletük szerint célszerű két csoportba osztani:

a/ A 200°C hőmérsékletü gőzt termelő reaktorok;

b/ A minimálisan 800°C üzemi hőmérsékleten dolgozó reaktorok. Az előbbiek főképpen alacsony paraméterü, de nagytömegü gőzt igénylő gyártási folyamatokat látják el gőzzel, mig az utóbbiak speciális kémiai és metallurgiai eljárások számára fejlesztenek hőt.

Alacsony hőfokú reaktorok

Amerikában nagyon elterjedt a gőz alkalmazása. Nevezzünk meg néhány olyan folyamatot, melyeknél viszonylag alacsony hőmérsékletre van szükség. Ilyen módon állitanak elő textilszálakat, klórt és alkáliákat, foszforsavas mütrágyát, petróleumot, antibiotikumokat, cellulózét és papirt, aluminiumoxidot, stb. Ezek az üzemek 3-10 atm.túlnyomású, telitett

gőzzel dolgoznak, és vagy arra használják fel, hogy ezen a hőfokon az oldatokból kiszoritsák a vizet és igy száraz kemikáliákat állitsanak elő, vagy, hogy alacsony hőfoku hő hozzáadásával gazdaságossá gyorsitsák egyes kémiai reakciók végbemenését. A gőzgenerátorok nemcsak magas hatásfokkal /90-95 %/ rendelkeznek, hanem nyomásváltozás is ritkán és lassan jelentkezik. A karbantartáshoz szükséges rendszeres üzemszüneteket is kb. ugyanolyan gyakran és ugyanolyan hosszu ideig kell tartani a fosszilis fütőanyagu gőzkazánoknál, mint a reaktorokban.

Technikai szempontból sokkal kényelmesebb lenne a már meglevő féltucat reaktortipus valamelyikét felhasználni gőzelőállitás céljára. A legmegfelelőbb a 40-60 /th/MW nagyságrendü hőtermelő reaktor, mely a szekunder körben 200°C hőfoku és 10-17 atm. nyomásu gőzt ad. Szekunder körre legalább két okból lenne szükség:

a/ Néhány esetben a termelt gőz 50 %-a is használódik fel a kémiai folyamatokban, a gőz nagyrésze kicsapódik és ennek pótlására nagy költséggel kell nagytisztaságu vizet előállitani.

b/ Ezenkivül megvan a radioaktiv szennyeződés lehetősége is, bár kis valószinüséggel; ez pedig a reaktorban termelt gőz használatát kizárja.

Az alacsony hőmérsékletü gőzt termelő reaktorokkal kapcsolatos aggályok inkább gazdasági, mint müszaki természetüek. Eddig még nem világos, hogy a reaktorok a jelenlegi kereskedelmi áron képesek-e gőzt előállitani. Igy a hőtermelő reaktorok szerkesztésében az erőmü-mérnöknek inkább gazdasági, mint technikai követelményeket kell figyelembe venni. Helyes tervezésnél végső célként azt kell elérni, hogy a gőz előállitási költsége 65 cent/10^6 BTU közelében vagy alatta legyen. Azért, hogy ezt a feltételt teljesiteni lehessen, célszerü, hogy olyan reaktort vegyenek, melyet technikai szempontból már kipróbáltak és az erőfeszitéseket arra összpontositották, hogy a beruházási és üzemeltetési

költségek alacsonyabbak legyenek, mint a hagyományos erőművéké.

Gőztermelésre bevált tipusterveik és alacsony beruházási költségeik miatt legmegfelelőbbnek látszanak a viznyomásos, a vizforraló és esetleg a szerves moderátoru reaktorok. Egy, óránként 60 000 kg gőzt termelő és igy kb. 40 MW-teljesitményü erőmü beruházási költsége nem lehet több kétmillió dollárnál, beleértve az aktiv zóna és a tápelemek első fütőelemtöltés költségét, ha el akarjuk érni a 0,0022 $ kWóra /azaz 65 cent/10^6 BTU/ árat a hőfejlesztés terén.

Az alacsony hőmérsékletü ipari hő iránt támasztott szerényebb paraméter-igények sok megtakaritást tesznek lehetővé a tervezés során.

Igy pl. az aluminiumboritásu reaktor fütőelemek is éppen ugy megfelelnek, mint a drága rozsdamentes acéllal vagy cirkóniummal boritottak. A nagynyomásu tartály, csővezeték, hőkicserélők és szivattyuk a primér hurokban szénacélból készithetők, vagy pedig a széles körben használt valamilyen gyengén ötvözött acélból. A primér körben boritásul kereskedelmi forgalomban levő tokanyagok is megfelelnek; ezzel szemben a drága rozsdamentes acél alkalmazása gazdaságossági okokból megengedhetetlen.

Szükségesnek mutatkozik, hogy a biztonsági szempontok egyidejü betartása mellett komoly müszaki-tervezői erőfeszitéseket tegyünk szerkezeti anyagok és a tartályköltségek minimálissá-tétele érdekében. A lehető legkisebb befektetési és üzemeltetési költség csökkentése céljából nagyon kivánatos, hogy a hőerőmüben egyszerü és biztos müszerezés és szabályozás legyen alkalmazható.

Első időben az ipari gőzt termelő reaktorok két vagy három közönséges gőzkazánnal együtt fognak müködni és a re-

aktor üzemeltetői is a szokásos erőmüvek személyzetéből kerülnek ki. Minden erőmütelepen két vagy három reaktornak kellene lennie, hogy biztositsuk a gőztermelést az alatt az idő alatt is, mig valamelyik reaktort ujratöltés miatt leállitanak.

A probléma speciális természetéből következik, hogy a leállitásnál, ujratöltésnél és ujra beinditásnál a reaktornál magas szakképzettségü és nagy gyakorlattal rendelkező személyzetre van szükség. A nukleáris gőzgenerátoroknál ezekre az emberekre évenként egyszer vagy kétszer esetenként, néhány napra van szükség. Ezért erre a célra igen kivánatos lenne a reaktorépitő cég által fenntartott speciális service vagy külön e célra egy service-cég megalapitása. A reaktortulajdonos ennek a service-nek évi megállapitott bért fizetne.

Magas-hőmérsékletü reaktorok

A magas-hőmérsékletü reaktorok technológiája, eltérően a kis hőfokuaktól, még csak a kezdet kezdetén van. Ma még kevés adatunk van arra vonatkozólag, hogy a reaktorok egyáltalán képesek-e 800°C hőfokon müködni. Várható gazdaságossági tulajdonságaik nagyon ösztönzőek ilyen tipusu reaktorok épitésére. Hogy ezeket az elgondolásokat meg lehet-e valósitani vagy sem, azt a magas hőfoku technológia jövőbeni fejlődése dönti el.

A magas-hőfoku reaktorok alkalmazási területeit három csoportba lehet beosztani:

a/ olyan termelési eljárások, ahol a nukleáris eredetü hőt minden további nélkül fel lehet használni. Ilyen eljárások pl. szénhidrogének krakkolása, a rozsdamentes acél kinyerése martin-kemencékben;

b/ olyan folyamatokban, ahol is a nukleáris hő felhasználhatóságának lehetővételére bizonyos technológiai változtatásokat kell eszközölni. E szükséges változtatások azonban egyuttal előnyöket is nyujtanak a jelenlegi technológiákkal szemben.

Magas-hőmérsékletü reaktorok alkalmazása

Eljárás vagy termék	Hőmérséklet
Fémek zsugoritása vagy öntése	1650 - 3300 °C
Cottrell eljárás, nitrogén megkötése	2000 - 2200 "
Karbidok és grafit	2000 - 2200 "
Olvasztott szilicium, kvarc, stb.	1700 - 1800 "
Kerámia és tüzállótégla	1650 "
Rozsdamentes martinacél	1650 "
Üveg	1400 "
Cement	1350 "
Széngázositás	1350 "
Rézérckiolvasztás	1100 - 1650 "
[illegible] eljárás acetilén esetén	1000 - 1300 "
Vasérc közvetlen redukálása	1000 - 1350 "
Szénhidrogén krakkolás	1000 - 1200 "
Mészégetés	800 - 1100 "
Nátrium, magnézium kinyerése termikus uton	?
Kőolajtartalmu agyagos pala desztillálása	700 "

c/ Ezek olyan eljárások, melyeket a nukleáris hőenergia alkalmazásához teljesen át kell dolgozni. Pl. az anyagkinyerési eljárás, melynél nagy mennyiségü energia fogy, de nem feltétlenül szükséges a nagy hőmérséklet. Ilyen eljárások sorába tartozik pl. a magnéziumkinyerés termikus módszere vagy nátrium tisztitása desztillálással.

A fentebbi lista összeállitásánál nem volt döntő szempont az ilyen reaktor alkalmazásának jelenlegi vagy jövő gazdaságossága a kiválasztandó területen. Az összeállitás egyetlen kritériuma az volt, hogy az eljárások 800°C hőmérséklet felett igényeljenek hőt.

Bár mesterségesen mindig feloszthatjuk az ipari hőt termelő reaktorokat alacsony-, ill. magas-hőmérsékletüekre, a valóság az, hogy minden üzemben levő, magas hőmérsékletre

tervezett tipus alacsony hőfokon állit elő nagy mennyiségü energiát.

A magas hőfoku reaktorok lehetséges tipusai közül elképzelhetünk olyan rendszert, melyben a fütőelemeket közönséges uton, /azaz mint alacsony hőfoku reaktorokban/ hütik, de melynek aktiv zónáját olymódon épitették, hogy a gammasugarak és neutronok a reflektorban ill. moderátorban maximális felmelegedést idéznek elő. A reflektort és a moderátort hőszigeteléssel választják el a fütőelemtől és a primér hütőfolyadéktól és szekunder hütőfolyadékkal hütik. A szekunder vagy reflektor-hütőfolyadék a reaktormagot a magas hőmérsékleten, mig a primer- vagy fütőelem hütőfolyadék az aktiv zónát relative alacsony hőfokon hagyja el.

Ilyen elrendezést szükség esetén ott lehet alkalmazni, ahol magas hőmérsékletü hő szükséges a nyitott folyamatu vezérlő rendszerben és ahol a hütőfolyadékot a hasadási termékek nem szennyezik be. Ilyen elgondolás szerint elvégzett előzetes számitások azt mutatják, hogy a fejlesztett magas hőmérsékletü hőenergia összege az egész fejlesztett hőnek kb. csak 10 %-a. A legnagyobb arány is csak 14 % lehet.

A magas hőfoku reaktor alkalmazásának részletesebb vizsgálatánál figyelembe kell venni az ilyen reaktorok meglehetősen különös tulajdonságait és specifikus jellemzőit. Pl. az 1400°C feletti hőmérsékleteken a hasadási termékek együtt-tartása a fütőelemekben belül szinte lehetetlen. Ilyen hőmérsékleteken a rácsközökben visszatartott vagy más módon abszorbeált hasadótermékek illékonysága igen nagyfoku lesz.

Még toksérülés nélkül is várható, hogy a hasadási termékek diffuzió utján kijuthatnak a tok belsejéből.

A hütőfolyadék a fütőelemmel érintkezve éppen ugy radioaktivvá válik, mint a cirkuláló fütőanyag homogén reaktorokban. Ez pedig azt jelenti, hogy az áramló hütőfolyadék, mely a vegyi folyamatokhoz hőt szolgáltat, nem kerülhet közvetlen érintkezésbe a fütőelemekkel, hacsak nem lehet az ipari gőz radioaktiv.

A magas hőmérsékletü reaktorokkal kapcsolatos összes problémák közül a legnehezebb és legkritikusabb a szereplő anyagok problémája, mivel magas hőmérsékleteken az anyagok eróziója és korróziója meggyorsul. Ha a mechanikai komponensek ugy vannak megtervezve, hogy a keletkező nyomásnak ellenálljanak, ugy meg a termikus feszültségek lépik tul az illető anyagra kritikus határértéket. Csak az a vigasztaló, hogy a reaktoranyagok sugárzási károsodása nem jelentékeny, mivel az üzemi hőmérsékleten sugárzáskeltette feszültségek állandóan feloldódnak.

Forditotta: Koczogh Ákosné

AZ U.S.AEC IPARI-GŐZ TERMELŐ PROGRAMJA

J.F. Kaufmann és D.Stewart

Nucleonics, Vol.16. No 2, pp 62. /February 1958/

Az Egyesült Államok teljesitmény-reaktor átdolgozási programja keretében az U.S.AEC harmadik felhivása gondoskodik arról a lehetőségről, hogy a gőzt termelő reaktorok ugyanolyan támogatást kapjanak, mint az elektromos áramot fejlesztő reaktorok - mind az előtervezési kutatás vonalán és fejlesztésben, a fütőanyag használati dijáról való lemondás tekintetében, mind pedig a reaktor épitése utáni kutatásban.

Eltekintve ettől az általános támogatástól az AEC saját kutató munkájában nagy sulyt helyez a magas-hőmérsékletü ipari-gőzt termelő reaktorok fejlesztésére és háttérbe szoritja az alacsony hőfokon ipari-gőzt termelő reaktorokkal kapcsolatos vizsgálatokat. Ennek az az oka, hogy a felhalmozódott technológiai tapasztalatok alapján máris tudunk alacsony hőfoku ipari-gőzt termelő reaktorokat épiteni; az elektromos energiát előállitó reaktorokkal kapcsolatos tapasztalatokat pedig közvetlenül lehet alkalmazni az alacsony hőfoku reaktoroknál. Ezzel szemben a magas-hőmérsékletü egységek konstruálása terén jelenleg még nagyon sok a technikailag megoldatlan kérdés. Ezenfelül a magas-hőmérsékletü ipari-gőzt termelő reaktorok kifejlesztésének költségei messze tulhaladják a feltételezhető jövendő felhasználóinak pénzügyi-technikai kapacitását. Legtöbb ilyen vállalatnál a gőzfogyasztás költsége végtermékeik előállitási költségének csak kicsiny részét teszi ki és a magashőmérsékletü gőz fogyasztása üzemenként általánosságban kevesebb, mint 50 MW. Igy aztán nehéz rávenni az iparvállalatok vezetőit, hogy vállalják az uj reaktortipus kidolgozását és uj kémiai technológiai eljárások kikisérletezésével járó költséges vállalkozásba kezdjenek.

Magas-hőmérsékletű anyagvizsgáló reaktor

Várható, hogy az épitésre kerülő ipari-gőzt termelő reaktorokat eleinte csak egyetlen specifikus kémiai vagy metallurgiai eljárás céljaira tervezik meg és épitik fel. A konstrukciós anyagok kiválasztását, a fütőelem összetételét, hütőfolyadék elrendezését, stb. a gőztigénylő kémiai folyamat által megkivánt gőzparaméterek értéke szabja meg és igy az ilyen tipusu reaktorok első és esetleg második generációjának minden reaktora legalábbis egyedi konstrukciójú lesz. Következésképpen az AEC által végzett reaktortervezésnél a fejlesztés inkább az általános, mint a specifikus tipusra irányul. Ezért a hangsuly inkább a magashőmérsékletü anyagvizsgáló reaktor /HTTR/ fejlesztésén van. Mult évben ilyen kisérleti reaktor-tervezet tanulmányt a Nuclear Development Corporation of America /NDC/ készitett az AEC számára. A tervek szerint azonban az anyagvizsgáló része mindössze egyetlen nagy héliumkisérleti csatornára fog korlátozódni.

Nyilvánvaló, hogy a HTTR egy nagyon jellegzetes technikai anyagvizsgáló reaktor. Az egyik terv szerint négy-öt lazán csatolt kétrészes aktiv zónából állana. Minden egyes aktiv zóna viszont egy gyürüs fütőelem elrendezésből áll egy magas-hőmérsékletü központi zónával, amelyet hőszigetelés választ el a körülvevő alacsony-hőmérsékletü zónától. Minden egyes aktiv zónát ugy terveztek meg, hogy benne egy speciális hütőanyagot és ennek a különböző fütőelemekre gyakorolt hatását lehessen kipróbálni. Hütőközegként jelenleg mindenféle gáz szóbajön; köztük a nemes gázok: He, A, stb.; ugyanigy a vizgőz, a széndioxid, a szénmonoxid, a nitrogén és a levegő. E reaktorok tervezését mindaddig felfüggesztették, amig a vizsgálócsatornában lefolytatandó kisérletek nem bizonyitják be annak a lehetőségét, hogy a szóbanforgó nyomásokon és hőmérsékleteken hütőközeget tartsanak össze és cirkuláltassanak.

A széngázositás

A magas-hőmérsékletü hütőközegek közül a héliumot tanulmányozták eddig a legalaposabban. A hélium iránti érdeklő-

dést a Bányaügyi Főhatóság által a szén elgázositásával kapcsolatos kutatások váltották ki 1949-ben. A világitógáz előállitásának szokásos módja: viszonylag tiszta oxigénatmoszférában, gőz jelenlétében, kb. 1400°C-on szenet égetnek. 4 dollár/tonna szénárat és 6 dollár/tonna oxigénárat alapul véve az igy termelt hő ára kb. 4,80 dollár/10^6 kal. A nukleáris fütőanyag ára ezzel szemben csupán kb. 1,0 dollár/10^6 kal., feltételezve, hogy 1 gr U-235 előállitási ára 17 dollár.

A nukleáris eredetü hő ezek szerint versenyképesnek bizonyul szintetikus fütőanyagok előállitásánál, ha a reaktoron át poritott szén és gőz keverékét áramoltatják abból a célból, hogy "vizgázt" nyerjenek:

$$H_2O + C \quad CO + H_2$$

Az ipari-gáznak a reaktorban bekövetkező radioaktiv szennyeződése és a szén ártalmas alkatrészei /kén, stb./ miatt fennáll a mérgezés lehetősége; ezért szükség van egy zárt ciklusu, közbenső hőátadó folyadékra is.

A Bányaügyi Főhatóság és az AEC közt folyó összehangolt kutatási munkaprogramot több mint egy évvel ezelőtt inditották meg; legnagyobb sulyt fektetve a magashőmérsékletü kisérleti csatornák kifejlesztésére. Kezdeti lépésként a Morgantown Experiment Station-en egy kis vizsgálócsatornát konstruáltak meg. Később egy nagyobb csatornát is fognak létesiteni, melyben indukciós fütőn át kb. 140 atm. nyomás alatt állandóan héliumot cirkuláltatnak. A fütőben a hélium hőmérséklete kb. 1400°C-ra emelkedik. A hélium innen ömlik a hőkicserélőhöz, ahol leadja a hőt a levegőnek. A kb. 800°C-ra lehült hélium innen egy speciális ventillátor segitségével az indukciós fütőhöz tér vissza.

A kisérleti csatorna összeállitása és eredményes müködtetése jelentős teljesitményt jelent. A csatorna minden egyes összetevője, a csővezetéktől a mérőberendezésig, teljesen uj, eddig soha nem épitett konstrukció.

Forditotta: Koczogh Ákosné

OLCSÓ HŐTERMELŐ REAKTOR

E.L.Heller és D.O.Hubbard.

Nucleonics, 16, No2, p.69 /February 1958/

Az alábbiakban egy, a Bell Aircraft Corp. által tervezett nukleáris gőzfejlesztő egységet mutatunk be. Kivitelezésére nem került sor. Ez alacsony-nyomásu gőzfejlesztő-egység lenne és versenyképes a hagyományos tüzelésü gőzfejlesztő üzemekkel, melyek 2,60 $/$10^6$ kgkal-ás vagy ennél magasabb tüzelőanyagköltséggel dolgoznak. A reaktor viznyomásos tipusu, 10 atm nyomással és 60 000 kg/óra telitett gőzt termel kb. 40 MW-os hőteljesitménnyel. Fütőanyaga 10 kg dusitott U-235, az első töltés legalább hat hónapig működne és végül is 30%-os kiégetést érne el. 1,7 tonnányi természetes UO_2 szaporitóanyag venné körül a magot, ennek élettartama kb. 5 000 MWnap/tonna. Aluminium vagy lehetőleg alumínium-nikkel ötvözetből készült tokok esetén, a viz a primér körben 232 C^0 hőmérsékleten tartható nagy korroziós veszély nélkül. Gazdaságosságát az biztositja, hogy a szaporitózónában 1 - 1,25-ször annyi hő fejlődik, mint a fütőelemekben.

Azért, hogy a költségeket csökkentsék, szénacélt és aluminiumot használtak reaktor szerkezeti anyagként, rozsdamentes acélt csak a lehető legkisebb mennyiségben.

A fütőelemek MTR-tipusu aluminium-tokolásu, a szaporitózóna UO_2 gömböcskéket tartalmazó aluminiumcsövekből áll. Ahol csak megbizható és olcsón beszerezhető alkatrészek, valamint szivattyuk, szelepek, gőzgenerátorok és nyomókompresszorok /speciális sürítők/ léteznek, ott a gőzfejlesztő specifikációja mindenütt ezeket a standard berendezési tárgyakat irja elő. A reaktortartályt szénacélból készitették, a belső boritást rozsdamentes acélból, méretei: 1,35 m belső átmérő és 3,5 m magasság. Hogy a fütőelem- ill. szaporitóanyagcsere esetére is biztonságos üzemet biztositsanak, a reaktort 6 m-es vizréteg alatt betonaknában helyezik el.

KFKI 204

Az erőmű üzemeltetése. Az erőmű teljesen automatikusan fog működni. A reaktor szabályozása félig-szabványos lesz. Normális üzemben a primer-vizhőmérséklet működteti a szabályozást. A vizhőmérsékletet használják fel a reaktivitás mértékének ellenőrzésére, amely vizhőmérséklet pedig a szabályozó rudakat hozza működésbe, hogy az előirt reaktivitást állandóan tartsuk. A reaktort beinditó szabályozó rudak visszahuzását automatikusan vezérlik, hogy a reaktivitás változási sebességét a biztonsági határok között megtartsák, mig a gőz áramlási sebessége el nem éri az előirt értéket. Üzemzavar esetén a "Vészgomb" azonnal leállitja a működést.

Beruházási költségek

	költség /10^3dollár/
reaktor, sugárvédőfal és szigetelés	79
aktiv zóna és szaporitó zóna	193
gőzgenerátor és kompresszor	197
szivattyuk és szelepek	146
mérő müszerek és ellenőrző müszerek	131
vizkezelő berendezés	42
egyéb berendezés	63
tartály	150
vezérlő épület	20
épitkezési munka	170
a terep előkészitése /telek,ut,közmüvek/	84
gépészeti munkák és üzemeltetési költségek	200
egyéb nem részletezett kiadások	293
összesen:	1 768.10^3dollár=
	= 44 dollár/ th kW

Hőfejlesztési költségek. A 60 000 kg/óra kapacitásu üzem üzemeltetési költsége 1,20 dollár/10^6 kgkal. Az amortizációs és egyéb különféle költségeket 0,85 dollár/10^6 kgkalra becsülték. Igy a bruttó termelési költség 2,05 dollár/10^6 kgkal; ebből levonhatjuk a plutoniumjóváirást, azaz 0,28 dol-

lár/10^6kgkal-át. Igy a gőzfejlesztés nettó termelési költsége 100 %-os üzemeltetés mellett 1,77 dollár/10^6kgkal. Ez a termelési költség már versenyképes a kb. 90 % terhelési faktor melletti 10 dolláros szénárral és 8 centes kőolajárral. Más terhelési tényező esetén sincs tul nagy eltérés. A nukleáris gőzfejlesztés beruházási költsége magasabb, mint a hasonló méretü konvencionális fütőanyagu gőzgenerátoroké. A számok részletezését táblázatban adjuk. Ha azt vesszük alapul, hogy a 60 000 kg/óra kapacitásu szénfütésü gőzfejlesztő üzem beruházási költsége 1 200 000 dollár, ugy a nukleáris gőzfejlesztő berendezés 568 000 dollárral lesz drágább. A nukleáris gőzfejlesztő üzemeltetési költsége, a 65 centes konvencionális gőzfejlesztésü plutoniumjóváirás figyelembevételével, evente 240 100 dollár. Igy a beruházási költségtöbblet a nukleáris és a konvencionális erőmüvek között már 2,36 év alatt megtérül a nukleáris üzem alacsonyabb üzemeltetési költségei révén. Ez kivételesen jó beruházási költség visszatérülést jelent.

Forditotta: Koczogh Ákosné

HŐTERMELŐ REAKTOROK PROBLÉMÁJA EURÓPÁBAN

Nucleonics, 16, No 2, p.70 /February 1958/

Ha hőtermelő reaktorok iránt nagy az érdeklődés Amerikában, ugy ez még nagyobb az európai országokban. A hagyományos tüzelőanyagárak Európában általában /néha kétszer vagy háromszor/ magasabbak, mint az Egyesült Államok keleti partján. Emellett ugyanazt az atomerőművet Európában rendszerint kisebb beruházási költséggel lehet felépiteni és finanszirozni. Igy Amerikában a beruházási költség 50 %-kal nagyobb, mint Angliában. Valószinünek látszik, hogy az európai országok, /főként Nyugat-Európában/ elsőként teremtik meg a biztos alapot a praktikus hőtermelő reaktorok számára.

Norvégia

A norvég Halden reaktor 1958-ban válik kritikussá, s ez a világon az első olyan reaktor, melynek hőteljesitménye alkalmas lesz arra, hogy gőzzel lássa el az ipari erőmütelepet. A 20 termikus MW teljesitményü vizforraló reaktor a szomszédos papir- és cellulozegyáraknak 250 C°-u, 40 atm nyomásu gőzt ad. A reaktor elsődleges célja, hogy kisérleti berendezés legyen. A norvégok többek között hajómeghajtó-reaktort szándékoznak kifejleszteni belőle. A gőzfejlesztés a kisérleti programtól függően megszakitásokkal folyik. Az ilyen feltételek mellett müködő reaktor nem lesz rentábilis mint gőzfejlesztő üzem, de meglesz rá a lehetőség, hogy összegyüjtsék a költségvetési adatokat /költségeket/ és az üzemi tapasztalatokat.

Svédország

Svédország olyan reaktort épit, mely Vasteras várost távfütési célokra hőenergiával fogja ellátni. A 100

termikus MW teljesitményü reaktor 120 C°-os gőzt ad a központi hálózatnak a szokványos kazánnal párhuzamosan, melyet az Állami Energiaügyi Főigazgatóság üzemeltet. Ez a hivatal fogja felépiteni és üzemeltetni a reaktort, és adja el a nukleáris eredetü hőt a városnak. 1960-ra várható, hogy ez a reaktor központi fütéssel lássa el Västerås város felét. 10 millió dolláros beruházási költséggel és 10 % évi tőkeköltséggel a nukleáris fejlesztésü gőz versenytársa lesz a szokványos gőznek; ha a tőkeköltség 15 %-ra emelkednék, akkor már a nukleáris gőz nem lenne versènyképes.

/A technikai részletek tekintetében lásd WIVSTAD előadását a genfi konferencián (P/136)/.

Anglia

Norvégiától és Svédországtól eltérően Angliában, hol pedig élénk nukleáris program van, kevés érdeklődés mutatkozik a hőtermelő reaktorok iránt. A Central Electricity Authoritynek nincs semmi terve a hőenergiát termelő reaktorok vonalán. Az angolok általános véleménye az, hogy a használható méretü hőtermelő reaktorhoz szükséges tőkebefektetés tulságosan nagy lenne.

Az angolok magatartását azzal lehet magyarázni, hogy pillanatnyilag az angol kisérletek gázhütésü grafitmoderátoru reaktorokra korlátozódnak. Ezek a reaktorok a vizhütésü reaktorokhoz képest sokkal drágábbak, és igy kevésbé alkalmasak hőenergia előállitására.

Forditotta: Koczogh Ákosné

NUKLEÁRIS HŐENERGIA PAPIRIPAR SZÁMÁRA

George Perazich

Nucleonics, Vol.16, No 2, p.68. /Febr.1958/

A papir- és cellulozegyárak szintén komoly vásárlói lesznek a nukleáris eljárással előállitott gőznek. Már az első pillanatban látszik, hogy a papiripar hőenergiaszükségletét előnyös módon lehet hőfejlesztő reaktorokkal kielégiteni. A papiripar hőenergiaszükséglete máris igen nagy, és gyorsan emelkedik. A felhasznált hőenergia értéke már 1956-ban 180 millió dollár körül volt. A fejlődés iránya a papiriparban egyrészt a reaktornagyságrendü hőegységek felhasználása felé mutat, másrészt a hőfejlesztőket egyre nagyobb terhelési tényező mellett üzemeltetik. Magukat a papirgyárakat pedig a nyersanyagforrások közelébe, fokozatosan egyre távolabbi vidékekre telepitik, oda, ahol a szokványos fütőanyag ára magas. Mindezen tényezők együttvéve széles perspektivát nyujtanak a nukleáris hőenergia számára ezen a területen.

Hőfogyasztás. Celluloze-, papir- és kartonpapirgyárak hőfogyasztása a papiripar által felhasznált teljes hőenergiának 80 %-át teszi ki. 1956-ban Amerikában a cellulozét előállitó gyárak a gyártási folyamatokhoz 55 millió dollár költséggel kb. 42 . 10^{12} kgkal-nyi hőt használtak fel. Ez minden 1 dollár értékü celluloze-mennyiséghez 3,6 kg szén vagy 25000 kgkal hőenergia felhasználását jelenti. Ugyanebben az évben a cellulozénak papirrá vagy kartonpapirrá való feldolgozásánál 80 . 10^{12} kgkal hőtartalmu gőzt használtak fel, 100 millió dollár költséggel 4 milliárd dollár értékü termék előállitásához. /Ennek a hőnek kb. 8.4 %-át a gépből kikerülő lemezek száritására használták fel./ Ez a papir minden 1 dollár értékü mennyiségére vonatkozóan 20 000 kgkal hőt jelent. Emellett jelentékeny összeget költenek elektromos energiára is.

Mekkora legyen a gőzfejlesztő egység? Az átlagos cellulóze- és papirüzemben legalább 20 th MW-kapacitásu hőfejlesztőre van szükség. Van azonban sok olyan papirgyár /ide tartoznak azok is, melyek drága fütőanyaggal rendelkező területeken müködnek/, amelyeknek hőfogyasztása ennek többszöröse. Számitásaink szerint az 5 legnagyobb cellulozegyár 1954-ben egyenként 75.10^{11} kgkal-nyi hőenergiát fogyasztott. Ha az iparban reálisnak látszó 90 %-os üzemeltetési tényezőt veszünk alapul, ugy mindegyik gyár egy-egy 100 MW hőteljesitményü gőzfejlesztő egységet tud hasznositani. Ha a villamosenergiát is helyben kell előállitani, ott egy-egy üzem kb. $1,25 . 10^{12}$ kgkalnyi energiát fogyaszt. Hasonlóképpen a 18 legnagyobb papir- és kartongyár egyenként kb. 90 MW termikus kapacitásu hőfejlesztő egységet tud hasznositani.

A hőenergia ára. Az az összeg, amelyet az egyes üzemek a szokványos fütőanyagra költenek, sokban a földrajzi helyzettől függ. Statisztikai adatok alapján a celluloze- és papirgyárak 1956-ban átlagosan 1,28 dollárt fizettek 10^6 kgkal értékü fütőanyagért.x/ Ez az ár délen alacsonyabb, ahol földgázzal és kőolajjal fütenek. Sokkal magasabb azonban New England-ban és a Great Lakes kerületeiben, ahol drága szenet használnak. Becslésünk szerint 1956-ban a fütőanyag átlagos ára New-Englandban a celluloze- és papirgyáraknál 2 dollár/10^6 kgkal-t jelentett. Wisconsinban és Michiganban és Great Lakes más kerületeiben 1,60 dollár/10^6 kgkal volt. Ez az ár függ a földrajzi fekvéstől és a szállitási feltételektől. Ez a magyarázata annak, hogy néhány üzem több mint 3 dollár/10^6 kgkal árat fizet.

A papiriparban fogyasztott konvencionális fejlesztésü hőenergia teljes költségét megkapjuk, ha a fütőanyagköltséghez hozzáadjuk az üzemeltetés és a beruházási tőke költségét.

---

x/ Nyilvánvalóan 10^6 kgkal hőtartalmu gőz előállitásához szükséges fütőanyagért. /A lektor megjegyzése./

Tegyük fel, hogy az üzemeltetési költség 0,6 mill(th) kWó. Egy 100 000 (th)kW kapacitásu gőzkazán beruházási költsége egy (th)kW-ra esően 25 dollár. 90 %-os terhelési tényezővel számolva 15 % évi tőkeköltség mellett ez termikus kWóránként 0,5 mill fix beruházási költséget jelentene. Mivel a 1,20 $/$10^6$ kgkal-ás tüzelőanyagár [x] 1 mill/(th)kWó-nak felel meg, a fütőanyag ilyen ára mellett 2,1 mill/(th)kWó lesz a hagyományos hőfejlesztő egységek termelési költsége. 2,40 dollár/10^6 kgkal-ás tüzelőár mellett a költség termikus kilowattonként 3 mill; stb.

A nukleáris fejlesztésü hőenergia termelési költségének kiszámitásához tegyük fel először is, hogy az üzemeltetési költség azonos a konvencionális gőzfejlesztőkével. A nukleáris fütőanyagköltséget pedig 0,7 mill/(th)kWó-nak /ez ekvivalens azzal, mintha egy atomerőmü fütőanyagköltségét kb. 3 mill/(e)kWó-val számolnánk./ Mármost, 1,20 dollár/10^6 kgkal-ás konvencionális tüzelőanyag-árral a nukleáris hő abban az esetben lesz versenyképes, ha a nukleáris gőzfejlesztő üzemet termikus kilowattonként 40 dollár költséggel fel tudjuk épiteni; ha pedig 2,40 dollár/10^6 kgkal a fosszilis tüzelő ára, ugy a nukleáris üzem beruházási költsége felmehet egészen a termikus kW-onkénti 90 dollárig és mégis versenyképes marad. Ezek a beruházási költségek nagyon közel vannak az atomerőmüvek beruházási költségeihez. Pl. az EBWR /Kisérleti Vizforraló Reaktor/ 50 MW-os hőteljesitménynyel dolgozik és 4,6 millió dollár költséggel épitették fel. Ez termikus kW-onként 92 dollár beruházási költséget jelent.

Piaclehetőségek. A celluloze- és papiripar gyors növekedése különös lehetőségeket nyujt a nukleáris energia számára. 1947 és 1954 között a celluloze-, ill. papirtermelés /beleértve a kartont is/ értéke Amerikában 60 ill. 69 %-kal nőtt. Ez a nö-

x/ Nyilvánvalóan 10^6 kgkal hőtartalmu gőz előállitásához szükséges fütőanyagért. /A lektor megjegyz./

vekedés évi 6 . 10^{12} kgkal energia-többletfogyasztásnak felel meg; ez pedig nyolc 100 MW termikus teljesitményü reaktor hőhozamával egyenlő. Természetesen nem az egész megnövekedett papiripari kapacitást épitették fel nagyüzemek formájában s nem is a drága tüzelőjü területeken. A papiripar fejlődése azonban éppen határozottan ebbe a két irányba mutat. Egyre több reaktorméretü konvencionális hőfejlesztő egység kerül üzembe. Mint más anyagtermelő iparágakat, a celluloze- és papirgyárakat is kénytelenek nyersanyagforrások közelébe, egyre távolabbi területekre helyezni.

Forditotta: Koczogh Ákosné

"ADAM"- ÉPÜLETFŰTÉSI CÉLRA ÉPÜLŐ 75 MW-OS NUKLEÁRIS HŐFEJLESZTŐ

I.Wivstad, C.Mileikowsky

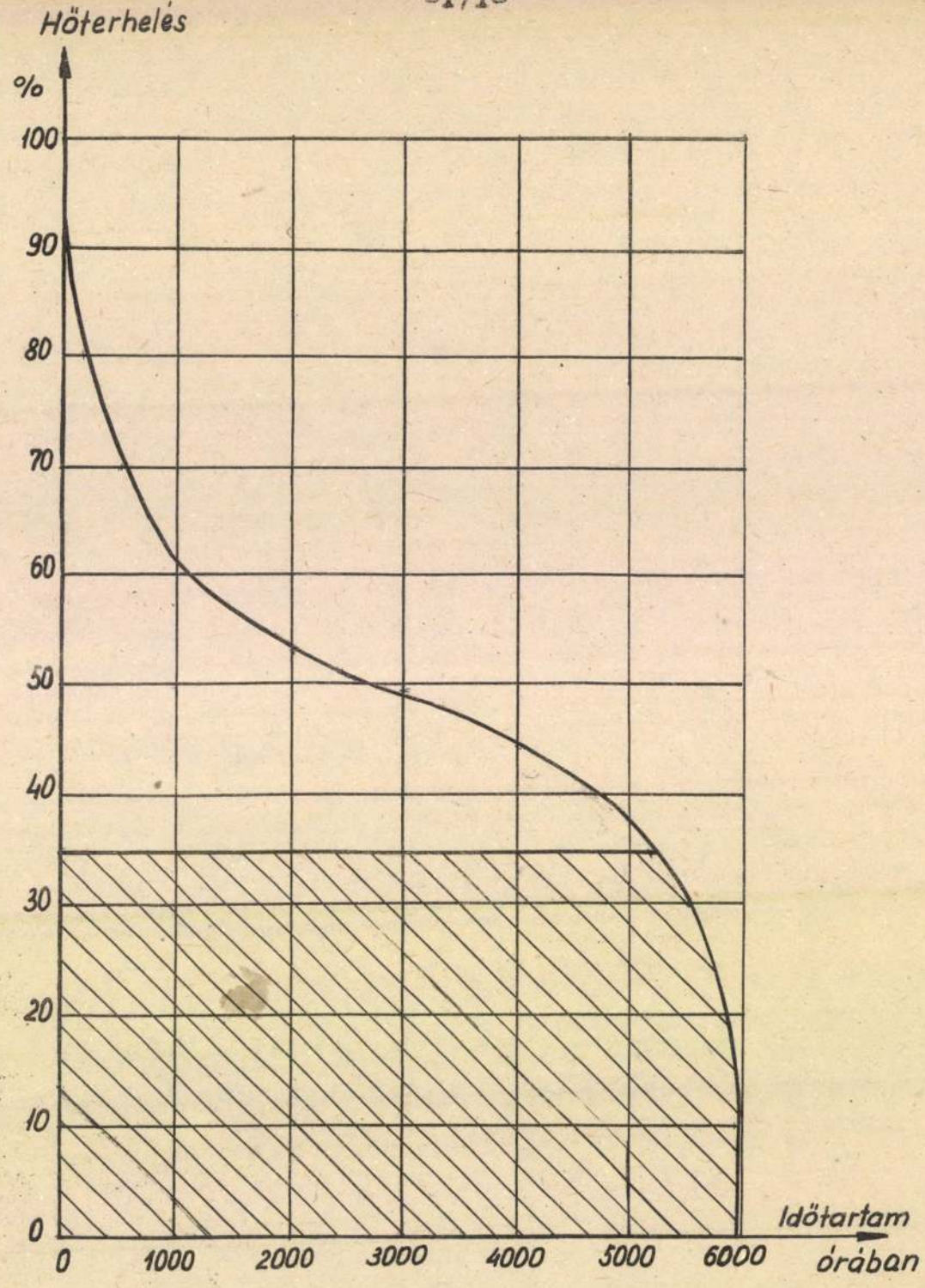
II.Genfi Konferencia A/CONF. 15/P/136. számu előadása

I. Bevezetés

Az ADAM fütési célra épülő nukleáris fütésü hőfejlesztő üzem, melyet a Svéd Állami Energiaigazgatóság Vasterasban, egy Stockholmtól 120 km-re nyugatra fekvő, 70 000 lakosu város fütésére állittat fel. A hőfejlesztő üzem névleges teljesitménye 75 MW. A reaktor müszaki adatait azonban nagy biztonsági ráhagyással tervezték, ami lehetővé teszi, hogy idővel a teljesitményt egészen 100 MW-ig emeljék. A tervek szerint a hőfejlesztő egység 1961-ben kerül üzembe. A hőszolgáltatáson kivül az ADAM-ra fontos szerep vár abban a tekintetben is, hogy uj állomást jelent majd a svéd reaktorfejlesztési programban az Állami Energiaigazgatóság atomenergiafejlesztési tervének megfelelően.

A telepet a várostól bizonyos távolságra fekvő sziklába fogják beépiteni. A reaktor által felmelegitett viz földalatti vezetéken halad át és ugy kapcsolódik be a már meglevő központi fütés-vezetékhálózatba. A kimenő csőben folyó viz maximális hőmérséklete 120 C^{o} lesz, mely megfelelő szabályozással egészen 85 C^{o}-ra is csökkenthető. A visszaáramló viz hőmérsékletét kb. 60-70 C^{o}-ra tervezik. A hőfejlesztő üzem évente kb. 5-6000 órás hasznositással lesz üzemben. /1. ábra/ A rövid ideig tartó terhelésváltozásokat igyekeznek minimális szinten tartani azáltal, hogy a hőfejlesztő üzemet az egymásután következő terhelések diagrammjának alsó részén tartják és csucsterhelések idejére kisegitésül forróvizgyüjtő-berendezést állitanak be. A fütőtelepet a városi hálózatba kapcsolt egyéb vizfütési célt szolgáló teleppel sorbakapcsolják és a hőmérsékletet a hőkicserélőkben söntölés utján viszonylag állandó szinten tartják.

KFKI 204.


Höterhelés
%
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
Időtartam
órában

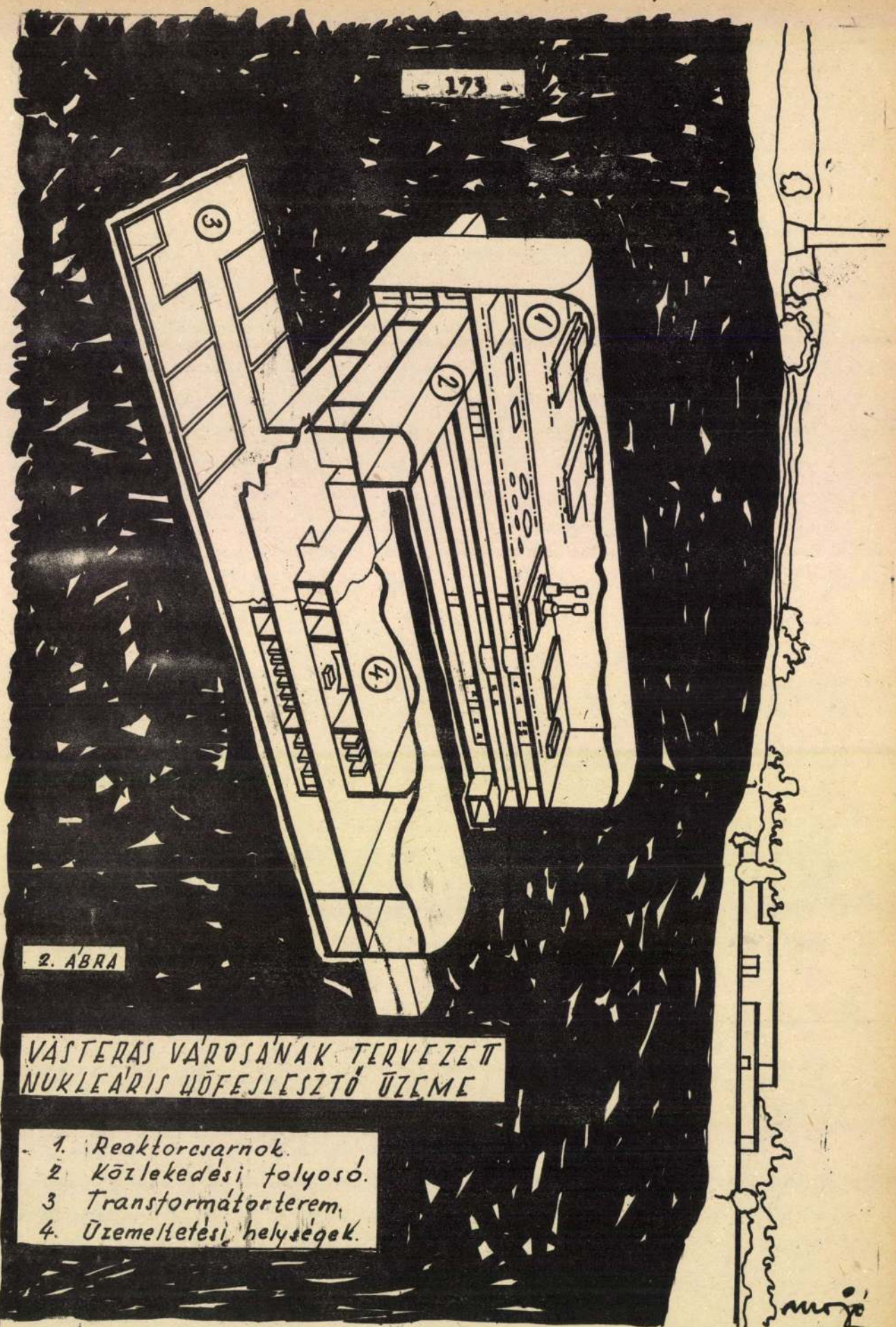
2. A fütőtelep elrendezése

Az atomerőmü reaktorüzemeltető épülete és transzformátor terme a sziklába épülnek, mig az adminisztrációs és raktári helyiségek a föld feletti épületben /2. ábra/ helyezkednek el. A telep sziklába épült részei két alaguton keresztül kapcsolódnak a külvilághoz. Ezek közül az egyik közlekedésre, a másik pedig szellőzésre szolgál. Ezenkivül az üzemeltető épületben személyzet és könnyebb áruk részére szolgáló felvonó is müködik. A forróvizet vezető csövek, valamint a földalatti csatornához csatlakozó vezetékek a felvonó-aknán haladnak keresztül.

A reaktor sziklába helyezése azzal a céllal történt, hogy kiküszöböljék a környéken lakó népesség veszélyeztetettségét egy esetleges reaktorbalesettel kapcsolatban. Rendszabályokat foganatositanak annak érdekében is, hogy megakadályozzák a radioaktivitásnak talajviz utján való terjedését egy esetleges komoly baleset esetén, amidön a reaktorcsarnok komoly sérülést szenvedhet. Ezért a talajviz szintjét az üzem alapzata alá süllyesztik. A sziklákba betont injektálnak, hogy megakadályozzák a radioaktiv gázok kiszivárgására alkalmas repedések keletkezését. A sziklában épült kamrákat betonbélelésel látják el; ezt közvetlenül a sziklára viszik rá annak érdekében, hogy viszonylag nagy belső nyomásokkal szemben is ellenállóvá tegyék. A beton belső felületét acéllemezekkel boritják, hogy gáz számára áthatolhatatlanná váljék. A reaktorkamrából kivezető valamennyi csövet és vezetéket kettős, gázmentesen zárt nyomásálló sorbakapcsolt elzáró szelepekkel látták el.

3. A reaktor-csarnok

A reaktor sziklába vájt csarnokának, a hőkicserélőknek, valamint a segédberendezéseknek tervezése annak szem előtt tartásával történt, hogy bizonyos készülékek üzem közben ellenőrizhetők legyenek, de ugyanakkor a biztonsági követelményeknek eleget tegyenek azzal, hogy a radioaktiv készülékeket kü-



2. ÁBRA

VÄSTERÅS VÁROSÁNAK TERVEZETT NUKLEÁRIS HŐFEJLESZTŐ ÜZEME

1. Reaktorcsarnok.
2. Közlekedési folyosó.
3. Transzformátorterem.
4. Üzemeltetési helységek.

lön olyan helyiségekben helyezzék el, ahol a falvastagság elegendő védelmet nyujt sugárzással szemben /3. ábra/. Az üzem minden része hozzáférhető olyan közlekedési folyosókról, vagy hasonló helyiségekből, melyekben normális üzemi feltételek mellett a személyzet korlátlan ideig tartózkodhat anélkül, hogy sugárveszélynek lenne kitéve. Ezeken a folyosókon nincsenek csövek és szellőztető vezetékek. Bizonyos esetekben, ahol a födém magassága lehetővé teszi az ilyenfajta berendezéseket, a folyosón hamis födém fölé helyezték. Az olyan berendezést tartalmazó helyiségeket, melyek kivülről történő manuális vezérlést igényelnek, ugy tervezték meg, hogy a folyosó felé eső fal olyan széles legyen, amilyen csak lehetséges.

A reaktor üzeme alatt természetesen csak kivételes esetben léphet valaki a kezelő helyiségekbe, tekintve a reaktor-meghibásodási lehetőséget, melynek eredményeképpen a gázok gyorsan kiszivároghatnak erre a területre. Éppen ezért a reaktor és a primer rendszer segédköreibe és az azokból történő rendszeres anyagszállitásnak, valamint a tisztitó berendezés szállitási utjának ezen a helyiségeken kell áthaladniok. Erre a célra külön folyosókat épitettek. A reaktorkiszolgáló térséget a reaktorcsarnokban a többi résztől gázálló vizhatlan válaszfal választja el.

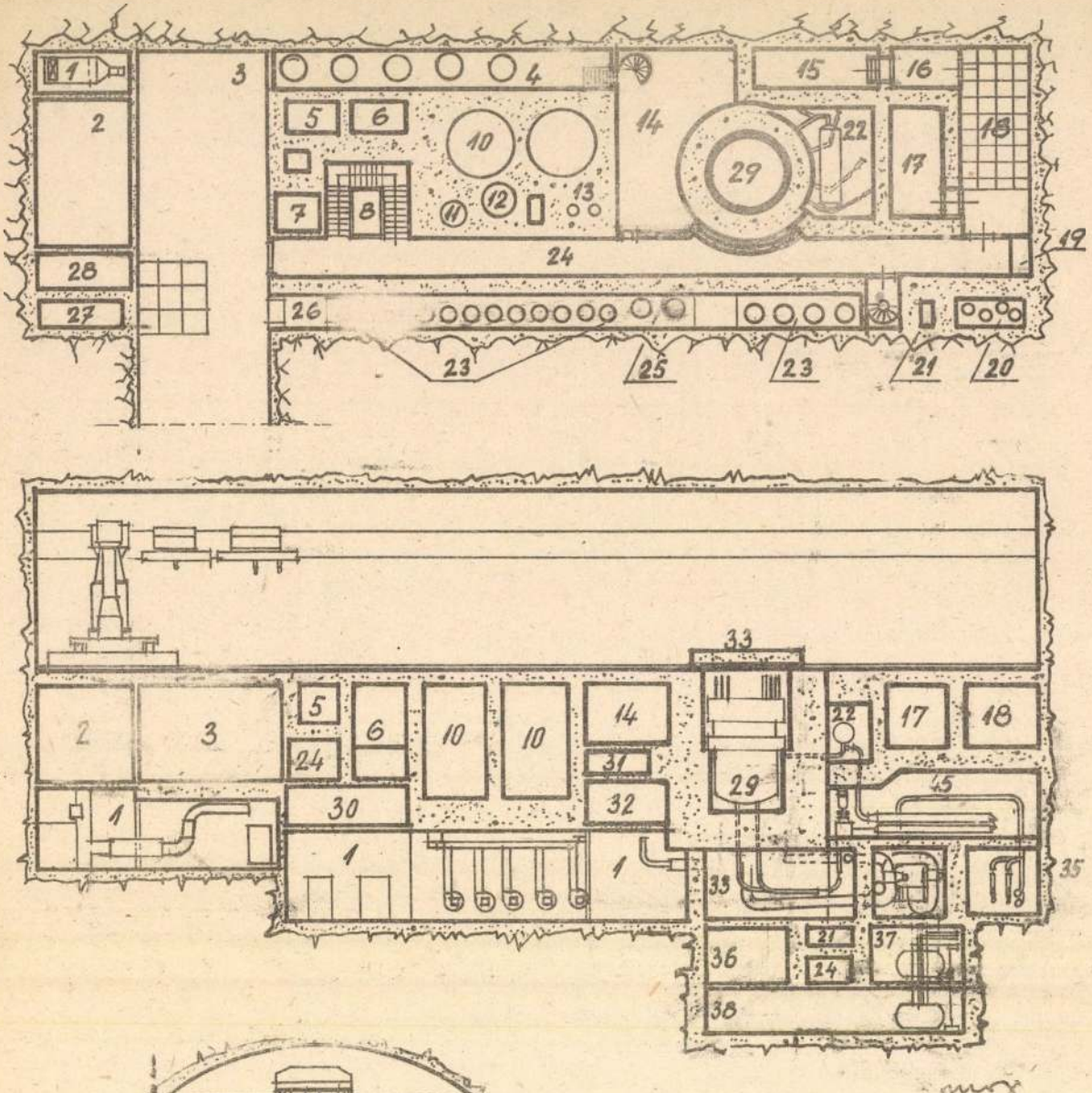
Az alatta levő három emeletet a reaktor és az azt körülvevő védőréteg foglalja el, mint a fő hőkicserélők, főszivattyuk, a primer hütőkörök és a moderátor feltöltő és kiüritő rendszere, a nagynyomásu kazán, valamint a reaktor és a primer hütőkörök egyéb segédberendezése, mint a termikus és biológiai védőréteg hütőberendezése, az uj és használt fütőelemek raktára, a fütőelemek kezelésére szolgáló felszerelés, a tartósan radioaktiv hulladékok temetője, a reaktorcsarnok helyiségeinek szellőző berendezése, valamint a radioaktiv folyadékok ellenőrzésére és deritésére szolgáló berendezés.

A reaktor üzemi köreit és vezérlőkészülékeit olyan közel helyezték el hozzá, amennyire csak lehetséges, míg az urániumtároló fülkék, a közönséges vízkörök és szellőző berendezés valamivel távolabb kerültek.

A reaktorcsarnok vízvezeték- és szennyvízelvezető csövezése a többinél valamivel kisebb legalsó emeleten talált elhelyezést.

4. Üzemeltetési épület

Az üzemeltetési épületet a reaktorcsarnokból 30 méteres kemény szikla választja el. Ebbe a sziklába vájt reaktorhoz vezető háromemeletes alagut biztonsági ajtói vezetnek az üzemeltetési épületen át a reaktorcsarnokig. A legfelső emelet szállitási célra szolgál, a következő a kezelőszemélyzet részére biztosit bejárást és sugárfertőzés elleni védelmi berendezéseket tartalmaz, a legalsó emelet pedig vezetékek és csövek számára készült. A legalsó emeleten még a helyi áramfejlesztő berendezés is elhelyezést talál. Tervbe vették azonban még egy külön folyosót is bizonyos csövek és vezetékek számára a reaktorcsarnok és az üzemeltetési épület között. Üzembiztonsági szempontból ugyanis kivánatos, hogy ilymódon elkülönitsék a reaktorcsarnokból az üzemeltetési épületbe, illetve a transzformátorterembe haladó vezetékeket. Ezt a külön folyosót is ellátják a személyzet részére szolgáló átjáróval és külön lezáró berendezéssel, hogy baleset alkalmával a reaktorkamrából vészkijáratul szolgáljon. Az erőtelepről jövő csövek és vezetékek az üzemeltetési épület felvonóaknáján haladnak át. Az üzemeltetési épület két emeletből áll. Elsősorban főleg az üzem ellenőrzéséhez szükséges felszerelést tartalmazza. Ide szerelték be továbbá a központi fütési rendszer szivattyuit és a segédberendezések hütőrendszerét, valamint a reaktor soronkivüli lehütésére szolgáló berendezést. Néhány irodahelyiség is van az üzemeltetési épületben.



3. ábra.

VÄSTERÅS
REAKTORKAMRA.

3. ábra: Västeras, reaktor kamra

/1/ szellőző

/2/ kezelő helyiség fütőelem cserélő gép

/3/ szállitó folyosó

/4/ D_2O tárolótartályok

/5/ aktiv fütőelemek teteje

/6/ uj fütőelemek

/7/ szellőző akna

/8/ felvonó akna

/10/ fütőelemek

/11/ szintező tartály

/12/ sérült fütőelemek

/13/ próbanyilás

/14/ kidiffundálás detektálása

/15/ kompresszorterem radioaktiv anyagok gyüjtésére

/16/ radioaktiv bomlás és tisztitó gáz ellenőrzés

/17/ tisztitógáz-berendezés

/18/ tisztitógáz-berendezés kézikiszolgálására szolgáló terem

/19/ kábelek

/20/ szénszürő

/21/ csővezetékek

/22/ nyomásszabályozó

/23/ ioncserélők

/24/ folyosó

/25/ párologtatók

/26/ suhanyozó

/27/ radioaktiv hulladék

/28/ betétrudak vezérlése

/29/ reaktor

/30/ hütőkompresszor

/31/ ionkamrák

/32/ mérőberendezés

/33/ csővezeték-terem

/34/ termikus védőréteg

/35/ elvezető csatorna

/36/ D_2O szivattyuk

/37/ H_2O levezetése

/38/ elvezető medence

/39/ fütőelemkezelő emelet

/40/ szállitó folyosó

/41/ vizlevezetés

/42/ bomló gáz-tartály

/43/ bomlási gáz

/44/ elvezető tartály

/45/ fő hőkicserélők

5. Transzformátor-terem

A transzformátor-terem a reaktorhoz vezető alagut másik oldalán az üzemeltetési épülettel egy szinten épült. Három emeletből áll, ahol helyi transzformátorok, kisegitő generátorok, villamos akkumulátorok, áramátalakitók és egyenirányitók nyernek elhelyezést.

6. Reaktor

A reaktor fütőanyaga természetes uránium zsugoritott oxidja; moderátora és reflektora nehézviz; tipusa szerint termikus heterogén rendszer.

Hütőként is nehézvizet alkalmaznak. A reaktoron kivüli hütőkörben szükséges D_2O mennyiség nem tulságosan nagy. A 140 C° kimeneti hőmérséklet lehetővé teszi aluminiumból készülő fütőelemtokok használatát, ami olcsó és ujrafeldolgozásra alkalmas.

Az itt megkövetelt 19 bar nyomás nem okoz tulságos nehézségeket a nagynyomásu tartály müszaki kivitelezése terén. Ilymódon közönséges hütőrendszer alkalmazható, ahol a moderátor és a fütőanyag hütése közös hütőkörrel történhetik. Ez a reaktornál jó termikus hatásfokot eredményez, miután a moderátorban, a termikus védőrétegben fejlődő hő teljes egészében, a reaktortartály falában keletkező hő pedig részben, közvetlenül felhasználható arra, hogy a központi távfütési hálózatba vezessék.

A reaktor egy nagynyomásu, ellipszoid alaku alsó résszel és lapos fedővel rendelkező, teljesen rozsdamentes acélból készült tartályban foglal helyet. A tartály 19 atm nyomásra és 210 C° hőmérsékletre készül. A falvastagság a hengerfalnál 54 mm és az ellipszoidon 64 mm. A fedőlemez 65 mm vastag. A fedőlemezt egy lágyacél rudakból készült rács támasztja alá. Ezt a négyszögletes rácsot egy hengeralaku lemez-

re hegesztik, ezt a hengert pedig a reaktortartály peremére csavarozzák. A lapos fedő lehetővé teszi, hogy a fütőelemekhez vezető csöveket a tartály felához közel helyezzék el. A 168 fütőcsatornán kivül a vezérlőrudak számára is biztositottak 32 hasonló csövet és mind a 200 egy 213 mm rácsállandójú rácsban nyer elhelyezést. A fütőcsatornák átvezetnek az egész felső védőrétegen, kivéve a csövek fölött levő elmozditható, vasbeton- és vas-védőréteget. Ha a fütőelemeket cserélik, a fütőelemeket kezelő gépet a fütőcsatornákhoz kapcsolják, igy a reaktortartállyal hermetikusan zárt rendszert alkot a berakodási és kirakodási müveletek alatt.

Rozsdamentes acélból készült hengerfejtömitőlemezt alkalmaznak és kivül a fedőlemez és a tartályperem között hegesztett légmentes tömitéssel zárják le a tartályt. Ez a hegesztett tömités távirányitással leköszörülhető és ujból hegeszthető, ha a tartályt a reaktor leállitása után fel kell nyitni. Felnyitás előtt a mozgatható felső peremgyürü felemelendő. A reaktortartályt a peremen a vasbetonvédőréteghez kapcsolódó támgyürün nyugvó nyolc görgő támasztja alá.

A lapos fedőlemez belső oldalán a kimenő hütőanyag kondenzálására szolgáló tér van. A fütőrudakat körülvevő csöveket ezen a kondenzációs téren vezetik keresztül, a moderátor és a kondenzációs tér között pedig dugattyugyürükkel tömitik.

A tartály ellipszisalaku alját aluminiumöntvénnyel töltik ki, hogy lapos aljfelületet kapjon. Efölött helyezkedik el a fütőelemek számára szolgáló rácslemez. Ez a lemez 105 mm vastag és rozsdamentes acélból készül.

A reaktortartályba acéllemezhenger kerül. Ez mindkét oldalán rozsdamentes acéllal boritott lágyacélból készül és a tartály az aljában levő rácslemezzel együtt belső termikus védőréteget képez.

A fütőelemek vékony, 1 mm falvastagságu aluminiumhullámlemez csövekben elhelyezett 19 fütőrudat tartalmazó kötegekből állnak. A 0,75 mm falvastagságu, bordázott 52 S aluminiumcsövekbe zárt urániumdioxid gömböcskék átmérője 13,5 mm. A bordázottságra nem a hütés céljából van szükség, hanem azért, hogy a rudakat megfelelő távolságban tartsa egymástól. A bordák csavarmenetben haladnak a rudakon. A bordázott csöveket vastagabb falu aluminiumcsövekből maratják.

Az alsó végén az aluminium hullámlemezcső egy rozsdamentes acélból készült, a rácslemez rácsnyilásaiba illeszkedő hengerhez kapcsolódik. Ebben az acélhengerben a fütőrudakat egy a hütőanyag számára nyilásokkal ellátott lemezhez rögzitik. Ebben a részben egy a hütőanyagnak a fütőelemeken való átáramlását szabályozó üritőnyilás is elhelyezést nyert.

Az aluminiumcső felső végét ugyancsak egy rozsdamentes acélcsőhöz rögzitik, mely a fentemlitett zárócsapban végződik, hogy a hütőcsatornát légmentesen tömitse. A dugattyugyürüket, melyek a felső kondenzációs tér és a moderátor közötti tömitésül szolgálnak, ugyancsak az acélcsőhöz rögzitik. Az acélcsőből a hütőanyag részére a kondenzációs térbe nyilás szolgál. A tömitőcsapban a fütőelemből kiáradó hütőanyag hőmérsékletének mérésére termoelemet helyeznek el.

A zsugoritott urániumoxid golyócskákat a tokban magnéziumoxiddal szigetelt aluminium lemezek segitségével 0,4 mm hosszuságu oszlopokra osztják. Igy biztositanak elegendő teret ahhoz, hogy a fütőelemek nagyobb hőkiterjedési együtthatója folytán ne nyomja szét a kisebb mértékben kiterjedő környezetét.

A hütőanyag a reaktortartályba alulról nyolc csövön jut be 80 C^{o} hőmérsékleten. Innen a moderátoron át felfelé áramlik. A tetején a kondenzációs tér alatt az áramlás visszafordul és a vizet a termikus védőréteg és a tartály hengeralaku fala között lefelé vezetik. Ezután a viz a rácslemez

és az alsó alumínium öntvény közötti téren keresztül szétoszlik a fütőelemek között. A fütőelemekhez belépő viz hőmérséklete 85 C°. A fütőrudakon áthaladva a viz a felső kondenzációs térbe áramlik és a tartályt négy, a peremnyakon áthaladó 200 mm átmérőjü csövön keresztül 140 C° hőmérsékleten hagyja el.

A reaktortartályt egészen megtöltik nehézvizzel és a viz hőkiterjedésére való tekintettel a biológiai védőrétegen kivül expanziós tartály szolgál. Ez az expanziós tartály a hőkicserélőkhöz áramló hütőanyagot vivő négy cső mindegyikéhez csatlakozik. A rendszert ebben az expanziós tartályban a vizfelület feletti hélium tartja nyomás alatt. A nyomás üzem közben 13,1 bar.

Az expanziós tartályon hat biztonsági szelep van, melyek teljes kapacitása olyan gőzfejlődésnél is kielégitő, mely a reaktor 100 %-os üzeme esetében a hütőáram teljes leállásával bekövetkeznék. A kipuffogó gőz egy különleges gyüjtőkondenzátorban kondenzálódik, melynek hütése közönséges vizzel öncirkulációs utján történik. Ennek a kondenzátornak a kapacitása megfelel hozzávetőleg a biztonsági szelepek félkapacitásának. Ha egy baleset alkalmával még ennél is nagyobb mennyiségü gőz fejlődik, ami nagyon valószinütlen, a nehézvizgőz többi részét a reaktorcsarnokba lehet kipuffogtatni.

A reaktor körüli védőréteg, radiális irányban és lefelé a külső termikus védelmet nyujtó lágyacél rétegből áll, melynek belső oldalát a belső felülettől bizonyos távolságban aluminiumlemez fedi, hogy a reaktortartály hősugárzás folytán bekövetkező hőveszteségét csökkentse. Ezen a termikus védőrétegen kivül van még egy vasbetonból készült biológiai védőréteg. Ezt a vasbeton belső felületén felfelé áramló, cirkuláló levegő hüti. A levegő ezután a külső termikus védőréteg külső felületén áramlik lefelé.

A közepén a grafitrétegből és külső részein betontömbökből álló tető-védőréteg alsó részét éppugy léghütéssel hütik, mint a körbenfutó védőréteget.

Termikus adatok:

Hőteljesitmény	75 MW	100 MW
Fütőelemekben fejlődő hő	68,6 MW	91,5 MW
Moderátorban és reflektorban fejlődő hő	6,0 MW	8,0 MW
Belső termikus védőrétegben fejlődő hő	0,4 MW	0,5 MW
Nehézviz bemeneti hőmérséklete	80 C°	80 C°
Nehézviz kimeneti hőmérséklete	140 C°	160 C°
Áramló nehézviz tömege	294 kg/sec	294 kg/sec
Nyomás a felső nyomószellőztetésben	13,1 bar	13,1 bar
Nyomás a moderátorban	16,7 bar	16,7 bar

Reaktormag

Átmérő	3,4 m
Magasság	3,2 m
A nehézviz reflektor falszélessége	0,25 m
Nehézviz a moderátorban és a reflektorban	44.700 kg

Fütőelemek

Fütőelemek száma	168	
Fütőrudak száma egy elemben	19	
Urániumdioxid golyócskák átmérője	13,5 mm	
Aluminiumtokok falvastagsága bordák nélkül	0,75mm	
Urániumdioxid sulya	14.600 kg	
	75 MW	100 MW
Átlagos teljesitménysürüség kW/UO_2-kg	4,7	6,3
Maximális teljesitménysürüség kW/UO_2-kg	13,6	18,1
Maximális hőfluxus, W/m^2	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Maximális tok-hőmérséklet	148 C°	169 C°

Reaktortartály

Tervezett nyomás	19 bar
Tervezett hőmérséklet	210 C°
Maximális külső átmérő	5,1 m
A reaktor maximális külső magassága fedél nélkül	4,5 m
Fedélmagasság csövekkel együtt	4,7 m
A reaktor teljes magassága	9,2 m

Védőréteg

Tetővédőréteg

Boronos grafit	1,8 m
Acél	0,15 m
Közönséges beton	1,0 m

Körbenfutó védőréteg

Belső termikus védőréteg	0,1 m
Külső termikus védőréteg	0,07 m
Beton, vasérc	2,15 m

Alsó védőréteg

Belső termikus védőréteg, rácslemez	0,1 m
Külső termikus védőréteg	0,07 m
Beton, vasérc	1,5 m

Reaktivitással kapcsolatos adatok

A reaktivitási számitásokban felhasznált hőmérsékleti adatok hideg és meleg reaktor esetében a következők:

	hideg reaktorrács	meleg reaktorrács
üzemanyag átl. hőmérséklete	20 C°	720 C°
moderátor " "	20 C°	85 C°
hütőközeg " "	20 C°	124 C°
neutronok " "	20+162=182 C°	85+181 =266 C°

Az ADAM esetében meghatározott reaktivitási konstansokat alábbi táblázatban tüntetjük fel mind hideg, mind meleg reaktorrács esetére. A "meleg" és "hideg" konstansok közötti különbséget a harmadik oszlopban adjuk meg.

Az alább következő táblázatban az "elégés" a T = 0-kor fennálló ϱ' reaktivitásra vonatkozik és k_{eff} = 1,01 értéknek felel meg, ahol az 1 %-ot a számitási módszer pontatlanságainak ellensulyozására adtuk hozzá. Fenti számok arra az esetre vonatkoznak, mikor a hengeralaku cserélhető testet behelyeztük. Az elégést ugy számitják, hogy egyszer töltöttünk csupán és nem pótoltuk az elégett elemeket. Ezt az eljárást természetesen a reaktor tényleges müködése alkalmával nem használhatják. A reaktivitásra és elégésre vonatkozóan adott fenti értékek tehát igen óvatos becslésen alapulnak. Egy, megfelelő

indokolás alapján választott, a teljes töltéscseréhez viszonyitott 1,4-es értékü korrekciós tényezővel az elégés 2,460 MWnap/UO_2-tonna lesz. 1,9-es korrekciós tényezővel az elégés 3,350 MWnap/UO_2 tonnáig növekszik. Ha a reaktivitásban szereplő 1 %-os biztonsági toleranciára nincs szükség, akkor az elégés az adott értékeknél nagyobb lesz. Az elégés még tovább fokozható, ha a hengeralaku aluminiumtestet kivesszük és D_2O-val helyettesitjük.

Reaktivitási állandó	hideg reaktorrács	meleg reaktorrács	hideg és meleg állandó különbsége
Termikus hasznositás, f	0,95175	0,95274	+0,00099
Rezonanciakikerülési valószinüség, p	0,92034	0,90913	-0,01121
Gyors hasadási tényező, ε	1,02878	1,02834	-0,00044
Fütőanyagfelhasználási tényező, η	1,29248	1,28552	-0,00696
Végtelen sokszorozási tényező, k_∞	1,16471	1,14503	-0,01968
Reaktormag diffuziós hosszának négyzetes középértéke, L^2 cm^2	219,48	240,12	+20,64
Reaktormag Fermi-korának középértéke, τ cm^2	112,57	111,35	-1,22
Reaktormag ki-nem-diffundálási tényezője, P_L	0,93087	0,92719	-0,00368
Effektiv sokszorozási tényező, k_{eff}	1,08417	1,06166	-0,02251
Reaktivitás, $\rho = (k_{eff}-1)/k_{eff}$	0,07764	0,05808	-0,01956
Nem-mérgezettségi tényező, α_p	0,96598	0,96574	-0,00024
Mérgezett effektiv sokszorozási tényező $k'_{eff} = \alpha_p k_{eff}$	1,04735	1,02529	-0,02206
Mérgezett nem redukált reaktivitás $\rho'' = (k'_{eff}-1)/k'_{eff}$	0,04521	0,02467	-0,02054
Mérgezett, redukált reaktivitás $\rho' = k'_{eff}-1.01 /k'_{eff}$	0,03566	0,01491	-0,02075
Uránium-elégés MWnap/UO_2-tonna reaktivitásnak megfelelően	2290	1760	-530

/Az eredeti cikk most a reaktivitásnak a különböző paraméterek szerinti parciális deriváltjait tünteti fel, különböző besugárzási idők mellett. Ezt a táblázatot, valamint a reaktivitás változásainak bizonyos konkrét paraméterváltozások esetére vonatkozó értékeit feltüntető táblázatot mellőztük. - /

/A szerk./

7. A reaktor primer hütőrendszere

A reaktor primer hütőrendszere négy párhuzamos hütőkörre oszlik, melyek hőkicserélőkkel és szivattyukkal rendelkeznek. A hőkicserélők kis átmérőjü csövekből állnak, melyek belsejében nehézviz van, mig kivülről a központi fütésrendszer rendes vize veszi körül őket. Hogy esetleges kiszivárgást észlelni lehessen, a hőkicserélőknek kettős csőfala van, melyek közötti tér viztelenitett. A hőkicserélőket vizszintesen kettesével, külön-külön helyiségekben helyezik el, hogy az ellenőrzést és esetleges kisebb javitásokat csökkentett üzem mellett megkönnyitsék. A szivattyuk tömszelencés tipusuak, tokolt motorokkal, hogy függőlegesre legyenek állithatók. A primer hütőkör, a szivattyukat, hőkicserélőket és szelepeket beleértve, rozsdamentes acélból készül. A reaktorból kimenő és oda visszatérő kis- és bemeneti csövekbe kettős szelepkapukat hegesztenek. Ezenkivül a primer rendszerben a szivattyuk utáni minden egyes körbe további ellenőrző szelepet iktatnak be.

Az expanziós tartályban a nehézviz szintje felett nagynyomásu héliumból nyomásszabályozó gázréteg van. A nyomásos vezérlési rendszer a következőképpen müködik: a teljes sztatikus nyomást 13 - 13,5 bar közötti tartományban tartják. Ha a nyomás az alsó érték alá kezd esni, akkor egy kb. 20 bar nyomásos tartályból héliumot engednek be az expanziós edénybe. Ha viszont az expanziós edényben a nyomás a felső határ fölé kezd emelkedni, akkor héliumot vezetnek ki belőle egy másik tartályba, melyben a nyomás kb. 6 bar körül van. Időközönként kompresszorok segitségével héliumot vezetnek be a kisnyomásu tartályból a nagynyomásu tartályba.

Mielőtt a fütőelemcserére kerülne a sor, az expanziós tartályban a nyomást a fenti kompresszorok segitségével körülbelül légköri nyomásra csökkentik. Ezután a nyomást az expanziós tartályban igen precizen állandó értéken tartják

egy kompresszor és egy vezérlőszelep segitségével, melyek a kisnyomásu héliumrendszerhez csatlakoznak. Ebben a rendszerben is nyomásszabályozó réteget képez a hélium a nehézviztároló tartályokban.

Valamennyi a nehézvizzel és héliummal érintkezésbe kerülő alkatrészt rozsdamentes acélból készitik.

A primer hütőrendszerben, azaz a reaktorban és a fő hütőcsövekben, a nehézviznek nagy tisztaságunak kell lennie. Rendes üzem folyamán, ha a fütőelemek tokjain át némi kiszivárgás fordul elő, a nehézvizet egy lehetőleg kationcserélő és kevertágyas ioncserélő sorból álló szürővel ellátott körben folyamatosan tisztitják.

A normális áramerősség 1,2 kg/mp, ami a primer hütőrendszerben levő nehézvizmennyiség 2.10^{-5}-szerese. Ez az áramerősség megkétszerezhető, ha még egy hasonló kört kapcsolunk be. Az ioncserélő és szürő egységeket a reaktor üzeme közben cserélik. Ezek regenerálása Svédországban egy központi telepen történik.

Ha valamelyik fütőelem kiolvad, a reaktortartályt alaposan ki kell tisztitani, miután az ép fütőelemet kivették. A tisztitást először nehézvizzel történő öblitéssel, majd rendes vizzel végzik, melyet hydrociklonokon cirkuláltatnak át. Ezt a vizkört is ellátják hőkicserélővel, hogy ez komolyabb kiolvadás esetén kivonja a hasadási termékek bomlási hőjét. Ebben az iszapos szeparációs rendszerben a viz áramlását 2 kg/sec-ban szabták meg.

Ha a nehézvizet nagyobb mennyiségben fertőzték meg oldható radioaktiv termékek, párologtatással, majd egy szürőn és vegyes ágyas ioncserélőn való átbocsátással tisztitják, mielőtt a tároló edényekbe szivattyuznák. Arról is gondoskodnak, hogy fenti alkalmakkor manipulátorokat és különleges tisztitó felszerelést bocsássanak be a reaktortartályba, a reaktorburkon levő nyilásokon át.

Gáztalanitót is állitanak be, mely a feloldott levegőt vonja ki a nehézvizből, mielőtt azt a reaktorba vagy a nehézvizhálózat más részeibe szivattyuznák.

A viz radiolizisének és a rozsdamentes acélfelületek korroziójának minél hatásosabb csökkentése érdekében a nehézviz némi oldott deutériumot tartalmaz. A héliumgáz ezért általában 2 - 2,5 % deutériumgázt fog tartalmazni. Egy platina katalizátorággyal ellátott rekombináló egység gondoskodik az egész fejlődő oxigénmennyiség eltávolitásáról. A gáz 3 m^3/óra áramerősséggel 13 bar nyomás alatt és 50 C^o belépési hőmérséklettel cirkulál állandóan ebben az egységben. Ha szükséges, akkor még egy ilyen egység működtethető ezzel párhuzamosan.

Annak érdekében, hogy az esetleges nitrogén és hasadási gázok okozta fertőzéseket el lehessen távolitani a burkoló gázrendszerből, ezt kétszeres faszénággyal látják el, melyet folyékony levegő hüt. Az ágyban a cirkulációs sebesség 50 liter/perc.

8. A reaktor szekunder hütőrendszere és kisegitő hütőberendezések

A város központi fütési hálózata két csővezeték utján csatlakozik a hőkicserélőkhöz, és igy a reaktor szekunder hütőrendszerét alkotja.

Ha ebben a berendezésben olyan hiba áll elő, mely a folyamot leállitaná, két szükség-hütőkör áll rendelkezésre, melyeket azonnal üzembe helyeznek. Ezekben a hütőkörökben a reaktorban kifejlődő maradékhőt a telep egy belső hütőberendezése a csatlakozó hütőtornyokba vezeti le. Minden fő-hőkicserélőt elláttak egy külön hütőtoronnyal.

A hidegviz-kör, mely a reaktor maradékhőjének lehütésére szolgál, a telep felszereléseinek és készülékeinek hütésére is alkalmas, ha ennek a hőnek felhasználása nem gaz-

daságos. Példa erre a biológiai védőréteg hütése. Magát a hütést a külső termikus védőréteg és a biológiai védőréteg közötti térben keringtetett levegő végzi, mig ezt a levegőt egy külső hőkicserélőben a hütőviz hüti. A levegőáram erőssége 4,3 kg/sec és a hütés hőteljesitménye 67 kW-t tesz ki. A nyomást valamivel a légköri nyomás alatt tartják, hogy megakadályozzák az esetleg fertőzött levegőnek a környékre való kiszivárgását. A berendezésben levő további hőkicserélők a fő cirkulációs szivattyuk motorjait, az iszapos derito berendezést, a párologtatókat, urániumtároló fülkéket, radioaktiv hulladékgázok hütőtornyait, a szellőzésre szolgáló levegőt, nyomásosztályozó gázt, stb. hütik. A hütőrendszer különálló, különböző nyomáson müködő hütőkörökre oszlik és a különböző hütőtornyokat a hőkicserélők primér körében uralkodó nyomás figyelembevételével kötik be a megfelelő hütőkörbe.

A tároló fülkékbe helyezett elhasznált hütőelemek tartalmazta hasadási termékek bomlása által fejlesztett hőt a medence vizének cirkuláltatásával vezetik el. Ezt a vizet pedig két azonos hütőkörrel hütik, melyek szivattyuból és hőkicserélőből állanak. Maximális hütés, azaz 600 kW hütőteljesitmény mellett mindkét hütőkört müködtetik. A hütőviz áramerőssége ekkor 8 kg/sec, a viz hőmérséklete a tároló fülkékben 60 C^{o}.

Fenti maximális hütés csak abban a szélsőséges esetben válik szükségessé, ha a fülkéket két töltésnek megfelelő kiégett fütőelemmel kellene megtölteni.

9. Üzemanyag kezelése

A reaktornak friss fütőelemekkel való feltöltése hermetikusan zárt töltőgéppel történik. A reaktort feltöltésekor leállitják. Egy fütőelem kicserélése kb. 100 percig tart. Ebből 10 perc a tényleges kicserélési müvelet, mig a fennmaradó idő a reaktor leállitásához és ujrabeinditásához szükséges.

A telepen a különböző állapotu fütőelemeket négy különböző helyen tárolják. Egyik az uj fütőelemek, kettő a sértetlen, de már használt fütőanyag számára való; mig a negyedik a medence a repedt, vagy kiolvadt fütőelemeké.

A friss fütőelemeket tároló medencében kb. 100 elem fér el. Vasfedéllel és záródugóval biztositják a szükséges védőrétegét. A használt, de sértetlen fütőelemeket tároló két medence mindegyikében kb. 215 fütőelem fér el. Az elemeket ebben a medencében kb. 6 hónapig viz alatt tárolják a telepen, majd elszállitják a telepről. A medencét ugy tervezték meg, hogy nem áll fenn annak a veszélye, hogy a töltőgépbe közönséges viz gőze behatoljon a fütőelemeknek a medencébe való helyezése során. A medencében levő viz és egy vasfedél szolgál védőrétegül.

Sérült fütőelemekből 22 helyezhető el az erre a célra készült medencében. A fütőelemek mindegyike gázzal szemben tömitett acéltartályban tárol. A védőréteget itt is a viz és a vasfedél képezi.

Amint fent emlitettük, a töltőgép hermetikusan zárt. Jóllehet a töltőgépet távvezérlésünek tervezték, a sugárzás elleni védőrétege mégis ugy készült, hogy emberek nyugodtan tartózkodhatnak a reaktorcsarnokban a reaktor feltöltésének ideje alatt. A portáldarut ellátták egy vezérlőasztallal, melyről az egész müvelet közvetlenül is irányitható, arra az esetre, ha a távvezérlő berendezés felmondaná a szolgálatot. A fütőelemek hütése nehézvizzel történik; a hütőrendszert ugy tervezték meg, hogy igen kis mennyiségü nehézvizre van szükség. A töltőgépet a padlón sinen mozgatható portáldarura épitették. Ugyanezen a portáldarun egy védőréteggel ellátott palackot helyeztek el a vezérrudak kicserélésére, valamint hajtómechanizmusokat, melyek a sérült fütőelemeket tartalmazó tartályokat a medencéből a szállitóedénybe viszik. A töltőgép kb. 9,5 m magas, sulya pedig a védőréteggel együtt 145 tonna. A segédberendezés és annak véd-

rétege együttesen 45 tonnát tesz ki, ugy hogy a teljes suly kb. 190 tonna.

A töltőgépben egy egységet képező négy felvonó csiga van, amelyek foroghatnak és a gép alján levő nyilás fölé helyezhetők. A felvonócsigák közül kettő a fütőelemek, egy a reaktor védőrétegének záródugói, és egy a fütőelemeknek a reaktorban való rögzitésére szolgáló csavarkulcs számára készült. A gép legalsóbb része teleszkópos egységből áll, mely a gépet a reaktor és az üzemanyagtároló helyiségek csöveitől légmentesen elzárja. A portáldarut Ward-Leonard-féle vezérlésü egyenáramu gépek hajtják. A töltőgépet nagyjában a kivánt helyzetbe hozzák potenciométerek segitségével és a végső beállitás a teleszkópcsőre szerelt négy indukciós jelzőkészülék segitségével történik. Ezek közvetlenül letapogatják a csöveket. Az üzemanyagcserélési müvelet azzal kezdődik, hogy a gép friss fütőelemet vesz fel az egyik felvonócsigára. A portáldaru ezután a reaktor felé fordul és annak forgatható felső fedőrétegéből kiemel egy záródugót. A töltőgépet ezután beállitják a kivánt helyzetbe és a fütőelemeket fedő védőrétegből emelik ki a záródugót. Majd meglazitja a fütőelemet, beemeli a töltőgépbe és a lehüléshez szükséges helyzetbe hozza. Ennek megtörténtével uj fütőelem kerül a reaktorból kivett fütőelem helyére. Miután ennek rögzitése után a cső záródugóját, valamint a forgó tetőlemez dugóját ismét visszatették a helyükre, a gép az egyik medencéhez gördül, ahol a használt fütőelemet beleengedi a vizbe. A töltőgép ezután a friss fütőelemeket tartalmazó medencéhez gördülhet, hogy egy ujabbat vegyen ki. Ez a ciklus összesen kb. 30 percet vesz igénybe.

A reaktorcsarnok egyik végében ellenőrző állomás található, a töltőgép munkamenete minden egyes fázisának ellenőrzésére. Ugyanitt a karbantartáshoz szükséges eszközök is rendelkezésre állnak.

10. Vezérlőrudak

A friss fütőelemekkel müködő, hideg és nem mérgezett reaktorban várhatóan 8 %-os lesz a többletreaktivitás. A vezérlőrudaknak összesen kb. 15 %-os reaktivitásváltozással kell ekvivalensnek lenniök ahhoz, hogy a reaktort legalább 2 %-ban szubkritikussá tudják tenni még akkor is, ha az összes vezérlőrud egyharmada felmondja a szolgálatot.

32 vezérlőrud négyzetesen rendezett sorokban helyezkedik el. A rudak átmérője 90 mm és hosszuk 2800 mm, kivéve a finom vezérrudat, melynek átmérője 42 mm és 2000 mm hosszu. Abszorbensként kadmiumot alkalmaznak. A rudak közül nyolc biztonsági rudnak készült kb. 4,5 %-nak megfelelő reaktivitással. A fennmaradó rész a betétrudak, melyek a durva vezérlésre szolgálnak és három közel egyenlő csoportra oszlanak, ugy hogy egy-egy rud kb. 3,5 % reaktivitással egyenértékü.

Biztonsági meggondolások alapján a maximális reaktivitáskeltési sebességet a betétrudak összességére 15 pcm/sec-ben /1 pcm = 10^{-5}/ szabták meg. Mivel az átlagos reaktivitáskeltési sebesség mindössze 7,5 pcm/sec, 24 percre lesz szükség, mig a rudak teljes utjukat megteszik, miután behatolási sebességük mindössze kb. 2 mm/sec.

A rudakat egyedileg hajtják meg közvetlenül az 50 ciklusos városi hálózatba kapcsolt szinkron mágneses reluktancia motorokkal. Veszély esetén a reaktor beállitása forgó mágneses kapcsoló segitségével történik, amely a motort lekapcsolja a dobos vezérlőkapcsolóról, aminek következtében a rudak nehézségi erő folytán a reaktormagba esnek. A kapcsolódob tengelyéről müködtetett többmenetü potenciométert alkalmaznak a rudak helyének jelzésére.

A finom vezérlőrud a betétrudak elhelyezésétől függően maximálisan 400 pcm-nek megfelelő reaktivitást biztó-

sit, melyet maximálisan 30 pcm/sec sebességgel tud változtatni. Hét százalékos teljesitményszint-eltérés esetén egy mágneses erősitő utján a teljesitményszint-eltérés-erősitőhöz kapcsolt kétfázisu 50 wattos szervomotor a rudat a maximális haladási sebességgel /:100 mm/mp:/ hajtja. A maximális teljesitményemelkedés 1 és 16 MW közötti tartományban 1 % mp-ként; mig 16 és 100 MW /teljes üzem/ között percenként legfeljebb 10 MW.

Összefoglalás

		Biztonsági rudak	Betét rudak	Szabályozó rudak
Rudak száma		8	23	1
Átmérő	mm	90	90	42
Hossz	mm	2800	2800	2000
Reaktivitás	%	4,5	10,5	0,4
Kötegek száma		1	3	1
Maximális reaktivitásváltozás	pcm/sec	6,5	15	30
Teljes menetidő	perc	24	24	0,3

11. Müszerezés. Biztonsági berendezés

A neutronfluxus mérőmüszereinek teljes üzemi tartománya a következő teljesitménytartományokat foglalja magában:
a./ számlálók tartománya /1,5 MW-től kW-ig/;
b./ átmeneti teljesitménytartomány /150 W-tól MW-ig/ és
c./ a teljesitményszint-tartomány /1 MW-tól 100 MW-ig/. Rendes üzem közben csak a két utóbbi szint mérésére van szükség. A számlálási tartomány beinditásra szolgáló három egyforma csatornára terjed ki BF_3 számlálók alkalmazása mellett; valamint két ugyancsak egyforma csatornára az időnként alkalmazásra kerülő, hasadási számlálók részére. Ólomvédőréteggel ellátott, nem-kompenzált ionizációs kamrákat alkalmaznak a többtartományu teljesitményszintmérő gyanánt, valamint a két logaritmikus teljesitményszint és periódusmérő részére, melyek érzékenységi tartománya egyenként 6 dekádot tesz ki, 150 W-tól 150 MW-ig terjedően. A többi müszerhez tartozik három leállitás-

erősitő, két teljesitményszint-eltérés-erősitő és egy galvanométer.

A 168 fütőelemcsatornában levő D_2O hőmérsékletét 20 cm-rel a fütőelemrudak felett elhelyezett termoelemekkel mérik. 168 higanyos kontaktjelfogóból álló letapogató készülék köti be egymásután a termoelemeket /mp-ként 50 pont/ egy impulzus erősitőbe és amplitudo-diszkriminatorba. Ha bármelyik fütőelemcsatornában az előirt hőmérsékletet meghaladó hőmérséklet lép fel, akkor a reaktor leáll. Csak az átlagos hőmérsékletet regisztrálják; ha valamelyik csatorna hőmérséklete az átlagtól eltér, akkor ez megfelelő jelet kelt a jelzőberendezésben.

A normális üzemi feltételektől való eltérés a jelzés sulyosságától függően vagy leállitja a reaktort, vagy csak megforditja a szabályozórudak mozgásának irányát. A leállitó áramkör kb. 15 sorbakapcsolt kontaktkapcsoló csoportból áll, ha bármely csoportban nyitott áramkör keletkezik, ez leálláshoz vezet. Az elektronikus berendezés megszólalási valószinüsége kettő a háromból elven alapul a valódi jelekre vonatkozóan. A kikapcsoló áramkör kettőzött. Hasonló áramkört alkalmaznak a rudmozgás megforditását előidéző jeleknél.

12. Védőrétegek

A reaktort és egyéb segédberendezéseket /pl. fütőanyagraktár, fütőanyagrakodó gép/ ugy tervezték, hogy rendes körülmények között a dózis-sebesség csupán 0,75 mrem/ó. Bizonyos területeken azonban, melyek csak karbantartási munkákkal kapcsolatban használhatók, 50 mrem/ó dózis-sebességet is számitásba vettek.

A védőrétegek tervezésénél egy további kritérium az volt, hogy a betonfelületeket érő sugárzás intenzitása ne legyen nagyobb, mint 20 MW/cm^2. Magát a reaktort körülvevő tér teljesen szigetelt a környezet felé és csökkentett nyomás alatt tartják.

A körbenfutó védőréteg belső, a moderátor által hütött termikus védőrétegből /10 cm Fe/ és egy külső levegővel hütött második termikus védőrétegből /7 cm Fe/ áll. A biológiai védőréteg 215 cm-es vasbeton /sürüsége 3,8/. A hőabszorpció mértéke a három védőfalra vonatkozóan 500 kW, 20 kW ill. 11 kW.

A reaktor feletti védőréteg kettős célt szolgál. Egyrészt üzem közben lecsökkenti a reaktor feletti dózis-sebességet 0,75 mrem/ó-ra, másrészt üzemszünetben lehetővé teszi a fütőelemek mozgatását anélkül, hogy ez a személyzet részére /ha netán jelen van/ tulságos sugárveszéllyel járna.

A védőréteg 180 cm vastag borátos grafitréteg, mely megfelelő nyilásokkal rendelkezik a fütőelemek ki- és bevitele számára. A grafitot ugy helyezik el, hogy a neutronáram megfelelően kicsi maradjon. Efelett a réteg felett van egy 15 cm vastag köralaku vaslemez, mely főleg fütőelem-mozgatáskor szolgál védőréteg gyanánt. A védőréteg teteje 100 cm vastag betonfedél, melyet a fütőelemek kivételekor legörditenek.

A fütőelem-mozgató gépet ugy tervezték, hogy a védőréteg felületén maximálisan 7,5 mrem/ó legyen a dózissebesség. Még akkor is, ha egy fütőelem kiemelés közben megakadna, a mozgató gép környezetében a minden külön óvintézkedés nélkül megközelithető helyeken a dózissebesség nem lenne nagyobb, mint 50 mrem/ó. Még egy komoly fütőelemsérülés a cserélőgépen belül sem okozna 50 mrem/ó-nál nagyobb dózisnivót. A fütőelemek védőrétege a fütőelemnyilást körülvevő 57 cm-es vasrétegből és a felső szakaszban megfelelően vékonyabb rétegekből áll. Ezenkivül a vasvédőréteget még 10 cm-es bóros paraffinréteg veszi körül a D_2O hütőközegben keletkező fotoneutronok kiküszöbölésére. A védőréteg teljes sulya 134 tonna.

13. Fütőelemtokok meghibásodását kimutató berendezés

Mivel a reaktor kb. 3 200 fütőelemrudat tartalmaz, feltételezhető, hogy rendesen működhet akár egy sereg tűfoknagyságu felhólyagzásos tokhiba mellett is. A jelenlegi fütőelemkonstrukciók valószinüleg nem fogják megengedni, hogy a reaktor leállitása után zökkenőmentesen meginduljon, ha ilyen tipusu tokhibák felléptek. Éppen ezért kellett a fütőelemek meghibásodását kimutató berendezést ugy megtervezni, hogy még a legkisebb tokszivárgásokat is kimutassa, lokalizálja és folyamatosan ellenőrizze.

Olyan hirtelen fellépő, nagyobb tokhibák esetében, melyek üzemzavart okozó hibává fejlődhetnek, a reaktort a lehető leghamarabb le kell állitani. Ezért egy gyors és viszonylag nem érzékeny nagyméretü durva jelzőkészüléket is épitettek be a rendszerbe.

Maximális érzékenység céljából olyan detektáló rendszert alkalmaznak, mely a hütővizbe került nemesgáz-hasadási termékeket kiválasztja és az elektrosztatikus uton szeparált bomlástermékeiket számlálja.

Négy ilyen detektáló egységet alkalmaznak, melyek mindegyike egy szelektáló és egy elektrosztatikus precipitátor készülékből áll. A szelektor áramlásszabályozó berendezést is tartalmaz. A hasadási gázokat a hütővizből a reaktor nyomásához képest megfelelően szabályozott nyomás alatt cirkuláló hélium segitségével vonják ki és viszik át a precipitátorokba. Üzembiztonság szempontjából valamennyi lényeges alkatrészt megfelelő pótalkatrészekkel látnak el.

A 168 fütőelemcsatorna folyamatos ellenőrzésére mindegyik csatornából e célra készült kis csővel vesznek ki vizmintát. Ezekből a csövekből a nehézvizmintákat egymásután táplálják be a szelektáló egységbe olyan szolenoid szelepek utján, melyek előre meghatározott időrendben automatikusan

működésbe lépnek. A fütőelemcsatornából a viznek a szelektorba történő átvitele ideje kb. 10 mp. Ha kis tokhibát mutatnak ki, akkor a megfelelő fütőelemcsatornát egy különálló, hibás fütőelemcsatornákat ellenőrző készülékrendszerbe kapcsolják be.

Az egyes hütővizminták aktivitását többcsatornás regisztráló berendezésekkel regisztrálják.

A gyors, durva-jelzőberendezésben két különálló szelektoregység található, melyek négy mintavevő csőhöz csatlakoznak. Ezek a fő hütővizkifolyók mindegyikéből vesznek mintát. Itt a csatornakimenettől a szelektorig történő átviteli idő 5 mp-nél is kevesebb. A kivont gázok radioaktivitását szcintillációs számlálók segitségével folyamatosan mérik. Rendes körülmények között legalább egy precipitátort is bekötnek vészjelzőként, ami valamivel érzékenyebben, de némileg lassabban szólal meg nagyobb tokhibásodások esetében.

A szolenoid szelepeket a reaktor fedél feletti 150 cm-es sugárirányu védőrétegen közvetlenül kivül fekvő, ugyancsak védőréteggel ellátott helyiségben, két csoportot alkotó elrendezésben helyezik el. Ebben a helyiségben találhatók a szelektoregységek is, mig a precipitátorok külön helyiségben, közvetlenül a szelepterem mellett találnak elhelyezést.

A rendszer működésének ellenőrzésére, valamint fontos müszerek és vezérlőberendezések kapcsolására a fő vezérlőteremben külön tábla szolgál.

14. Sugárveszély jelzése

A reaktortelepen 34 sugárveszélyjelző készüléket épitettek be a neutronfluxust mérő és a tokrepedéseket jelző berendezéseken kivül. Ezek közül 20 vezérlőberendezésnek tekinthető, mivel jelzéseik a különböző tisztitó /He, D_2O, H_2O/ és a radioaktiv gázokat elvezető berendezéseket működtetik.

Hat müszer szolgál a fő szekunder hütőkör és a segéd hütőrendszerek ellenőrzésére, főleg abból a szempontból, hogy jelezzenek, amennyiben gazdasági szempontból jelentős mennyiségü D_2O szivárogna ki a hőkicserélőkön át.

A többi nyolc müszer a különböző szellőző berendezésekben és a kémény levegőjében eloszló radioaktiv részecskék és gázok regisztrálására szolgál.

A kivezető légcsatornában fellépő nagymértékü radioaktivitás esetében három jelzőkészülék biztonsági szelepet zár le, ami megakadályozza azt, hogy radioaktivitás kerüljön a környezetbe. Mindenütt szcintillációs számlálókat alkalmaznak.

Rádiókémiai laboratóriumot állitanak fel a helyszinen, mely a sugárvédelem egészségügyi feladatainak megoldásában nyujt segitséget és egyuttal rendszeresen figyeli a környezet szennyeződési viszonyait.

15. A reaktor üzemeltetése

A reaktor kinetikai viselkedését analóg számlálóberendezéssel tanulmányozták.

A kapott eredmények arra vallanak, hogy a fütőanyaggal kapcsolatos negativ hőmérsékleti koefficiens elégséges arra, hogy a reaktort stabilizálja és minden nagyobb teljesitményugrást lefékezzen. A moderátor által képviselt nagy, lassu negativ reaktivitás-visszacsatolás, mely a hütőkörrel sorba van kapcsolva és amelynek hőmérséklete következésképpen reaktorteljesitmény szerint változik, ugyancsak stabilizálja a reaktor müködését, ha állandó teljesitményszinten üzemeltetjük. Komplikációkat okoz azonban mihelyst a teljesitményszint változik.

A maximális teljesitményszint-változási sebességet ezért előzetesen 1 MW/perc-ben állapitották meg a reaktor kézi kapcsolása esetén és 10 MW/perc-ben, ha a vezérlés nukleáris teljesitményszintszabályzóval történik.

Energiafejlesztési szinten történő működtetés esetében a hütőfolyadék keringésének sebességét állandó szinten tartják, a reaktor teljesitményétől függetlenül. Kis teljesitményszint esetében a kimeneti hőmérsékletet nem engedik 85 C^{o} alá süllyedni olymódon, hogy a hütőfolyadékot a szekunder körben egy shunt-szelep segitségével ujra cirkuláltatják.

Ez az üzemi program az egyensulyi állapothoz tartozó reaktivitási teljesitmény-koefficienst határoz meg; ennek értéke 30 MW felett, kb. -10^{-4}/MW amikor a shunt-szelep zárva van, de 5.10^{-5}/MW-t tesz ki kisebb teljesitményszinteknél.

A teljesitmény-koefficiens pozitiv értéke következtében a shunt-szelep működésének lassunak kell lennie és nem szabad automatikusan igazodnia a reaktor teljesitményszintjéhez.

Nagyobb teljesitményszinteknél a teljesitmény-koefficiens negativ értéke a xenon-mérgezés okozta negativ visszacsatolás folytán fellépő instabilitási tendenciát ellensulyozza ugyan, de nem elégséges ahhoz, hogy a reaktor működését stacionáriussá tegye. A xenon okozta mérgezés lassu változása azonban lehetőséget ad arra, hogy azt mindaddig könnyen ki tudjuk egyensulyozni, amig csak a vezérrudakban többlet-reaktivitás áll rendelkezésünkre.

Nem lenne gazdaságos, ha külön tartalék-reaktivitásról gondoskodnánk, mely nem volna felhasználható az elégetésben, csupán a reaktor méretét növelné. Az energiaszükségletben fellépő csökkenés kiegyensulyozására ehelyett a kivánt reaktivitást a szekunder körbe kapcsolt ideiglenes hütő biztositja.

Ez a hütő kettős célt szolgál. Részben energiát nyel el és igy a szükséges teljesitményszintcsökkentés mérté-

ke kisebb lesz, részben a moderátort hüti, ami által némi többlet-reaktivitást eredményez a xenon-mérgezés okozta változások kiegyensulyozására.

Az ideiglenes hütőt csak teljesitményszint-változások esetén helyezik üzembe, amikor a fő hőelosztótelepek zárva vannak, mint például beinditás és leállitás idején.

16. Szellőző berendezés

Az atomenergiatelepen a szellőzést ugy tervezték meg, hogy a reaktorcsarnok és a külső tér közötti nyilások a lehető legkisebbek legyenek. Kivánatos, hogy azokon a helyeken, ahol radioaktiv szennyeződés léphet fel, kis légköri nyomás uralkodjék, éppen ezért szükség van bizonyos légelszivó berendezésre. A szellőző berendezés három részre oszlik:

a/ friss levegő bevitele
b/ levegő keringtetése
c/ légelszivó berendezés.

A friss levegőt szállitó vezetékek látják el a helyiségeket a szükséges friss levegővel a következő négyes rendeltetéssel: 1. a személyzet fiziológiai szükségleteinek megfelelően; 2. a feleslegea hő elvonása céljából; 3. a telep fütésére, ha a reaktor nincsen üzemben; 4. bizonyos körülmények között a radioaktivvá vált levegő felhigitása céljából.

A friss levegő bevitele kétféle rendszerrel történik. Az első rendszer vezetékei olyan helyiségeken haladnak át, melyekben rendes üzemi idő alatt személyzet tartózkodik /I.oszt./ és főleg az első három pontban megjelölt célt szolgálják. A második vezetékrendszer olyan helyiségekhez szól, melyekbe csak akkor lehet belépni, ha a reaktor nem müködik, üzem közben csak kivételes esetben, /II.oszt./. Ennek a második vezetékrendszernek bemeneti nyilásai általában zártak és csak akkor lépnek müködésbe, ha a szóbanforgó helyiségekben személyzet tartózkodik.

A cirkulációs rendszer a termekben elhelyezett műszereknek megfelelő szobahőmérsékletet biztositja azon helyiségekben, melyeket rendes körülmények között a személyzetnek nem kell vagy nem is szabad használnia a reaktor üzemeltetése alatt /II.oszt./. Ezek sokszor azonosak azokkal a helyiségekkel, melyekben a második tipusu friss levegő vezetékek is haladnak.

A légelszivó vezetékek biztositják a légnyomáskülönbséget a meghatározott épületrészek között, melynek révén a levegőáramlás mindig a kevésbé szennyezett helyiségből radioaktivabb helyekre irányul. Az elszivott és feltételezhetően radioaktiv levegőt ebben a vezetékrendszerben tisztitják meg azoktól a szennyezésektől, amelyek nem juttathatók a szabadba korlátozás nélkül a kéményen keresztül. Az elszivó vezetékrendszerbe az olyan helyiségeket kötik be, ahol hasadási termékek, elszivárgó nehézviz vagy tisztitógáz fordul elő.

Mind a friss levegőt szállitó vezetékeket, mind az elszivó légcsatornákat a vezetékek kimeneténél megfelelő abszolut szürőkkel látták el. Ezeket a szürőket normális körülmények között, amikor nincsen aktivitás, a friss levegőt vivő vezetékek segitségével ki lehet kerülni, és a levegő ilyenkor csak a szokványos, vagy előszürőkön halad át. Ilyen előszürőket helyeznek el a légelszivócsatornák abszolut szürői elé is. A helyiségekbe áramló levegőt is szokványos légszürőkön szürik át.

A cirkulációs berendezésben a ventillátorokon kivül csak hütő, vagy fütő telepek vannak. A legtöbb esetben hütésről van szó, és maguknak a hütőtelepeknek hütéséről segédhütőberendezés gondoskodik. Amennyiben egyes helyiségeknél fütésre van szükség, az ehhez szükséges hőt vagy a központi fütés vezetékrendszeréből, vagy forróviz kazánokból biztositják.

17. Helyi áramfejlesztő

Rendes körülmények között a telepnek 6000 V-os feszültséggel való energiaellátása kábelen keresztül történik, egy közelfekvő gőzerőműből. Ezenfelül tartalék energiaszolgáltatásra egy 20 kV-s felső vezeték szolgál.

A motorokhoz szükséges 500 V feszültség elérésére a telep két transzformátorral is rendelkezik, melyek bármelyikének kapacitása elegendő a telep maximális elektromos energiaszükségletének kielégitésére.

Az 500 V feszültséget vezető villamoshálózat két csoportra oszlik; ezek közül az egyik biztonsági szempontból lényeges, a másik pedig nem lényeges szerepet játszik. A "lényeges" csoportba kötnek be minden olyan áramfogyasztó egységet, melynek müködése akkor is feltétlenül szükséges, ha a külső vezetékekről történő energiaellátás felmondja a szolgálatot.

Ha a rendes körülmények között betáplált 6 kV-s áramszolgáltatás megszünik, akkor a berendezés önmüködően átkapcsol a 20 kV-s felső vezetékre. Ha itt is üzemzavar lép fel, akkor a reaktor automatikusan leáll. A helyi külső hálózatba bekapcsolt "nem lényeges" részeket kikapcsolják, és csak a "lényeges" részt táplálják a mü saját akkumulátor-telepéről, áramátalakitókon keresztül. A két dieselmotort beinditják. Az egyik automatikusan az 500 V-s vezeték fázisába kerül, és átveszi a terhelést. A másik motor ekkor leáll.

Annak érdekében, hogy ilyen szükségüzemeltetés esetében az energiaszükségletet csökkentsék, a fő cirkulációs szivattyuk csökkent sebességgel dolgoznak. Ez ugyancsak automatikusan következik be azáltal, hogy ilyen célra üzembentartott frekvenciaátalakitókat kapcsolnak be. Ez az átkapcsolás kb. félperces késedelemmel következik be azért, hogy a fütőelemek a reaktor leállása után előbb még megfelelően lehülhessenek.

18. A munka megszervezése

Az atomerőművet a Svéd Állami Villamos Energia-igazgatóság épitteti, amely a reaktortervezéssel az AB Atom-energi-t bizta meg. A számitásokat, tervrajzok készitését és részben a kifejlesztési munkát is az AB Atomenergi az ASEA /Almänna Svenska Elektriska Aktiebolaget/ vállalatra bizta. Az Állami Energiaigazgatóság a munka többi részét vállalta.

- - - -

Forditotta: Kovács Jenőné.

RADIOAKTIV ANYAGOK IPARI ALKALMAZÁSA

Dr. K. Hogrebe

Die Atomwirtschaft, Jg. 3, Nr.8/9, p.311,/August-Sept. 1958/

/A cikk áttekintést ad a radioaktiv anyagok alkalmazásáról a Német Szövetségi Köztársaságban. Nyugatnémetország 1949. végén importált első izben radioaktiv anyagokat - orvosi célokra - Angliából. Azóta erőfeszitések történtek, hogy a nyugati államokkal és a Szovjetunióval szemben mutatkozó elmaradásukat radioaktiv anyagok alkalmazása terén behozzák. - Az első Genfi Atomkonferencia idején Nyugatnémetországnak még nem volt reaktora, ugyhogy az összes mesterséges radioaktiv anyagokat importálnia kellett s az azóta épült két reaktor is ugyszólván csak a hozzájuk tartozó tudományos intézeteket képes ellátni. A Karlsruhe-i FR-2 reaktor megindulásával fog döntően javulni a helyzet; mindaddig az ipari célokra importált mesterséges radioaktiv anyagokat igen megdrágitja az importszállitási költség. Az alanti táblázat az 1951-1957. időszakban importált izotópokat részletezi./

A Szövetségi Köztársaságba 1951-1957-ben importált radioaktiv nuklidok kimutatása Curie-ben

Nuklid	Behozatal 1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957
Co-60*	13	8	28	27	70	74	60
Ir-192	2	8	17	55	240	386	494
Cs-137	-	-	0,3	2	27	41	4
Tm-170	-	-	-	5	1	11	-
Tl-204	-	1	0,5	2	1	1	1
Sr-90	-	-	1	6	4	3	8
Kr-85	-	-	-	-	2	1	5
Br-82	1	2	3	2	3	3	2
Cu-64	-	0,6	1	1	1	1	3
H-3	-	0,5	1	-	1	1	328
Na-24	-	1	-	-	1	1	-
Xe-133	-	-	-	-	-	18	45
P-32	4	6	8	15	25	14	10
J-131	7	14	22	24	30	39	50
Au-198	1	12	25	32	40	31	43
S-35	-	0,4	1	2	2	2	3

* Kobalt-ágyuk nélkül

A táblázatban szereplő négy utolsó nuklidot majdnem teljes egészében orvosi célokra használják fel. Ami a P-32 izotópot illeti, bizonyos megfontolások és a külföldi adatokkal való egybevetés arra mutatnak, hogy a P-32 orvosi célokra történő alkalmazása a közeljövőben eléri a maximumot és a későbbiek folyamán kissé csökkenni fog.

Zárt preparátumok alkalmazása

A Co-60 és Ir-192 nuklidokat legnagyobbrészt folyadékszintmérésekre és roncsolásmentes anyagvizsgálatokhoz használják. Ilyenkor majdnem mindig zárt preparátumokat alkalmaznak, melyeknél a megkövetelt sugárvédelem viszonylag egyszerüen megvalósitható. A többnyire Co-60-nal végzett folyadékszintmérő eljárás tökéletesen bevált, ugyhogy ma már azokban az iparágakban, ahol erre szükség van, egészen elterjedt mérési módszerré vált.

Ugyanezt mondhatjuk a roncsolásmentes anyagvizsgálatokról, különösen a csővezetéképitésekhez használt preparátumokról. A kezdetben alkalmazott Co-60-at egyre inkább kiszoritja az Ir-192. Az Ir-192-nek viszonylag lágy gammasugárzásával sokkal jobb kontrasztokat lehet kihozni, mint a Co-60 kemény sugaraival. Ezen felül az Ir-192 nagy specifikus aktivitással is előállitható; mindezek az előnyök folytán az Ir-192 alkalmazási területei viszonylag rövid, 75 napos felezési ideje ellenére, egyre szélesednek. Egy idő óta Nyugatnémetország piacán is megjelennek olyan Ir-192-források, melyeket Kanadában sugároztak be és amelyek aktivitása tiz-huszszor nagyobb, mint az eddig Nagybritanniában előállitott preparátumoké.

Roncsolásmentes anyagvizsgálatok céljára Ir-192 mellett Cs-137-et is használnak; ez reaktorokban mint hasadási termék, nagy mennyiségben keletkezik. Előnye az Ir-192-vel szemben, hogy felezési ideje jóval hosszabb /kb. 33 év/, hát-

ránya viszont, hogy gammasugárzása valamivel keményebb és igy fényképfelvételeknél gyengébb kontraszthatást lehet vele elérni. Továbbá a Cs-137-forrásokat fizikai okokból csak kb. 50 mC/mm^3-es térfogatkoncentrációval, mig az Ir-192-forrásokat 2500 mC/mm^3 térfogatkoncentrációval lehet előállitani. Bár ez a két tényező némileg korlátozza a Cs-137 alkalmazási lehetőségeit, a kereslet néhány Curie aktivitásu Cs-137 források iránt az utóbbi években annyira megnőtt, hogy egyelőre nem is tudják kielégiteni.

A Szövetségi Köztársaság még nem készült fel Cs-137 források előállitására, noha megvolna a lehetőség arra, hogy oldott Cs-137-et nitrát vagy klorid alakjában nagyobb mennyiségben vásároljon az USA-ból. Ennek oka nyilván az, hogy előbb a források előállitásához szükséges berendezéseket kell felépiteni és hogy előbb még vizsgálatokat kell végezni a Cs-137 koncentrációs eljárására, valamint olyan forrástartó megszerkesztésére nézve, melynek tömitése több éven át kifogástalan marad. Angliában a Cs-137 források gyártását most éppen átállitják, emiatt a szállitások késedelmet szenvednek; ezzel magyarázható, hogy a nyugatnémetországi behozatal 1957-ben csökkent /lásd 1. táblázatot/.

A Thulium-170, melyet külföldön alkalmilag röntgenforrásként anyagvizsgálatokra használnak, a Szövetségi Köztársaságban még nem tudott meghonosodni, több okból. Elsősorban a beszerzési és besugárzási költségek tul magasak a 127 napos felezési időhöz viszonyitva. Másodsorban a szóbajövő 84 keV-os gammakomponens intenzitása nem nagy, mert az összaktivitásra vonatkoztatva csak körülbelül 3 %-os gyakorisággal emittálódik. A nagyobb méretü források további hátránya az erős önabszorpció.

Az Europium-152 és Europium-154 sugárforrásoknak anyagvizsgálati alkalmazására nézve a Szövetségi Köztársaságban még nem rendelkeznek tapasztalatokkal, bár hosszu,13 ill. 16 éves felezési idejük, jó gammaspektrumuk, továbbá nagy akti-

válási keresztmetszetük miatt alkalmazásukhoz sok reményt lehetne füzni.

Radioaktiv anyagok béta- és gammasugárzásának v a s t a g s á g m é r é s r e é s s ü r ü s é g m e g h a t á r o z á s r a való alkalmazhatósága Nyugatnémetországban fellenditette a vastagság- és sürüségmérő készülékek gyártását. Ezek az eljárások gyorsan meghonosodtak és ma már több száz németországi üzemben állandóan használják gyártási folyamatok ellenőrzésére. Erre a célra/sugárforrásként/legtöbbnyire a Tl-204-et, Sr-90-et és Tm-170-et alkalmazzák.

Külföldi folyóiratok az utóbbi években gyakran számolnak be olyan eredményes kisérletekről, melyeket a sugárzásoknak s u g á r k é m i á b a n , valamint fertőtlenitésre, mutációk létrehozására és tartósitásra való felhasználása irányában végeztek. Ilyen célokra általában 1000 Curie-s és ennél nagyobb nagyságrendü sugárforrásokat alkalmaznak. Eddig főleg Co-60 forrásokkal végzett kisérletekről számoltak be; de minthogy a reaktorokban egyre több hosszu felezési idejü hasadási termék /Cs-137 és Sr-90/ keletkezik, természetesen felmerült a gondolat, hogy az emlitett célokra a jövőben ezeket a radioaktiv termékeket használnák erős sugárforrásokként. A Szövetségi Köztársaságban egyelőre még csak most kezdenek igen erős forrásokkal kisérletezni s e célra rendelkezésre áll néhány 40 és 2000 Curie közötti erősségü Co-60 forrás; ujabb eredményeket azonban csak a következő évektől várhatunk.

Nyilt preparátumok alkalmazása

Ezeknek technikai célokra való alkalmazása a Szövetségi Köztársaságban - ellentétben a zárt preparátumokéval - igen vontatott. Az utóbbi években végzett kisérletek legtöbbje n y o m j e l z ő v i z s g á l a t , azaz anyagok mozgásfolyamatának vizsgálata volt a kőolaj és cementiparban, bányászatban és vizgazdaságban, ahol gázok, por, folyadékok, stb.

visszamaradását és mozgását kellett megfigyelni és mérni. A legtöbb esetben egyszeri mérésekről volt szó, tartós, rutinszerü eljárási módokat - egy-két kivételtől eltekintve - nem lehetett kialakitani. De még igy is hasznos volt a radioaktiv anyagok alkalmazása, mert rávilágitott néhány eddig ismeretlen tényezőre. A motor- és a szerszámiparban is csak vontatottan alkalmaznak selejt- és kopásvizsgálatra radioaktiv anyagokat, csupán néhány ipari és főiskolai laboratórium foglalkozott az utóbbi időben ilyen kisérletekkel.

Csövek stb. s z i v á r g á s á n a k k i m u t a t á s á r a ellenben végeztek néhány eredményes kisérletet s ugy látszik, ez az eljárás, mint kifizetődő gyakorlati módszer, be fog válni.

A v i l á g i t ó a n y a g i p a r b a n azonban a Sr-90 alkalmazása céljából végzett kisérletek eddig nem hoztak számottevő eredményt. Valószinü, hogy a tritium sugarainak alkalmazása fog beválni, mind sugárvédelmi, mind fizikai okoknál fogva, de még megoldásra vár az a kérdés, hogy a tritium melyik kémiai vegyülete alkalmas a világitó anyagba való beépitésre.

S u g á r v é d e l m i e l ő i r á s o k h i á n y a g á t o l j a a z i z o t ó p o k a l k a l m a z á s á t .

Áttekintve a Szövetségi Köztársaságban a radioaktiv anyagok technikai alkalmazását az utóbbi évek folyamán, megállapithatjuk, hogy jelentős fejlődés csak a zárt preparátumok alkalmazásában állt be; nem bővült ugyan ujabb eljárási módszerekkel, de tökéletesitették az évek óta ismert módszereket s alkalmazási területük kiszélesedett.

Az okokat keresve, nyilt preparátumok tekintetében a magyarázat az, hogy elvben ezeknél az anyagoknál fennáll a beépülés veszélye s igy veszélyesebbek, mint a zárt preparátumok.

Veszélyt jelenthet magánál az alkalmazásnál az, hogy a jelzett anyag /pl. gázok, por, folyadékok/ ellenőrizhetetlen módon kijutnak a kisérleti helyiségből. Nagy nehézségekkel jár a hulladékok kellő eltávolitása is. Ezeket a veszélyeket csak tökéletesitett sugárvédelmi berendezésekkel lehet vállalni és csak jól képzett kisérleti vezető vállalhatja a felelősséget a nyilt preparátumokkal végzett kisérletek biztonságáért. Ehhez megfelelő sugárvédelmi előirásokra és kellő szakképzésre van szükség s ezek a feltételek eddig még nincsenek biztositva. Szakképzés terén csak néhány év mulva lesz érezhető az utóbbi években bővebben juttatott anyagi eszközök hatása. Vannak ugyan a nyilt preparátumok kezelésére vonatkozó sugárvédelmi szabványok és balesetvédelmi előirások, de a Szövetségi Köztársaság alapvető sugárvédelmi rendelete még nem látott napvilágot. Éppen ez az, ami nagy bizonytalanságot okoz, s ami nyilvánvalóan a nyilt preparátumok szükkörü alkalmazását is magyarázza.

A rendeletek hiányát megkisérelték ideiglenesen a már emlitett szabványlapokkal, balesetelhárító előirásokkal és sugárvédelmi tanfolyamok rendezésével pótolni, de mindez természetesen csak bizonyos mértékig csökkenti a radioaktiv anyagok kezelése körül fennálló bizonytalanságot.

A radioaktiv anyagok vontatott ipari és technikai alkalmazásával járó hátrányok felismerésének köszönhető nagyrészt az, hogy 1957. tavaszán megalakult az Izotóptanulmányi Társaság, mely feladatául tüzte ki, hogy a radioaktiv anyagok ipari alkalmazását saját kutató-munkájával fejleszti és tanácsadásaival elősegiti.

Forditotta: Polgár Terézia

NUKLEÁRIS FŰTŐANYAGFORRÁSOK

J.C.Johnson /USA/

II. Genfi Konferencia A/CONF.15/P/1921.számu cikk

Az első átfogó képet a világ atomenergiatermelésre alkalmas nukleáris nyersanyagforrásairól az I.Genfi Konferencia adta 1955-ben. E konferenciát megelőzően az atomenergiára vonatkozó információk legnagyobb részét, különösen pedig a nukleáris fűtőanyagok termelésével vagy a termelési eljárásokkal összefüggő dokumentációs anyagot a legszigorubb éberséggel titokban tartották.

A nukleáris nyersanyagok feltárása és termelése közben is minimális volt a lényegbevágó tájékoztatás. Ezért a tudományos és technikai információk nagy tömege állt már készen, hogy először fedjék fel őket az 1955-ös Konferencián. Az urántartalékokról s az urántermelésről azonban még azon a konferencián is csak kevés tájékoztatást tettek közzé.

Az 1958 évi Konferencián már sok cikk foglalkozik az urán geológiája, kémiája és metallurgiája terén elért uj fejlődéssel. Az előző konferencián tárgyalt témákon kivül most már igen sok részletes tájékoztatás áll rendelkezésünkre az urántermelés szintjéről, a termelési költségekről s az érctartalékokról. 1955 óta a fontosabb urántermelő országok legtöbbje gyakorlatilag visszavont minden olyan éberségi korlátozást, amely a nukleáris nyersanyagokról való információra vonatkozott.

Lényeges, hogy a nukleáris fűtőanyagforrásokat világviszonylatban itéljük meg. Minden, az atomenergiafejlesztést fontolgató, vagy már tervező országnak szüksége van arra,hogy a lehető legtöbb információt szerezze meg a nukleáris fütüanyag elérhetőségéről és áráról.

E cikkben megkisérlem összegezni a most rendelkezésre álló lényegesebb adatokat.

Az urántartalékok két nagy gazdasági csoportot alkotnak: az egyikbe azok tartoznak, amelyekből az urániumot az U_3O_8-kg-onkénti 22 dolláros költségszintnél alacsonyabb költséggel lehet kivonni és eladni, a másikba pedig azok a gyér urántartalmu agyagpala- és foszfátrétegek, amelyekből az uránium kivonása 3-6-szorosába kerülne az előbbinél. Néhány uránbánya körzetében a gazdaságosság határán levő ércet is találnak viszonylag nagy tonnaszámban. Ezek az ércek az előbbi osztályozás szerint közbenső osztályt alkotnak, jelenleg azonban nincs különösebb jelentőségük. Az uránércfeltárás és feldolgozás fejlődésével azonban ez a közbenső tipusu érctartalék még sokkal nagyobb fontosságot is kaphat. Azon nagyon dus rétegek, amelyekből 5-6 dollárért kaphatnak 1 kg urániumot, megint egy másik lehetséges forrást jelentenek. Az ilyen rétegek nem gyakoriak s nem valószinü, hogy hosszabb időre főforrásaivá válhatnának a világ urániumszükségletének.

Ami az első kategóriába tartozó tartalékokat illeti, Kanada és a Délafrikai Unió által 1957-ben végzett becslések szerint e két ország területén teljesen vagy részben feltárt készletek külön-külön kb. 400 000 tonna U_3O_8-at tartalmaznak. Az Egyesült Államok nyilvántartott urántartalékai ma kb. 220 000 tonnára tehetők. Alig két éve Franciaország 50 000 - 100 000 tonna tartalékról adott jelentést. E becslések szerint e négy ország urántartalékai együttesen 1,100.000 tonna U_3O_8-at tesznek ki. Ha figyelembe vesszük a becslések óvatos jellegét, s hozzászámitjuk Ausztrália, Belga-Kongó, Portugália s más országok tartalékait, a nem szocialista államokban jelenleg feltárás alatt álló területeken levő összes tartalék 1,5000.000 tonná U_3O_8 körül van. A kitermelés e területeken végül is elérheti vagy meg is haladhatja a 2 millió tonnát. A jelenlegi geológiai adatok s az elmult tiz év felfedezési tapasztalatai alapján még további kétmillió tonna U-tartalmu, U-ban szegény ércet lehetne

ujabb területeken belátható időn belül feltárni, ha a feltárási program számára erőteljes ütemet diktálunk.

Az Egyesült Államoknak az 1955-ös konferenciához benyujtott egyik cikkében ugy becsülték, hogy a feltárt tartalékok s a geológiai bizonyitékok alapján a nem szocialista termelő országok gazdaságos uránforrásai egy-két millió tonnát tartalmaznak. E feltárt tartalékok akkor kb. 500 000 tonnát tettek ki. E téren a növekedés főleg az 1956 előtt felfedezett uránmezőkön ment végbe.

Hogy 1955 óta nem sok uj területet fedeztek fel, azért nagymértékben a további urántermelés piacának szük területe a felelős. 1948-tól 1955-ig az Egyesült Államoknak és Angliának gyakorlatilag minden található uránra szüksége volt. Ez a tény nagymértékben ösztönözte a feltárást és kifejtést, s a termelés gyors kiterjesztését okozta. Következésképpen e két országnak jelenlegi és a közeljövőben fellépő igényeit a meglévő erőforrások már ki tudják elégiteni. Más piacok még nem fejlődhettek ki, mert a legtöbb ország atomenergia-programja még most áll tervezés alatt. Minden jel arra mutat azonban, hogy az uránpiac hamarosan növekedni fog.

Az ismert uránérc-készletek növekedését a termelés megfelelő növekedése követte. 10 év alatt az urántermelés fontos, jól megalapozott iparrá fejlődött. A termelési módszerek kiléptek kisérleti és fejlesztési kereteikből. Az 1950 után bevezetett módszereket alkalmazó modern ércelőkészitő üzemek már több mint 100 millió tonna ércet dolgoztak fel. A mai uránércfeldolgozó üzemek összes kapacitása évi 50 millió tonna érc. A termelésben a leggyorsabb fejlődés 1955 óta tapasztalható. 1955 végén a nem szocialista országok teljes urántermelése évi 11 500 tonna U_3O_8 volt. Ma az évi teljesitmény kb. 35 000 tonna s 1959-ben megközelitheti a 42 ezer tonnát. Az uránkoncentrátum évi összes termelésének értéke ma közelitőleg 750 millió dollár.

Az Egyesült Államok, Kanada és Dél-Afrika a nagyobb U-termelő nyugati országok. Az USA termelése kb. 15 000 tonna U_3O_8 évente, s 1960-ig tulhaladja a 20 000 tonnát. Kanada termelése kb. 13 000 tonna évente; 1958-ban eléri a 15 000 tonnás szintet. A délafrikai termelés több mint 6 000 tonna. Mindhárom ország meg tudná növelni a teljesitményét feltárt érctartalékaiból.

Az uránércek bányászási költsége az USA-ban nagymértékben változik. A nagy külszini fejtések jelentősége növekszik s ezeknél a bányászási költségek 4,80 - 11,50 dollár közt váltakoznak érctonnánként. A földalatti bányászás költsége 6 - 10,00 $/tonna érc nagy gépesitett üzemeknél, a kisebbeknél 15 tonnánként.

Jelenleg 26 üzem müködik vagy van épités alatt az USA-ban, közülük 3 üzemben az uránt foszfátkőzetekből vonják ki, 10 üzemben az érc kénsavas kivonását alkalmazzák, majd az uránt az oldatból ioncserével vonják ki; 11 üzem pedig savas kivonást és utána oldószeres kinyerést alkalmaz. Az egyik foszfátüzemben az uránt kémiai uton csapják ki a foszforsavból. 7 gyár a karbonátos eljárást használja, a fenti üzemek közül 3 pedig egyaránt alkalmaz savas és alkálikus extrakciós folyamatot.

A feldolgozásra kerülő ércek sulyában kifejezve az érc 35%-át oldószeres kivonásos müvelettel, 36 %-át ioncserével, és 29 %-át karbonátor lugzással nyerik ki. Bár az oldószeres kivonás folyamatát széles körben alkalmazzák, mivel a készülékek egyszerüek s üzeme könnyü, ezen eljárás költségei nem alacsonyabbak a többiekénél, s az ércfeldolgozás módjának megválasztása nagymértékben függ az érc metallurgiai jellemvonásaitól.

A homokkő-tipusu ércek feldolgozási költsége az USA-ban 6-10 dollár/tonna, nagyobb üzemekre vonatkozólag, az amortizáció és a nagyobb berendezés-cserék figyelembevétele nélkül. A kőzet jellegének - ez határozza meg az ércfeldolgozás vegyszer-

fogyasztását - nagy befolyása van a költségre, s gyakran döntő tényező egy üzemi eljárás kiválasztásánál is. A kőzet koncentrációs fokának nagy hatása van az uránium egy kg-jának kivonási költségére. Bár az Egyesült Államokban az átlagos kinyerési arány 2,5 kg uránoxid/érctonna, néhány üzem által feldolgozott érc átlagos dusitottsága kisebb, mint 0,20 % U_3O_8, mig más üzemek 0,30 % uránoxidtartalmu ércet is kezelnek.

Bár általános érvényü kijelentést az urántermelés költségeiről nem tehetünk, fontos ez a kérdés azoknak, akik az atomenergiával foglalkoznak, hogy meglehetősen pontosan felbecsülhessék az urán árát. A jelenlegi termelési költségek mellett, ha egy ércfeldolgozó üzemi koncentrátumban levő 1 kg uránoxid állami átvételi ára 20-22 $, ez már elég ösztönzést jelent az uránércfeldolgozók felé és igy biztositottnak látszik az évi 40 000 tonna U_3O_8 termelése. Az Egyesült Államok azt reméli, hogy az 1962 március 31 - 1966-ig terjedő periódusra megállapitott 8 $-os állami felvásárlási ár a termelők számára nyereséges piacot biztosit. Sok USA-beli üzem 1962-re teljesen amortizálódik, s ez a többlethasznot jelentékenyen befolyásolja.

Szerencsére az atomenergiafejlesztés kezdeti szakaszában a nukleáris fütőanyagot elég alacsony áron lehet majd beszerezni. A reaktor hatásfokának a tervezési tapasztalatok felhasználása alapján várható javulása talán ellensulyozza az uránium árának a piac kiszélesedésével előreláthatóan együttjáró emelkedését.

A viszonylag olcsón kitermelhető feltárt urántartalékok növekedésével az a kilátás, hogy olyan drága energiaforrásokhoz kell nyulnunk, mint a sovány agyagpala s foszfátrétegek, most távolabbinak látszik, mint néhány évvel ezelőtt. Joggal feltételezhetjük, hogy a most bányászás alatt álló dusabb források még néhány évig fedezni tudják a világ szükségletét. A sovány fémtartalmu pala- és foszfátrétegek pedig óriási uránium-tartalékot jelentenek, amely még sok nemzedék

számára biztositja a megfelelő nukleáris fütőanyagellátottságot.

A sovány bitumenes pala- és foszfátrétegek tonnánként 45-90 g uránt tartalmaznak, s ha a világ ismert lelőhelyeinek csak legnagyobbjait vesszük is figyelembe, több mint 20.10^6 tonna uránkészletet jelentene. Az Egyesült Államokban levő Chattanooga-i pala legdusabb lelőhelyei 5-6 millió tonna uránt tartalmaznak, s az USA-ban levő foszfátrétegek több mint 600 000 tonnát. A svéd és a szovjet balti terület kiterjedt bitumenes palarétegeinek egyes részei jelentékenyen nagyobb urántartalmuak, mint a Chattanooga-i pala.

Az USAEC egyik korlátozott kutatási programja 90-100 dollár kg-kénti uránárat irányzott elő az esetre, ha egyedül csak a Chattanooga-i palát akarnók bányászni s uránkivonásra használni. Kétségtelen, hogy a költségeket csökkenteni lehetne az ércfeldolgozási eljárások javitásával s az üzemi tapasztalatok gyüjtésével. A nagyobbméretü költségcsökkentés azonban a különböző melléktermékek gazdaságos kivonásától függ; ilyenek pl. a bitumenes anyagok, a timföld, és a vas. Bár semmilyen biztositékunk sincs a sikert illetően, a melléktermékek hasznositása - legalábbis bizonyos palarétegeknél - lehetőséget nyujt az urán termelési költségeinek mérséklésére.

Az uránnak bizonyos ipari foszfátfeldolgozó eljárásoknál melléktermékként való kivonása már sikerült. Az Egyesült Államokban 2 foszfátüzem 15,4 - 26,4 $/kg-os előállitási költséget ért el. Bár a termelés kicsiny, a foszfátkémia és mütrágyaipar mind nagyobb ütemben fejlődik. Az ebből az iparágból származó melléktermék-uránium mennyisége idővel évi párezer tonnára is rughat.

A tóriumnak elég szük piaca van, s ez a geológiai kutatást nem nagyon ösztönzi. Bár kétségtelen, hogy a tóriumnak atomenergetikai célokra való hasznositása fokozatosan szélesedni fog, eddig nem jelentettek

be nagyobb méretü tervet a tórium felhasználására. Az USA atomenergetikai célu tóriumszükségletét bőségesen fedezi annak a tóriumnak a megvételével, amelyet a ritka földfémek kivonását szolgáló monazitfeldolgozás melléktermékeként kapnak.

A nem szocialista országok gazdaságosan kitermelhető tóriumtartaléka kb. 500 000 tonna lehet. E készletek nagyobb része India tengerparti hordalékos eredetü homokjában, s Kanada Blind River-i és Bancroft-i uránkőzeteiben találhatók. A többi pedig Ausztrália, Brazilia, Madagaszkár, Dél-Afrika, Délkelet-Ázsia és az Egyesült Államok hordalékos lelőhelyein s teléreiben található.

Napjainkban nagyobb előrehaladást jelentett a kanadai Blind River-i és Bancroft-i uránrétegek felfedezése,mely növelte a tóriumkészleteket s elérhetőségüket. E rétegek összetétele: kb. 1 rész ThO_2 esik 2 rész U_3O_8-ra. Ezenkivül az ércfeldolgozás során minden sulyrész U-ra esően 0,85 sulyrész tórium oldódik ki az uránércből; ez a tóriummennyiség kinyerhető az oldatból,miután az uránt ioncserével kivonták.

Az uránfeldolgozás melléktermékeként kapott tórium talán a legolcsóbb valamennyi tóriumforrás között.

A kiterjedt geológiai kutatásokból és felfedezésekből leszürt tapasztalatok és adatok azt mutatják, hogy a mostani és jövő atomenergiaszükségleteinket kielégitő nukleáris fütőanyagkészletek megszerezhetősége miatt nem kell aggódnunk.

Forditotta: Illy József

HIREK

Rovatvezető: P.Barlai Katalin

KISÉRLETI ÉS KUTATÓ REAKTOROK

Anglia. Megkezdődtek az AGR /Advanced Gascooled Reactor; fejletteb tipusu gázhütéses reaktor/ épitkezési munkálatai. Több vállalat közremüködésével épitik fel Windscaleben az első ujabb tipusu gázhütéses reaktort és a most megkezdődött épitési munkák befejezését 1961-re irányozták elő. Ez a reaktorépitkezés kettős célt szolgál: először is ki akarják kisérletezni a következő atomerőmü-sorozatot, melyet ilyen tipusunak terveznek, másodszor meg akarják vizsgálni annak lehetőségét, hogy mennyiben alkalmas ez a berilliumtokokban kerámikus fütőanyagot égető reaktortipus hajók meghajtására. /Nuclear Power. 1958.dec./

Brazilia. A Minas Gerais egyetem /Belo, Horizonte/ a TRIGA tipusu reaktor vásárlására szerződést kötött a General Dynamics Corp. atomenergia részlegével. A reaktor földalatti tipusu lesz, állandó teljesitménye 30 kW; maximálisan megengedhető átmeneti teljesitménye 100 kW. /Nuclear Engineering, 1958.dec./

Japán. A Westinghouse Electric Corp. egy japán érdekeltséggel kötött megállapodást bizonyos atomtechnikai szabadalmak átadásáról. A lebonyolitás módjában már megállapodtak, de a kormány jóváhagyása még hátra van. /Nuclear Engineering, 1958.dec./

Olaszország. A CNRN /Comitato Nazionale per le Ricerche Nucleari = Az olasz Országos Atomkutatási Bizottság/ szerződést kötött a General Dynamics céggel egy TRIGA tipusu kutatási reaktor szállitására. A reaktor 30 kW közepes teljesitménnyel fog müködni, csucsteljesitménye azonban 100 kW. /Nuclear Engineering, 1958.nov./

Portugália. Megalakult az első atomipari magánvállalkozás Companhia Portuguesa de Industrias Nucleares néven. Több ipari és elektromos érdekeltség, valamint hajózási társaság fogott össze, hogy nukleáris tevékenységüket összehangolják és komplett atomerőműveket építsenek. /Nuclear Power, 1958. okt./

USA. Oktatási és kutatási célokat szolgáló reaktorokat kinál eladásra az Alco Products vállalat. A 2000 kW teljesitményü, viznyomásos tipusu, görgőkre szerelt szállitható nukleáris áramfejlesztőjének eladását szorgalmazza a fenti vállalat különböző közmüveknél, kiképzési és kutatási célra. Hivatkozik olcsó árára, gyors felszerelési lehetőségére és viszonylag kis méretére. Abban reménykednek, hogy legalább 10 ilyen reaktorra befutó rendelés esetén a költségek erősen mérséklődnének. /Atomic Energy Newsletter, 1958. nov.25./

USA. Egyszerü szerkezetü 1 kW-os kutatási reaktort konstruált az amerikai Vitro Engineering cég. A reaktor olcsóbb, mint más hasonló berendezés. 18C° alatti hőmérsékleten kritikus. Speciális tervezése következtében ugyanis ennél magasabb hőmérsékleteken, a reaktivitás negativ hőmérsékleti koefficiense miatt, szubkritikussá válik. /Nuclear Engineering, 1958.nov./

USA. Uj nagyméretü reaktort épit a General Electric Co. Handfordban. Az előzetes reaktortervezést és technikai munkákat már elvégezte. A nukleáris üzemet speciális hasadó anyagok gyártására tervezték, ugy hogy később esetleg elektromos energiatermelésre is átalakitható legyen. Az üzem becsült költsége 145 millió dollár. /Nuclear Engineering, 1958.nov./

USA. Az Egyesült Államok Atomenergia Bizottságának MTR /Material Testing Reactor, Idaho / anyagvizsgáló reaktoránál 1958 októberében plutoniumfütésre tértek át. A reaktor teljes töltése 23 aluminium-plutonium ötvözetből készült fütőlemez, aluminium tokozással. A reaktor szerkezetén csak lényegtelen változtatásokat kellett végezni, de a fütőelemek előállitásának néhány mozzanata gyökere-

sen eltért az eddigi módszerektől. A következőkben U-233 tartalmu fütőelemekkel terveznek kisérletsorozatot. /Nuclear Power, 1958.okt./

USA. Hanfordban is folynak kisérletek plutonium fütőelemekkel; teljesitményreaktorokhoz ugyanis csak az olcsón előállitható, megbizható fütőelem-tipusokat célszerü felhasználni. Több okból igen kedveltek az aluminium-plutonium-ötvözetek. Ezekkel kapcsolatban már sok gyártási és reprocesszálási tapasztalatot szereztek, ezenkivül igen hasonlók az aluminium-uránium-ötvözetekhez, melyekről már igen sok besugárzási adat ismeretes. 1960-ra elkészül egy plutoniumvisszatápláló vizsgálati reaktor /Plutonium Recycle Test Reactor/. A plutoniumtartalmu fütőelemeket részben Hanfordban, részben Savannah Riverben gyártják. /Nuclear Power, 1958.okt./

Szovjetunió. Kikorin akadémikus olyan reaktort tervezett, mely fütőelemenként és hőátadó közegként is uránhexafluoridot alkalmaz!

USA. Vizforraló reaktorok "tömeggyártását" tervezi a General Electric vállalat. Az 500 millió dolláros kutatási program célja az, hogy 1965-re versenyképessé tegye az atomenergiát az USA-ban. Legalább 50 szállitható, egyenként 5 MW teljesitményü reaktort szándékoznak sorozatban gyártani, 4 - 4,5 millió dolláros átlagáron. A szállitást közmüvek részére egy év mulva kezdenék meg, ugyanakkor belekezdenének három nagyméretü, kb. 450 MW teljesitményü atomerőmü épitésébe, melyek kb. 1970-re készülnének el. Ezek - a General Electric alelnöke szerint - kW-onként 175-225 dollárba kerülnének 1,7 - 2,2 mill/kWó-s fütőanyagköltség mellett. A tervet a kormány és a nagyipar elé terjesztik. Az alelnök kijelentette, hogy a közmü társaságok ügyvezetői magánbeszélgetések alkalmával "lelkesen" fogadták a tervet. A tervezett program értelmében 1962-re öt "fejlesztési kisérletül" szolgáló erőmü létesülne, melyek a gazdaságosság problémáját mind különböző szempontból igyekeznének megoldani. /a/ A Humboldt Bay Erőtelep részére a GE Atomenergia-részlege által épitendő 50 MW teljesitményü reaktor a rendszer egyszerüsitésével megvalósitható megtakaritásokat akarja kihasználni. /b/ Egy 25 MW-os nagy specifikus telje-

sitményü reaktor készül a külső méretek csökkentése által elérhető megtakarítás tanulmányozására. /c/ Egy másik 25 MW-os reaktor épitésével a beruházási költséget a reaktormag specifikus teljesitményének megkétszerezésével akarják csökkenteni. Egy 100 MW-os reaktorral kisérletileg vizsgálják a teljesitmény-sürüség felső határát közepes méretü reaktoroknál, és kipróbálják a nagy teljesitménysürüségü fütőelemeket. Egy 50 MW-os külön reaktort alkalmaznak tulhevitőként egy meglevő forróvizes atomerőmühöz kapcsolva, a tulhevitő reaktorok karakterisztikáinak vizforraló reaktorokkal kapcsolatban való vizsgálatára. A program következő lépéseként 1965 körül három nagyüzemi erőművet helyeznének üzembe, melyekben már megvalósitanák az előzőleg nyert tapasztalatokat. Egyikük 100 MW-os természetes cirkulációju erőmü, egy irányitott cirkulációju és egy 325 MW-os, tulhevitő berendezéssel ellátott erőmü. Ez már képes 8,5 mill/kWó áron villamosenergiát termelni. Végül 1970-re már három olyan "legfejlettebb" tipusu erőművet is üzembe lehet helyezni, melyeknél a termelési költség 6,5 mill/kWó. A vállalat véleménye szerint a vizforraló /BWR/ reaktortipus látszik a legesélyesebbnek a célkitüzés megvalósitására, és az USA-nak vezető szerepet biztosithat az atomenergia fejlesztésében. /Nuclear Power, 1958.dec./

TELJESITMÉNYREAKTOROK

Anglia. Chapelcross 1.sz. reaktora kritikussá vált. A Brit Atomenergiahatóság Chapelcrossban épülő atomerőművének négy reaktora közül az első november 9-én érte el a kritikus állapotot. Egyelőre kis teljesitménnyel üzemeltetik, és különböző próbáknak vetik alá, mielőtt a tervezett 45 MW elektromos teljesitményig felfuttatnák. Ugy számitják, hogy 1959 legelején már bekapcsolható az országos hálózatba. A további három reaktor 1959 folyamán negyedévenkénti ütemezésben készül el, és 1959 végére valamennyi üzemben lesz. A második brit atomerőmü beinditásának hire pontosan két évvel azután érkezett, hogy az első brit atomerőművet Calder Hallban üzembe helyezték. /Nuclear Power, 1958.dec./

Anglia. A gőzvezető rendszerbe bekerült vasdarabok okozták a Calder Hall-i B reaktor turbogenerátorának tulfutását és széthullását. Nem sikerült kideriteni, hogyan jutottak oda vasdarabok. Hatásukra két automatikus szelep egyszerre szünt meg működni. A széttört turbina számára gőzt szolgáltató reaktor kezelője le akarta állitani a reaktort, mivel a müszerállás alapján ez kivánatosnak látszott. Figyelmeztette erre a vezérlő termet, és a kapcsolót lenyomva leállitotta a reaktort. Ekkor hallotta a szétesö turbina zaját. A turbina erősen rezgett, lángok csaptak ki a generátorból, végül a turbina széttört. /Nuclear Power, 1958.okt./

EAK. Az egyiptomi Abuzaabal-ban épülő atomerőmü teljes felszerelését a Szovjetunió szállitja az Egyesült Arab Köztársaságnak. Az atomtelep 1959. februárjában kezd működni. Nyikoláj szovjet professzor egyéves tartózkodásra Kairóba utazott, hogy átadja reaktorokkal kapcsolatos tapasztalatait az egyiptomi tudósoknak /Neuer Weg, Bukarest/

Japán. A Japánban exportálandó angol gyártmányu atomerőmüvel kapcsolatban még nem történt döntés arra vonatkozólag, hogy a három ajánlattevő angol konzorcium - General Electric, English Electric és az AEI-John Thompson - közül melyik szállitja a 150 MW teljesitményü, gázhütésü, grafittal moderált atomerőmüvet. Nem valószinü, hogy a szerződés aláirására január vagy február előtt sor kerül. Mint hirlik, az ajánlattevők egyike, az English Electric csoport az épitkezések 50 %-át Japánra kivánja bizni; a másik 50 %-ra hosszulejáratu hitelt nyujt, a Bank of England kamatlábváltozásainak megfelelő kamatteher mellett. A földrengések ellen biztositó különleges megerősitést az összköltség 1-2 %-áért végezné el ugy, hogy ez az épitkezési határidőt csak néhány héttel tolná ki. /Nuclear Power, 1958.dec./

Svájc. A svájci Szövetségi Vasutak vezetősége elhatározta, hogy bekapcsolódik a Suisatom A.G. tevékenységébe. A részvénytársaság földalatti atomerőmüvet épit Zürich közelében, Bottstein-Mandach-Villigenben. /Nuclear Engineering, 1958.dec./

USA. Az Egyesült Államok jóváhagyta a Déli Sarkvidéken, a McMurdo tengerszorosnál egy atomerőmü épitését. A szükséges összeget még nem utalták ki, a teljes költség 4 - 5 millió dollár között lesz. /Nuclear Engineering, 1958.dec./

USA. Az Egyesült Államok és az Euratom között szerződés jött létre, melyet Brüsszelben irtak alá. A szerződés értelmében amerikai tervezésü, 6 vagy 8 amerikai tervezésü reaktort épitenek Franciaországban, a Német Szövetségi Köztársaságban, Belgiumban, Hollandiában és esetleg Luxemburgban is a következő öt év folyamán. A beruházási költség összesen közel 350 millió dollárt tesz ki s ennek kb. 3/5-ét magánkézben levő közmü-vállalatok fizetik. A többit az amerikai kormány hosszulejárati hitelként bocsátja rendelkezésre. Az Euratom az IAEA-val karöltve fogja ellenőrizni, hogy a fütő- és egyéb anyagokat csak békés célokra használhassák fel. /Nuclear Engineering, 1958.dec./

USA. Több mint 50 amerikai közmü gázhütésü reaktorral dolgozó közös atomerőmü épitését tervezi. Az USA Atomenergia Bizottságához a Philadelphia Electrical Co vezetésével több, mint ötven közmü-vállalatból alakult csoport javaslatot terjesztett be egy 30 eMW teljesitményü atomerőmü épitésére. A beruházási költségekből 24 millió dollárt az áramtermelő vállalatok, 15 milliót az AEC vállalna magára. A reaktort a General Dynamics Corp. tervezte. Üzemanyagként tóriumot és erősen dusitott urániumot használnának, mig moderátorul grafit, hütőanyagként pedig hélium szolgálna. Az erőmüvet a Philadelphia Villamostársaság hálózatába kapcsolnák be, és üzembehelyezését 1962 végére, vagy 1963 elejére tervezik. /Atomic Energy Newsletter, 1958.nov./

USA. Kb. 70 gramm U-233-at állitottak elő eddig szaporitás utján az Egyesült Államok Atomenergia Bizottságának kisérleti telepén, Idahoban, a tóriumoxiddal és dusitott fütőanyaggal müködő BORAX IV elnevezésü vizforraló reaktorban. Ez az első eset, hogy elektromos áramot előállitó atomerőmüvel U-233-at termeltek. A keletkezett U-233 energiája elég ahhoz, hogy a reaktor közelében levő 5000 lakosu várost egy hétre ellássa villanyárammal. /Nuclear Power, 1958.okt./

USA. December 2-án beinditották az Argonne-i Kisteljesitményü Reaktort, az ALPR-t. A reaktort pontosan egy év alatt épitették fel, és 2 500 000 dollárba került. Ez a 3 th MW teljesitményü, direkt-ciklusu vizforraló reaktor főleg azért érdekes, mert későbbi változatai ugy készülnek majd, hogy az előgyártott alkatrészeket könnyen lehet repülőgépen a legtávolabb fekvő vidékekre is elszállitani, hogy ott helyben összeszerelhetők legyenek. Egyetlen előgyártott alkotórésze sem nehezebb 10 tonnánál. Első feltöltése után 3 éven át folyamatosan müködtethető; 200 kW teljesitményü elektromos áramot és 400 kW teljesitményü hőt termel távfütési célra. Felállításához exkavátori munkára nincsen szükség, mert egy sor betonoszlopon nyugszik, betonalapzaton. A védőréteg és vizellátási problémát ugy oldották meg, hogy biológiai védőrétegként a reaktorépitményen belül kavicsot használnak, a turbina kipuffogásánál pedig léghütésü süritőt. A legérdekesebb müszaki ujitás aluminium széleskörü alkalmazása. Uj, az Argonne-laboratóriumban kifejlesztett 1 % nikkeltartalmu nikkel-aluminiumötvözetet /X-8001/ alkalmaznak /lásd Atomtechnikai Tájékoztató 1 kötet 3.szám/ nemcsak a fütőelemtokoknál, hanem majdnem az egész reaktormag gyártásánál. Ez az ALPR üzemi hőmérsékleten /220 C°/ várhatóan jó ellenállást mutat majd korrozióval szemben, és csökkenti majd az elektromos energia termelési költségét is, mivel előállitása és finomitása olcsóbb, mint a többi reaktorban használatos burkolóanyagé. A fütőanyag: 2 % nikkeltartalmu, erősen dusitott U-Al-ötvözet. /Nuclear Power, 1958.dec./

ATOMMEGHAJTÁSU HAJÓK ÉS REPÜLŐGÉPEK

Anglia. Sir John Cockroft angol atomtudós Londonban a Tengerészeti Mérnökök Egyesületében /Institute of Marine Engineers/ kijelentette, hogy véleménye szerint atomhajtásu hajók gyártása a kereskedelem számára 1970 körül válik csak gazdaságossá, bár nem lehet előre látni a technikai fejlődés ütemét. Az Egyesült Királyság Atomenergia Hatósága nagy sulyt helyezett a hajó meghajtásra szolgáló gázhütésü reaktorok fejlesztésére. Egy ilyen hajtómü ma még 50 vagy 100 %-kal drá-

gább, mint egy szokásos hajógép. Legtöbb sikerrel biztatnak a viznyomásos reaktorokhoz hasonló szerkezetü, szerves hütőanyagu /pl. difenil/ reaktorok. /Manchester Guardian/

Franciaország. Abbamaradt a tengeralattjáró-reaktor épitése. Hivatalos forrás szerint nem sikerült elérni a várt eredményeket. A hajótest épitését ugyan folytatják, de valószinütlen, hogy amerikai segitség nélkül igyekezzenek atomhajtásu tengeralattjárót épiteni. Perrin professzor washingtoni látogatása után, azonban mely a franciaországi kémelháritó szolgálat megbizhatóságának ellenőrzésére érkezett Franciaországba, remény van arra, hogy az Egyesült Államok müszaki terveket és fütőanyagot bocsásson rendelkezésre az atom-tengeralattjáró épitéséhez. Ha az ellenőrző bizottság kedvező jelentést tesz, az amerikai hivatalos szervek rávehetik a Kongresszust arra, hogy fenntartsa tavalyi ajánlatát az atom-tengeralattjárók müszaki dokumentációjának átengedésére. /Nuclear Power, 1958.dec./

Nyugat-Németország. Kisérleti reaktor állomást állitottak fel nemrég Hamburg közelében hajók atomhajtási lehetőségeinek kutatására. A berendezés egy reaktormagból és négy speciális célra készült medencéből áll, melyeket az amerikai Babcock és Wilcox vállalat tervezett és eddig a legnagyobb méretü ilyen tipusu berendezés. A kutatókészülék 30 m hosszu és 6 m széles. A medencék közül kettő 5 MW mellett müködtethető. A szokásos kétmedencés berendezés helyett négy ilyen medencét kapcsoltak sorba. A kisérleti berendezést az "Atoms for Peace" program keretében bocsátották Németország rendelkezésére. A reaktort a fenti vállalat által gyártott, 20 %-ra dusitott urániumot tartalmazó fütőelemekkel táplálják. Ez a maximális dusitás, melyet a program külföldre való szállitásra engedélyez. Az uránium-aluminium-ötvözetből álló fütőelemek - a suly 45 %-ában uránium - lemeztipusu kivitelben kerülnek szállitásra. Ez az első olyan reaktor Európában, amely kifejezetten a nukleáris hajómeghajtás kutatásának céljaira szolgál. /Nuclear Power, 1958. december./

Norvégia. Dr.Gunnar Randers a Kjellerben levő Holland-Norvég Atomkutató Intézet igazgatója bejelentette, hogy rövidesen hozzákezdenek egy atomenergia-

hajtású tartályhajó 100 000 font költséggel létesitő kisérleti berendezésének épitéséhez. /Nuclear Engineering, 1958.dec./

Szovjetunió. A "Lenin" atomhajtású jégtörő lesz a világ legnagyobb fajlagos teljesitményü hajója: vizkiszoritása 16 ezer tonna, elektromos teljesitménye 44 ezer HP. Hatalmas teljesitménye folytán 2 m vastag jégben is eléri majd a 3,8 km/óra sebességet. Nyugodt vizen 33 km/óra lesz a sebessége. Az energiát 3 nagynyomásu, természetes vizzel moderált reaktor szolgáltatja. Normális körülmények között 2 reaktor dolgozik, a harmadikra csak különleges viszonyok esetén van szükség.

Főbb müszaki adatai:

reaktormag: átmérő	kb. 1 m
" magasság	kb. 1,6 m
fütőanyag:	5 %-ra dusitott zsugor. UO_2
U-235 tartalom	85 kg
tokanyag	Zr-ötvözet
hőteljesitmény	90 MW
éghető reaktorméreg	természetes bór /a kezdeti többletreaktivitás ellen/
hőfluxus, max.	10^6 kgkal/m^2.óra
üzemi viznyomás	250 kg/cm^2
bemeneti vizhőmérsékl.	248 C^o
kimeneti "	325 C^o
viz cirkulációs sebessége	1000 m^3/óra
nukleáris berendezés teljes sulya	3000 tonna/sugárvédelemmel együtt/
sugárvédelmi falak sulya	2000 tonna
elektromos turbogenerátorrendszer sulya	2750 tonna
hőkicserélők gőzteljesitménye	360 tonna/óra
gőzparaméterek a hőkicserélők kimenetén	310 C^o, 30 atm.
a hajó teljes vizkiszoritása	160 000 tonna
a hajótest hossza	134 m
" szélessége	27 m
merülési mélység	9,2 m

Ha a hajó beszorulna a jégbe, forró vizet szivattyuznak eléje. Az erre szolgáló berendezés teljesitménye 4 millió liter óránként. Különleges acélburkolata 36-52 cm vastag. A hajótest 11 vizmentesen elzárható részre van osztva. Ha két rész meg is sérül és el is önti a viz, a hajó nem süllyed el. A "Lenin" jégtörőt már vizre bocsátották, most folyik reaktorainak töltése a leningrádi kikötőben. Első próbautjára 1959 elején indul. /Nuclear Power, 1958.nov./

USA. Az Egyesült Államok SEAWOLF elnevezésü atomhajtásu tengeralattjárója 54 napig maradt a viz alatt. Az előző 31 napos rekordot a SKATE nevü tengeralattjáró érte el. /Nuclear Engineering, 1958. nov./

USA. Portsmouthban /New Hampshire/ atomhajtásu tengeralattjáró épitéséhez kezdtek. Sulya 5 600 tonna lesz, épitése kb. három évet vesz igénybe s felszerelik Polaris, közepes hatótávolságu ballisztikus lövedékekkel. A költségeket 100 millió dollárra becsülik. /Nuclear Engineering, 1958. dec./

USA. Egy atomenergiával hajtott repülőgépmotor a General Electric Co. közlése szerint 10 órán át sikeresen müködött, de a kisérlet vége felé radioaktiv szennyeződést lehetett a környező levegőben kimutatni. A motor a General Electric J-47 tipusu lökhajtásos hajtómüve. /Nuclear Power, 1958.okt./

USA. Dr.J.Keirn, az USA Atomenergiabizottsága és az USA Légierők Repülőgép-Reaktor Osztályának vezetője egy Washingtonban tartott előadásán elmondta, hogy az atomhajtásu repülőgépek fejlesztésével foglalkozó számos kutatócsoport igen szép eredményeket ért el, s hamarosan próbarepülést hajtanak végre az első modellel. Keirn szerint a kisérleti repüléseket követi majd egy prototipus kifejlesztésére irányuló program. Keirn tábornok még további célhitelek folyósitását kéri a Kongresszustól; eddig 13 év alatt erre a célra kb. 700 millió dollárt költöttek. /Atomic Energy Newsletter, 1958.nov.25./

USA. Alaszkában, Cape Thompson közelében [illegible] és csatornák létesitésére kis energiájú termonukleáris robbantásokat alkalmaznak. Azért választották ezt a helyet, mert rendkivül szórványosan lakott. 25 km-es körzetben ugyanis minden emberi lakóhelyet ki kell üriteni a robbanások idejére. /Nuclear Engineering, 1958. december./

RADIOIZOTÓPOK, GYORSITÓK, SUGÁRVÉDELEM

EAK. Magfizikai kutatólaboratórium létesül Alexandiában. A laboratórium felszerelését a Szovjetunió szállitja. Az Egyiptomi Atomenergiabizottság egyik tagjának közlése szerint 1959 januárjára elkészülnek a szükséges épületek, egy éven belül pedig a kutatómunka is megindul a laboratóriumokban. /Neuer Weg, Bukarest/

USA. Kisérleti üzem épitését kezdték meg Idaho-ban, a National Reactor Testing Station-en, nagyaktivitásu, szennyvizek kalcinálására. Az üzemet a Fluor Corporation fogja felépiteni előreláthatóan 6 millió dollár költséggel. A kalcinálás célja a radioaktiv folyadék nagyfoku besürítése biztonságosabb és könnyebben tárolható állapotba. /Nuclear Engineering, 1958.dec./

USA. Müködik Oak Ridge-ben az Egyesült Államok Atomenergia Bizottságának kisérleti izotópfeldolgozó üzeme. Az izotópok szétválasztásán és tisztitásán kivül itt többezer curie erősségü cézium-137, prométhium-147, cérium-144, stroncium-90 és technécium-99 preparátumokat készitenek. Feldolgozzák a plutonium-visszanyerés során melléktermékként keletkezett oldatokat s a kiégett fütőelemekből a használható urániumot. Az épület két emeletes, 18 melegfülkéje van /hot cell/. Az épitkezés és berendezés 2 200 000 dollárba került. /Atomic Energy Newsletter 1958.szept.30./

Franciaország. A Saturne nevü uj szinkrotron, amellyel 2-3 BeV energiákra lehet protonokat felgyorsitani, s igy speciális magreakciók vizsgálatára

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

alkalmas, Párizs közelében, a Saclay-i atomkutató központban megkezdte működését. A szinkrotront 1953 óta épitik; kb. 16 millió dollárba került. /Nuclear Engineering, 1958.dec./

NSzK. A karlsruhei Müszaki Egyetem Van de Graaff generátort vásárolt. A gyorsitóberendezéssel élelmiszerbesugárzási kisérleteket fognak végezni. Európában első izben vásároltak Van de Graaff generátort ilyen célra. /Nuclear Power, 1958.okt./

USA. Kettős rendeltetésü 6 MeV-os lineáris gyorsitó került piacra a High Voltage Engineering Corp. /Burlington/ vállalat gyártmányaként, mind klinikai alkalmazásra, mind magfizikai kutatásra alkalmas kivitelben. Gyógykezeléseknél a 100 cm távolságban percenkénti 200 röntgen dózissebességü röntgensugárzás lehetővé teszi, hogy a bőrtől olyan távolságokban alkalmazzák, hogy az a bőrön ne okozzon sugársérüléseket, mig mélyrehatható dózisa lehetővé teszi a kezelési idő olymérvü lerövidités, hogy ezáltal a betegre nézve kellemetlen következmények a minimálisra csökkenjenek. Ha elektronok keltésére használják a gépet, max. 500 wattos teljesitménnyel, 2-7,5 MeV energiákon működik; sebészeti eszközök sterilizálására, biofizikai, biológiai és rákkutatásra használható. A röntgen-targetre 5 mm-nél kisebb átmérőjü elektronnyaláb jut, s ez lehetővé teszi a besugárzott terület éles elhatárolását. /Atomic Energy Newsletter, 1958.nov.25./

Jugoszlávia. Reaktorbaleset történt a Belgrád melletti Boris Kidrich-intézetben - jelenti a Reuter hirügynökség. A reaktor vezérlése felmondta a szolgálatot s az Atomkutató Intézet hat munkatársa sulyos sugárbántalmakat szenvedett. A kiküldött kormánybizottság a vizsgálatok során megállapitotta, hogy egyes, a megfelelő képzettséggel nem rendelkező szakemberek idézték elő a balesetet. /Neue Zürcher Zeitung nyomán 1958. okt.27./

Jugoszlávia. Párizsban a Curie-kórházba szállitották gyógykezelésre a jugoszláv reaktorbaleset hat áldozatát. Egy közülük időközben belehalt sérüléseibe, a többi kezelés alatt áll. A besugárzott betegeken sikeres csontvelő átültetést végeztek. Egészséges emberekből ültették át a vérképződéshez szükséges csontvelőt. Dr.Henri Jammet-nak,

a Curie-kórház izotóp-részlege vezető orvosának nyilatkozata szerint még nem lehet biztosat tudni a sugárbetegség végső kimenetéről. Mind a francia hatóságok, mind a párizsi jugoszláv követség a legnagyobb titoktartással kezeli a szerencsétlenül járt kutatók sorsát. Az öt kezelés alatt álló beteg radiodermatitis-ben szenved. /A New York Times és a London Times alapján 1958. nov.20-24./

USA. 608 000 dollárt javasolnak az 1959. költségvetési évre a Közegészségügyi Főhatóság sugárvédelmi részlege számára, mely 1958. julius 1-e óta működik. Az Egyesült Államokban és a fennhatósága alá tartozó területeken 43 állomást létesitettek a levegő radioaktivitásának mérésére, 45 állomást a viz ellenőrzésére és 9 állomást tejmináták vizsgálatára. Az ellenőrzést havonta egyszer végzik. /Atomic Energy Newsletter 1958.szept.30./

USA. Mesterséges holdba szerelt "atomórával" akarják kisérletileg igazolni a nagy sebességgel mozgó órák periódusának relativisztikus sebességfüggését. Lloyd Motznak, a Columbia egyetem csillagászat professzorának véleménye szerint ma már van lehetőség az ilyen eddig elvégezhetetlennek tartott kisérletekre. Egy 30 000 km/óra sebességü mesterséges holdba szerelt órának naponta egy huszezred másodpercet kell késnie egy földi órához képest. Ilyen kis időkülönbségek kimutatására csak atomi folyamatokon alapuló órák alkalmasak. /A New York Times alapján, 1958.dec.18./

NUKLEÁRIS ALAPANYAGOK

Argentina. 1958. május végéig az országban 15 uránlelőhelyet tártak fel. E lelőhelyek nagyrésze az Andok legmagasabb részein található, a 22. és 38. szélességi fok között, Argentina és Bolivia határvidékén. Délebbre két uj lelőhelyet fedeztek fel: Comadoro-Rivadaviánál /45°/, és ettől délre, Santa Cruz-tartományban, a Deceado folyó mellett. Gazdag urántelepek vannak a Mendos-tartománybeli Huelsben, ahol évenként 7000 t 0,35 % U_3O_8-at tartalmazó ércet bányásznak.

0,35 U_3O_8-tartalmu uránérc van La-Rioha tartományban is. E lelőhelyeken kitermelt érceket Mendos és Cordoba üzemeiben dolgozzák fel. Az uránoxidot Buenos Airesbe szállitják. 10 t uránt már kitermeltek.

Ausztrália. Menzies miniszterelnök 1958. október 27-én ünnepélyes keretek között megnyitotta az ausztráliai Mary Kathleen uránbányát. Ez Ausztrália egyetlen magánkézben levő uránbányája. 1954 nyarán 8 geológusból álló csoport kezdett uránérc után kutatni Queensland északi részén. Valószinünek látszott, hogy Cloncurry város közelében uránérctelepek vannak; a bányát mégis véletlenül fedezték fel. Egyik nap elromlott a geológusok teherautója, és meg kellett állniok, hogy kijavitsák. McConachy, az expedició egyik vezetője leszállt, és próbaképpen bekapcsolta Geiger-Müller számlálóját. Erős sugárzást mutatott. Néhány nap mulva bizonyossá vált, hogy valóban urántelepet fedeztek fel. Az uj bányát felfedezőjének feleségéről nevezték el. A bánya kiaknázására megalakult a Mary Kathleen Uranium Ltd. Főrészvényesek a felfedezők, két ausztráliai magáncég és az Angol Atomenergia Hatóság. A felszini fejtéssel dolgozó bánya, a szokásos berendezésü ércfeldolgozó üzem s a mintegy 1000 lakost befogadó város 26 hónap alatt épült fel. Az összes épitkezési költségek 12 millió angol fontot tettek ki. Szakértők becslése szerint az uránérckészlet mintegy 6,6 millió tonna, 0,143 % uránoxidtartalommal. A tervek szerint 14 év alatt 8400 tonna uránoxidot termelnek ki, ez a teljes készletnek kb. 90 %-a. Az Angol Atomenergia Hatóság szerződésileg 4500 tonna uránoxidot kötött le. Az első 100 tonnás szállitmány már elindult Anglia felé.

Ausztrália. Urántartalmu ásványt - rézuranitot találtak az ausztráliai Lake Boga környékén, Swanhill közelében, Észak-Victoriában. Előzetes vizsgálatok azt mutatják, hogy ez sokatigérő felfedezés. /Nuclear Engineering, 1958.dec./

Belgium keleti részén, Viza közelében uránbányák létesültek. Az ércpróba rendkivül magas torbenit - /rézuranit/ tartalmat mutatott ki.

Dánia Julianehob kerületében, Norsak közelében Grönland délnyugati partvidékén uránium- és tóriumlelőhelyeket találtak.

Egyiptom. Uránium kitermelésére és nehézvíz gyártására irányuló tervek. A kormány a Nemzetközi Atomenergiahivatal /IAEA/ két szakértőjének bevonásával tanulmányozza az Egyiptomban bőven előforduló foszfátokból az uránium gazdaságos kitermelésének lehetőségeit. Ezzel a kérdéssel a szakértők egyike, B.V.Nevszkij, a moszkvai Fémipari Kutatóintézet Radioaktiv és Ritkafém Osztályának vezetője foglalkozik. A másik szakértő, Dr.Victor Thayer az Egyesült Államokból, viszont azt tanulmányozza, hogy az Asszuánban épülő ammoniumnitrát műtrágyagyárban be lehetne-e vezetni, hogy melléktermékként elektrolitikus módszerrel nehézvizet termeljenek. /Nuclear Power, 1958.dec./

A Délafrikai Unió urániumoxidkoncentrátumot szállit a japán Atomic Fuel Corporation-nek. Az első szállitmány csupán 6,5 tonnát tesz ki. Dél-Afrika mindeddig csupán a British and American Combined Development Agency számára adott el urániumot; szerződésszerüen rögzitett mennyiségben évi 6200 tonnát. /Nuclear Engineering, 1958.dec./

Japán hivatalosan bejelentette igényét szaporitási anyagokra a Nemzetközi Atomenergia Ügynökségnek /International Atomic Energy Agency; IAEA/. Az IAEA a kérelmet a közgyülés elé terjesztette. E szerkezet egyéb főfeladata, hogy biztositsa a tagállamok hasadó- és szaporitó anyagokkal való ellátását. A szervezet céljaira különféle országok már jelentős mennyiségü hasadó anyagot ajánlottak fel, összesen 5140 kg U-235 tartalommal. /Atomic Energy Newsletter, 1958. nov.11./

Svájc. Uránium-lelőhelyeket találtak Svájcban Valais kantonban. Ugy gondolják, hogy két jelentős nagyságu réteg tartalmaz kitermelhető ércet. Munkálatok folynak, hogy meghatározzák, lehetséges-e a gazdaságos uránkinyerés. /Nuclear Engineering, 1958.nov./

Olaszország. 10 tonnányi nehézvizet szállitott az Egyesült Államok az olasz Ispra-1 reaktor számára. A fütőanyagot közvetlenül az Egyesült Államokból szerezték be az Euratom engedélyével; az Euratomnak még nincs meg a szükséges felszerelése fütőelemek gyártására. /Nuclear Engineering 1958.nov./

USA. Az Egyesült Államok Atomenergia Bizottsága /USAEC/ nehézvizet ad bérbe hazai vagy külföldi kutatási, gyógyászati vagy anyagvizsgáló célokat szolgáló reaktorok számára. A Bizottság véleménye szerint ez serkentőleg hat a nehézviz moderátoru reaktorok fejlesztésére és alkalmazására. /Nuclear Power, 1958.okt./

NEMZETKÖZI KAPCSOLATOK. KONFERENCIÁK

Anglia. Sir John Cockroft, az Angol Atomenergiabizottság tagja a Szovjet Tudományos Akadémia meghivására egy hetet töltött a Szovjetunióban. Arcimovics és Kurcsatov akadémikusok kalauzolásával megtekintette a moszkvai Atomenergiai Kutatóintézetben a termonukleáris kisérleti berendezéseket, többek között az OGRA-t is. /Daily Worker, 1958. december/

USA. Az első nukleáris fütőelemekkel foglalkozó nemzetközi konferenciát 1959. január 29-én nyitják meg a New York-i Columbia egyetemen. A konferencia két napig tart. Az üléseken a különféle tipusu fütőelemek tulajdonságainak elemzésével, gyártási technikájukkal, korroziós problémákkal, sugárzási és tokozási problémákkal foglalkoznak. Különféle gazdasági szempontok, pl. a lehetőleg alacsony gyártási költség, is megvitatásra kerülnek. /Atomic Energy Newsletter, 1958.nov.11./

USA. Az Egyesült Államok Atomenergia Bizottsága /AEC/ Wigner Jenőnek itélte az 1959.évi 50 000 dolláros Fermi-dijat magfizikai és elméleti fizikai munkásságáért, a reaktorfejlesztés és az atomenergia gyakorlati alkalmazása terén elért eredményeiért. A magyar származásu tudós évtizedek óta az Egyesült Államokban dolgozik; a Princeton egyetemen a matematikai fizika professzora. E dijat az AEC 1954-ben alapitotta, s elsőizben Enrico Fermi kapta meg. 1956-ban, Fermi halála után róla nevezték el. /New York Times, 1958.dec./

USA. 1959.január 29-én a szabályozható termonukleáris fuzió problémáit vitatják meg az Illinois állambeli Evanstonban, a Northwestern University ren-

dezésében tartandó gázdinamikai kollokvium keretében. Milton U. Clauser, a Ramo-Wooldridge Corp. fizikai kutatólaboratóriumának igazgatója általában vázolja a termonukleáris kutatások helyzetét, s a szabályozott fuzió megvalósitásának irányába tett ujabb lépésekről is beszámol. /Atomic Energy Newsletter, 1958.nov.11./

USA. A Spevack-per a nehézvizgyártással kapcsolatban. Ez a per az Egyesült Államok Atomenergia Bizottsága /AEC/ és J.Spevack vegyészmérnök között folyik. Arról folyik a vita, mely most a Legfelsőbb Bíróság elé kerül, hogy vajon jogában van-e az AEC-nek arra, hogy a Spevack által feltalált eljárást alkalmazó nehézvizgyártó üzemeiről információkat hozzon nyilvánosságra. Spevack 1942-ben feltalált egy kettős hőmérsékletü izotóp koncentrációs módszert. Négy évvel később tökéletesitette eljárását és 1949-ben bemutatta az AEC-nek. Szabadalmát bejelentette, de az AEC titkosnak nyilvánitotta s igy lehetetlenné vált, hogy Spevack a külföldi szabadalmaztatás ügyében lépéseket tegyen. 1957 februárjában az AEC visszavonta a "titkossági záradékot" és ugyanakkor bejelentette publikálási szándékát,Spevack ekkor bíróság elé vitte a dolgot. Az ügy most kerül a Legfelsőbb Bíróság elé. /Nuclear Power, 1958.dec./

MTA Könyvtára
Periodika 955/1957 sz.