

Vol. 16. No. 1. 1968

OLVASÓTERMI FELDANY

1800 11 11 1968

663

73

КФКИ

KÖZLEMÉNYEK

ОБЩЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ИНСТИТУТА ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

REPORTS OF THE CENTRAL RESEARCH INSTITUTE FOR PHYSICS

8

Szerkeszti: Ádám András
Главные редактор: А.Адам
Editor: A. Ádám

MTA KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓ INTÉZET KÖNYVTÁR- ÉS KIADÓI OSZTÁLYA
БИБЛИОТЕКА И ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ОТДЕЛ
ЦЕНТРАЛЬНОГО ИНСТИТУТА ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕНГЕРСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES
CENTRAL RESEARCH INSTITUTE FOR PHYSICS LIBRARY AND DOCUMENTATION DEPARTMENT
BUDAPEST, 114. POB 49.

Technikai szerkesztő: Nagy Imréné
Megjelent: 1968. febr. 5.

Példányszám: 320
Rotaszám: 3386

A kiadásért felelős: Jánossy Lajos

Megjelenik: kéthavonta
Előfizethető: a 173.144-52. MNB bevételi számlán
Előfizetési díj: egyes szám 5,-Ft, egy évre: 30,-Ft /6 szám/

7

43

KÖZPONTI FIZIKAI KUTATÓ INTÉZET KÖNYVTÁRA
leltárba véve 10.555 sz. alatt,
Budapest, 19 69 év május hó 22-én

Luce

1988

ÖSSZESITETT TARTALOMJEGYZÉK AZ 1968. ÉVBEN MEGJELENT SZÁMOKHOZ

	Oldal
András László: A fém-ditizon rendszer stabilitásai viszonyainak vizsgálata	237
Ádám András: Az időszórás csökkentése on-line rendszerű gyorsneutron repülési spektrométerben	231
Ádám András: Megjegyzések az /n,2n/ reakciók hatáskeresztmetszetének héjeffektusáról	331
Bagyinszki János: Digitális rendszerek logikai tervezéséről	289
Berecz György: A portartalom hatásának vizsgálata az átütési szilárdságra	137
Békés Mártonné: Személyi gyorsneutron dózismérés Kodak NTA filmmel	57
Bogáncs János: Lásd Elek Antal	
Czibók Tamás: A szögeloszlás-mérések áttekintése a 10 MeV alatti n-p szórásnál	401
Csada Imréné: A reaktor primér vizkörében található ¹³¹ I meghatározása	53
Csada Imréné: Híradástechnikában használt vegyszerek tisztaságának aktivációs analitikai vizsgálata	219
Csajka Mária: Kémiai elválasztások néhány újabb alkalmazási lehetősége az aktivációs analízisben	369
Csath Gábor: Lásd Csajka Mária	
Deme Sándor: Grafit prizma alkalmazott neutronfizikai mérésekhez	357

Elek Antal: Szubsztöchiometrikus és csoportos elválasztások fém-kelátok extrakciójával	351
Erdeyné-Schneer Anna: Lásd Csada Imréné	
Erdeyné-Schneer Anna: Lásd Csada Imréné	
Frankl László: A VVR-SzM reaktor üzemi zónáját kialakító zérókisérletek a ZR-3 kritikus rend- szeren	3
Frankl László: Zóna felemelésével képzett tangenciális csatorna vizsgálata	35
Gácsi Lajos: Lásd Frankl László	
Gellai Borbála: Egy mátrixelméleti hiperdiagonalizáló mód- szerről	117
Gellai Borbála: Lásd Jancsó Gábor	
Grüner György: Az UO_3-H_2O rendszer vizsgálata MMR mód- szerrel	105
Huszár Miklós: A spin-pálya kölcsönhatás figyelembevétele a hidrodinamikai modellben	73
Huszár Miklós: A Thomas-precesszió	173
Jancsó Gábor: Izotóp metilhalogenid molekulák redukált ál- lapotösszehányadosai	181
Jánossy Mihály: Leképezés a hullámfront rekonstrukció mód- szerével	65
Jávor András: Kiértékelési eljárás integrális nonlinearit- ásnak diszkrét mérési adatokból való meghatározására	251
Jéki László: ^{235}U 14 MeV-es neutronok hatására bekövetkező hasadásánál keletkezett gamma-sugarak szögeloszlása	213
Jéki László: Lásd Ádám András	
Jéki László: Lásd Ádám András	
Királyhidi László: Kompenzációs módszer hatásosságáról az elektrolittankos termérésnél	191
Kluge Gyula: Energia- és töltéseloszlás U-235 termikus és Cf-252 spontán hasadásakor	45
Kluge Gyula: Átlagos neutronenergiák U-235 termikus és Cf-252 spontán hasadása esetén	129
Kluge Gyula: Lásd Jéki László	

Kovács István: A hármas hasadás hasadási termékeinek szög-anizotrópiája U-235 és U-238 esetén	325
Krasznovszky Sándor: Analitikus energia-hatótávolság formula buborékkamrákban	99
Lajtai Albert: Lásd Jéki László	
Lajtai Albert: Lásd Kluge Gyula	
Lajtai Albert: Lásd Kluge Gyula	
Lebegyev N.A.: Lásd Molnár Ferenc	
Lebegyev N.A.: Lásd Molnár Ferenc	
Makra Zsigmond: Neutron és gamma dózisintenzitások a VVR-SzM reaktor biológiai védelme környezetében	381
Makra Zsigmond: Lásd Deme Sándor	
Marton Katalin: Bizonyos típusú többszörös integrálok kiszámítása Monte-Carlo módszerrel	167
Molnár Ferenc: Neutronhiányos ritkaföld izotópok előállítása 680 MeV-es protonokkal besugárzott gadolinium és neodimium célananyagból	197
Molnár Ferenc: Cérium csoportú ritkaföld mátrixok összes ritkaföld szennyezőinek koncentrációja	205
Molnár Ferenc: Lásd Csajka Mária	
Nagy László: Lásd Kovács István	
Nagy Tibor: Lásd Kovács István	
Nárayné-Ziegler Mária: Lásd Huszár Miklós	
Németh Géza: Bessel-függvények Csebisev-sorfejtése III.	147
Németh Géza: Az E_1/x függvény Csebisev-sorfejtése	161
Ördögh Mária: Lásd Csajka Mária	
Pálla Gabriella: Lásd Ádám András	
Praveczi Endre: A Green-függvényes módszer és a molekuláris tér módszer kapcsolata a ferromágnesség elméletében	399
Pokó Zoltán: Lásd Grünér György	
Rausch Henrik: Lásd Csada Imréné	
Rausch Henrik: Lásd Csajka Mária	

Surányi György: Fázistér integrálok számítása Monte-Carlo- módszerrel	407
Surányi György: Monte-Carlo-módszer alkalmazása elemi részecke kölcsönhatások vizsgálatá- nál	417
Szabó Elek: Lásd Csajka Mária	
Szabó Elek: Lásd Elek Antal	
Szabó Ferenc: Lásd Frankl László	
Szabó Ferenc: Lásd Frankl László	
Szaklajda László: Lásd Frankl László	
Telbisz Ferenc: Lásd Krasznovszky Sándor	
Tompá Kálmán: Lásd Grüner György	
Tóth Ferenc: Tranzisztoros műveleti erősítők	275
Tóth Ferenc: Lásd Grüner György	
Tóth Mihály: Lásd Makra Zsigmond	
Ungár Tamás: Számológép-program polikristályos anyagok röntgen-diffrakciós képének kiérté- kelésére	259
Vajda Ferenc: Digitális spektrumstabilizátor vizsgálata	337
Varga László: Lásd Marton Katalin	
Vass Szabolcs: Neutrongenerátorok fluxusingadozásának hatása az aktivációs analízis vizsgálatának pontosságára	225
Várkonyi Lajos: Lásd Frankl László	
Várkonyi Lajos: Lásd Frankl László	
Veres Zoltán: Lásd Deme Sándor	
Vinnay István: Lásd Kovács István	
Viszt Éva: Lásd Bagyinszki János	
Vorsatz Brunó: Lásd Vass Szabolcs	
Zsoldosné Ravasz Éva: kvarcfelületek keménykormozása	425

Vol.16. No.1. 1968.

T A R T A L O M

1. Frankl László, Gácsi Lajos, Szabó Ferenc, Szaklajda László és Várkonyi Lajos: A VVR-SzM reaktor üzemi zónáját kialakító zérókisérletek a ZR-3 kritikus rendszeren 3
2. Frankl László, Szabó Ferenc és Várkonyi Lajos: Zóna fel-emelésével képzett tangenciális csatorna vizsgálata 35
3. Kluge Gyula és Lajtai Albert: Energia- és töltéseloszlás U-235 termikus és Cf-252 spontán hasadáskor 45
4. Csada Imréné és Erdeyné-Schneer Anna: A reaktor primér vízkörében található ^{131}I meghatározása 53
5. Békés Mártonné: Személyi gyorsneutron dózismérés Kodak NTA filmmel 57
6. Jánossy Mihály: Leképezés a hullámfront rekonstrukció módszerével 65

Р Е З Ю М Е

1. Определение оптимальной конфигурации активной зоны реактора ВВР-СМ на критической сборке $ZR -3$

Л.Франкл, Л.Гачи, Ф.Сабо, Л.Саклайда и Л.Варкони

В рамках международного сотрудничества по реконструкции реакторов типа ВВР-С, была нами построена критическая сборка $ZR -3$. На этой сборке была определена оптимальная конфигурация активной зоны реактора ВВР-СМ и одна из возможных конфигураций второго цикла. В этой работе сообщаются результаты измерений, полученные на упомянутых двух конфигурациях активной зоны.

2. Исследование тангенциального канала, полученного поднятием активной зоны Л.Франкл, Ф.Сабо и Л.Варкони

Физические исследования, проведенные у горизонтальных каналов реактора ВВР-СМ требуют высоких тепловых нейтронных потоков при низких значениях быстрых потоков. Одним из путей улучшения отношения ϕ_T/ϕ_S является создания т.н. "тангенциальных" каналов. Вместо создания истинных тангенциальных каналов, требующих больших затрат, рассматривается вариант создания т.н. "тангенциальных" каналов с помощью поднятия активной зоны и с согласованием нижнего рефлектора с существующими горизонтальными каналами. Эта серия измерений была проведена на критической сборке $ZR -3$. В работе содержатся относительные величины ϕ_T , ϕ эпи ϕ_S , ϕ_X у радиального и у "тангенциальных" каналов разных высот.

3. Распределение энергии и заряда при делении $U-235$ тепловыми нейтронами и спонтанным делением $Cf-252$

Л.Клуге и А.Лайтаи

На основе массовой формулы работы [1] была рассчитана суммарная энергия, выделяющаяся при отдельных парах осколков в случае деления $U -235$ тепловыми нейтронами и спонтанного деления $Cf -252$. Распределение суммарных зарядов было установлено определением максимума выделяющейся энергии. Полученные нами результаты сравнивались с результатами, рассчитанными на основе других массовых формул и с другими известными из литературы экспериментальными и теоретическими величинами.

4. Определение ^{131}I , имеющегося в первичном контуре реактора типа ВВР-С
Г. Чада и А. Шнер-Эрдеи

В первичном контуре реактора типа ВВР-С было определено суммарное содержание иода и ^{131}I . Их величина составляла несколько $\rho\rho b$, или 10^{-4} мккюри/мл.

5. Измерение индивидуальных доз быстрых нейтронов с помощью ядерной эмульсии типа Кодак NTA

Э. Бекеш

В ЦИФИ ВАН с 1964 года регулярно проводятся измерения индивидуальных доз быстрых нейтронов. Примененная нами ядерная эмульсия типа Кодак NTA позволяет измерять дозы быстрых нейтронов в пределах 0,05 - 10 бэр при энергии нейтронов от 0,5 до 14 Мэв, если доза гамма-излучения не превышает 1 рентгена. Изучена зависимость чувствительности эмульсии от энергии и угла падающего излучения, а также изменение числа следов в зависимости от длительности хранения. Даются опыты регулярного дозиметрического контроля.

6. Изображение методом реконструкции фронта волны

М. Яноши

В статье занимается основным принципом голографии и техническими проблемами, имеющимися в процессе изображения. Описывается экспериментальная аппаратура, применяемая для создания голограмма.

S u m m a r i e s

1. Experiments on the ZR-3 Critical Assembly in Connection with the Development of the WWR-SM Core

L. Frankl, L.Gácsi, F.Szabó, L.Szaklajda and L.Várkonyi

The ZR-3 critical system had been built as a part of the international cooperation for the reconstruction of the WWR-S reactors. The optimum configuration of the WWR-SM reactor and a possible load for the second operational cycle were evaluated on this zero power critical assembly. This paper deals with the results of measurements carried out on these two core configurations.

2. Investigation of Tangential Channels Formed by Lifting the Reactor Core

L.Frankl, F.Szabó and L.Várkonyi

The physical experiments carried out at the horizontal channels of the WWR-SM Reactor require high thermal neutron flux with a low fast neutron background. For the improvement of thermal to fast flux ratios tangential channels can be constructed. Instead of the tangential channels whose construction is very costly, the lifting of the core and the problems of the coupling between the bottom reflector and the already existing horizontal channels had been investigated by a special series of measurements as part of the zero power experiments for the reconstruction of the WWR-S reactor. This paper contains the ratios between thermal, epithermal and fast neutron fluxes and gamma background measured at the radial channels and the so "tangential" channels with the latter positioned at several different heights relative to the core.

3. Energy and Charge Distribution on the Thermal Neutron Induced Fission of U-235 and on the Spontaneous Fission of Cf-252

Gy.Kluge, A.Lajtai

The total energy released per fragment pair was evaluated for the thermal-neutron fission of U-235 and the spontaneous fission of Cf-252 using the Myers-Swiatecki mass formula [1]. The total charge distribution was determined by localising the maximum energy release. The results are compared with those predicted from other mass formulae as well as with other reported experimental and theoretical values.

4. ^{131}I -Determination in the Primary Cooling Water Circuit of Nuclear Reactor WWR-S

Gabriella Csada and Anna Schneer Erdey

The total iodine and ^{131}I concentrations in the primary cooling water circuit of the WWR-S -type reactor were determined and found to be a few ppb and 10^{-4} $\mu\text{C/ml}$, respectively. The experimental technique is described.

5. Personal Fast Neutron Monitoring by Use of Kodak NTA Films

E. Békés

Investigations in connection with routine dose measurements for personal fast neutron monitoring are reported. The energy and angular dependence as well as the fading of the Kodak NTA track film applied in the measurement have been evaluated. The film permits to cover doses and energies from 0,05 to 10 rem and from 0,5 to 14 MeV, respectively, provided the gamma dose does not exceed 1 R. Experiences in fast neutron dose measurements, performed at the Institute routinely since 1964, are discussed.

6. Imaging by the Method of Reconstructed Wavefronts

M. Jánossy

The fundamental principle of holography and technical problems arising by the imaging process are discussed. The experimental arrangement used to make a hologram is described.

A VVR-Sz M REAKTOR ÜZEMI ZÓNÁJÁT KIALAKÍTÓ ZÉRÓKISÉRLETEK A ZR-3 KRITIKUS
RENDSZEREN ^{x/}

Irta: Frankl László, Gácsi Lajos, Szabó Ferenc, Szaklajda László
és Várkonyi Lajos

Összefoglalás

A VVR-Sz reaktorok rekonstrukciójával kapcsolatosan létrejött nemzetközi kooperáció keretében felépítettük a ZR-3 kritikus rendszert. E kisteljesítményű kritikus rendszeren alakítottuk ki a VVR-Sz M reaktor optimális zónakonfigurációját és a második üzemi ciklus egy alkalmas zónaelrendezését. E dolgozat e két zónakonfigurációra történt mérések eredményeit tárgyalja.

Az 1959-ben üzembe helyezett VVR-Sz reaktoron 1967 április-szeptember hónapokban korszerűsítési munkák folytak. A munkálatok során felújításra kerültek a reaktor segédberendezései, számos, az üzemeltetést és az alkalmazást segítő új berendezés is létesült. A reaktor aktív zónájában is jelentős változtatás történt. A régi típusú EK-10 jelű fűtőelemeket korszerű VVR-Sz M típusú fűtőelemek váltották fel, továbbá reflektorközegként könnyűvíz helyett ezután berillium szolgál. Ezek eredményeként növelhető volt a reaktor teljesítménye, illetve a függőleges izotópgyártó és a vízszintes kísérleti csatornában a termikus neutronfluxus. A szeptember hónapban megindított rekonstruált reaktor a korábbi izotópgyártási kapacitás négyszeresével bír: kétszeres mennyiségű anyag aktiválható kétszer nagyobb fluxusu csatornában. A hőteljesítmény 3200 kW, amely kb. 30 %-kal nagyobb a rekonstrukció előtti értéknél, az új reaktor tehát gazdaságosabb üzemű. Az új fűtőelemek lehetővé tesznek további teljesítménynövelést, azonban ezt meg kell előznie a hűtőrendszer jelentős beruházást igénylő rekonstrukciója.

A rekonstrukció során az optimális új zónaelrendezés meghatározása, valamint előzetes kimérése céljából az új fűtőelemekből és berilliumból felépítettük a ZR-3-nak nevezett kritikus zérórendszert. E közlemény vázlatosan

^{x/} A kísérleteket a VVR-Sz reaktorok teljesítménynövelésével kapcsolatban létrejött csehszlovák-lengyel-német-magyar kooperáció keretében végeztük.

ismerteti azokat a méréseket és következtetéseket, melyek az üzemi zóna kialakításához vezettek, és részletesen tárgyalja a zónát a paramétereivel együtt, valamint foglalkozik a második üzemi ciklus egy lehetséges zónájával.

I. Általános rész

/Aktív zóna, mérőláncok, mérési módszerek, kiindulási koncepciók./

A régi és az új fűtőelemeket, valamint az aktív zónát jellemző fontosabb paramétereket az I.sz. táblázatban foglaltuk össze.

I. táblázat

	VVR-Sz	VVR-SzM
1. Fűtőelem típusa	EK-10	VVR-SzM
2. A fűtőelem dusitása U-235-ben, %	10	36
3. A fűtőelem hossza L /mm/	500	600
4. A fűtőelem összetétele	UO ₂ -Mg	U-Al
5. A fűtőelem töltetvastagsága, /mm/	7	1,0
6. A fűtőelem Al burkolat falvastagsága /mm/	1,5	0,75
7. Az aktív zóna U-235 koncentrációja /g/lit/	52	61
8. Az egy U-235 magra eső H magok száma	371	235
9. Moderátor és hűtőközeg	H ₂ O	H ₂ O
10. Oldal reflektor	H ₂ O	Be
11. Felső és alsó reflektor	H ₂ O	H ₂ O
12. BV és szabályozó rudak száma	9	9
13. Kiegészítés /átlagos/ /%/	23	35 becsült érték
14. Kritikus töltet /kg/	3,1	kb. 1,65 ^x
15. Izotópgyártás céljára fenn-tartott függőleges besugárzó csatornák száma, db	18	33
16. Maximálisan elhelyezhető besugárzó tokok száma, db	66	165
17. A függőleges besugárzó csatornák max. fluxusértékeinek átlaga n/cm ² .sec.	2,25.10 ¹³	4,5.10 ¹³ /tervezett/

x/ 3 db száraz BV és 6 db vizes rud csatornával és a hiányzó 25 db Be kiszorítót Al kiszorítókkal helyettesítve.

Megjegyzés:

az utolsó öt adat részben mért, részben becsült adat.

Célszerű külön kiemelni a megváltozott paraméterek közül az alábbiakat:

- a hasadóanyag dúsitása 10 %-ról 36 %-ra nőtt,
- a reflektor anyaga viz helyett berillium,
- a H/U-235 arány, az egy U-235 magra eső H atomok száma 371-ről 235-re csökkent, tehát a zóna alámoderált,
- a fűtőelem hossza / L / 20 %-kal nagyobb, a zóna maximális átmérője változatlan, tehát a neutronkiszökést befolyásoló L/D geometriai tényező értéke romlott.

A fűtőelemek egyes és hármas kivitelben készültek. Az egyes fűtőelem három koncentrikus csőből áll, melyek közül a külső hatszög keresztmetszetű. Mindhárom rész tartalmazza az uránt a falában Al-mal borítva. A hatszög laptávolsága a fejnél 35, a törzsnél 32 mm, a hármas kötegek három egyes köteg összekapcsolásával készültek. A Be egy része az egyes fűtőelemmel megegyező méretben kiszorítóként, más része hengerpalástként került kivitelezésre és alkalmazásra a zónahatáron.

A fűtőelemek és a berillium kiszorítók Al rácsban ülnek a palástreflektorral körülvéve. A Be kiszorítók között a cellakeresztmetszet 17 %-ában viz foglal helyet hűtés céljára, a fűtőelemek szintén vízben helyezkednek el. A palástreflektor átlagos vastagsága 54, a magassága 680 mm, benne 16 db 35 mm átmérőjű, 1 db 66 mm átmérőjű függőleges tengelyű furat van az izotóppyártás csatornái számára tervezve.

A zónát a volt ZR-2 reaktor tartályában [1] helyeztük el, a vezérlést 9 db abszorbens ruddal végeztük. A kiszolgáló elektronikát [2] a ZR-4 reaktortól kölcsönöztük. Az abszorbens rudak közül 4 db-ot szervomotorral /2 db biztonságvédelmi, automata- és kézirud/, 5 db-ot kézzel, csőrlő segítségével volt lehetséges mozgatni. A rudak csövei keresztalakban helyezkedtek el a zónában. Két vezetőcső a mérések során technikai okok miatt állandóan, egy pedig időlegesen levegős volt. /A VVR-SzM reaktornál minden abszorbens vizes csőben / ϕ 34 mm/ fog elhelyezkedni./ A rudak anyaga, az automata rudét kivéve, bórkarbid, az automata rud acélból készült. Átmérőjük 24,8 mm, aktív hosszuk 690 mm, szerelési hosszuk 800 mm.

A mérődetektorok a paláston kívül a vízben helyezkedtek el. A mérések alacsonyabb szintű tartományaiban 2 db impulzusüzemű lánc működött, majd később a reaktorirányítást az egyenáramú láncok - 2 db lineáris /KNT - 53 ionizációs kamra/ és 2 db logaritmusos lánc /KNT - 53 és KNK - 56 /, valamint egy, az automatikának fenntartott lánc /KNK - 56 / - végezték el. Az elektronikai rendszer részletes leírását a [2] irodalom tartalmazza.

Várható volt, hogy egy évi üzemeltetéshez szükséges reaktivitással rendelkező aktív zóna sugara kicsi lesz, s ezzel egyrészt a fűtőelemek kiégési szintje alacsony lesz, másrészt a berillium palástreflektorban lévő besugárzó csatornák távol esnek az aktív zónától. E függőleges besugárzó csatornák fluxusának növelése céljából két lehetőség jött számításba:

1/ Az u.n. "lyukas" zónakonfiguráció

Növelhető a zóna sugara, ha a négy zónanegyedben fűtőelem kivételével vizlyukakat, neutroncsapdákat hozunk létre, melyeket az aktív zóna határán fűtőelemek behelyezésével kompenzálunk. Ezáltal közelebb kerül a zóna a besugárzó helyekhez, javulnak azok fluxusviszonyai. A létrejött neutroncsapdákat a zóna alámoderáltsága miatt, mint nagyfluxusu helyeket, felhasználhatjuk besugárzásra. A kiégés miatt szükséges fűtőelem utántöltés a vizlyukak helyére történhet, így a zóna sugara nem változik a kiégéssel, a vízszintes csatornák ϕ_{th}/ϕ_{gyors} viszonya közel változatlan marad.

2/ Az u.n. "tömör" zónakonfiguráció

Ez esetben a besugárzó csatornákat közelítjük a zónához: a zónahatáron Be kiszorítókat eltávolítva ott képezünk besugárzó helyeket, törekedve a fluxusuk optimalizációjára.

A mérési programunk alapját tehát két zónakonfiguráció képezte: "tömör" zóna és "lyukas" zónakonfiguráció. Ezekben belül méréseink jellegük szerint is két részre oszthatók: fluxusmérésekre és reaktivitásmérésekre. A fluxusmérések aktivációs módszerrel, 10 % Dy-ot tartalmazó 0,8 mm átmérőjű Al huzallal történik. A huzalok méréséhez felhasználtuk a [4] -ben leírt automatikus berendezést. Minden zónakonfiguráción egy közös sugár mentén /aá tengely/ mértünk radiális termikus fluxuseloszlást, mely a különböző zónák összehasonlítását segítette elő.

A reaktivitásmérések döntő részét a szabályozórud-értékesség és fűtőelem-értékesség mérése képezte. Az utóbbit különféle pozíciókban végeztük el azonos elemhez viszonyítva /pl. Be/ és azonos pozícióban más-más anyaghoz viszonyítva /Al, Be, víz, levegő/.

Az egyes zónakonfigurációk reaktivitásviszonyainak mérését az automata rud mérésével kezdtük. Módszerünk kétszerezési idő mérése volt, a rud bizonyos szakaszainak kihuzásához tartozó teljesítménykétszereződési időt mértük. Itt említjük meg, hogy a $\beta = f(T_{2x})$ átszámítást a Hughes-féle késő neutron adatokból a reciprok óra formula alapján végeztük. A mérések idején nem állt rendelkezésünkre a vizsgált rendszerünkhöz hasonló Be reflektoros rendszert leíró táblázat. Ezen körülmény miatt az általunk közölt reaktivitásértékek kb 10 %-kal alatta maradnak a helyes értékeknek. Az eltérés mértékét [6] alapján közöljük.

A többi szabályozó rudat az automata rud ismeretében "összehasonlító" módszerrel mértük.

A mérési eredményeket befolyásolta az interferencia jelensége. Ahol ez várhatóan jelentős hatással jelentkezett, ott a rud értékét különböző szomszédos rudállás mellett is megmértük, és néhány meglepően jelentős eltérést kaptunk [5].

II. Vizzel reflektált fizikai zóna / $N_f = 85$ /

E zóna megépítésével és kimérésével viszonyítási alapot kívántunk képezni a későbbi Be-os zónák értékeléséhez. /Igy, pl. a Be reflektor-fűtőelemértékessége megállapításához./

A kritikus töltet $M_{krit} = 3300$ gr U-235 /85 db egyes fűtőelemköteg/. A szabályozó rudak csatornái közül 6 db vizes, a 3 db BV rudé levegős volt. Sugár mentén termikus neutronfluxust mérve megkaptuk a radiális fluxuselozlást, amelyből számított egyenlőtlenességi tényező:

$$\frac{\phi_{th \max.}}{\phi_{th \min.}} = 2,43.$$

III. Berilliummal reflektált fizikai zóna / $N_f = 43$ /

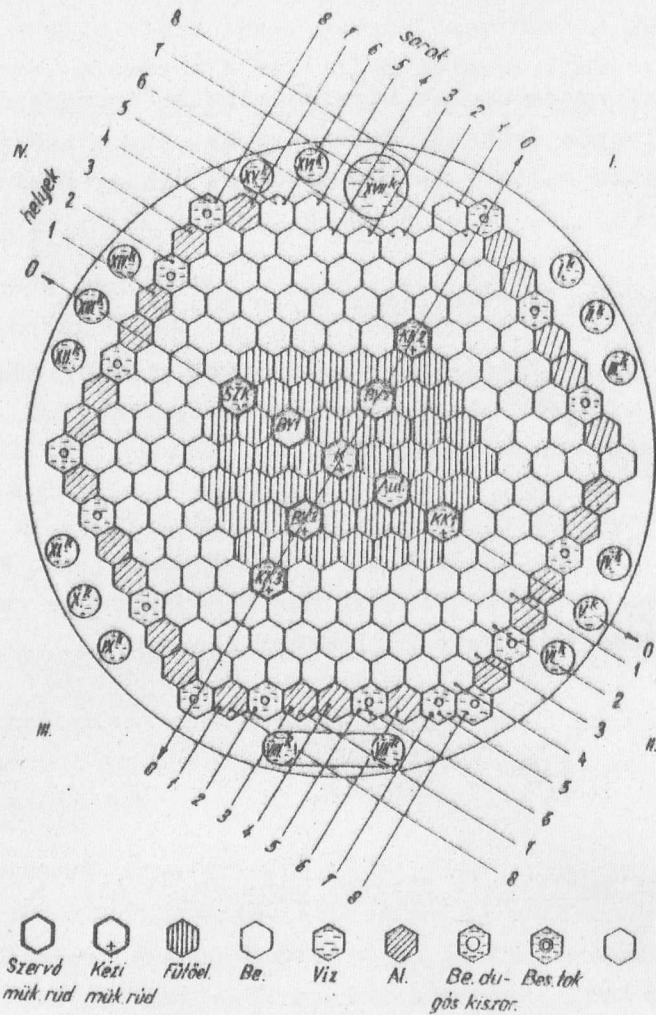
A kritikus töltet $M_{krit} = 1650$ gr U-235, fele a vizes zóna fizikai töltetének. /Meg kell jegyezni, hogy a zóna 205 cellányi helyéből fennmaradó 162 cellát nem tudtuk teljesen kitölteni a rendelkezésünkre álló 121 db Be kiszorítóval, ezért 16 cellába a kiszorítónál kisebb méretű Be dugókat, továbbá 25 cellába kiszorító méretű Al rudat helyeztünk az 1. ábrán megadott elrendezésben./

Figyelemre méltó, hogy bár a berilliumos zóna töltete csak fele a vizes zónának, mégis egyenletesebb a fluxuselozlása:

$$\frac{\phi_{th \max.}}{\phi_{th \min.}} = 2,1.$$

A fluxus maximuma a reflektorban a zónamaximumhoz képest itt nagyobb /24 %/, mint a vizes zónában volt.

Az automata rud értékessége 1,62 \$, azonban ezt az értéket 46 fűtőelemes zónában mértük, mert a kétszerezési idő mérési módszere megkívánt némi reaktivitástöbbletet.



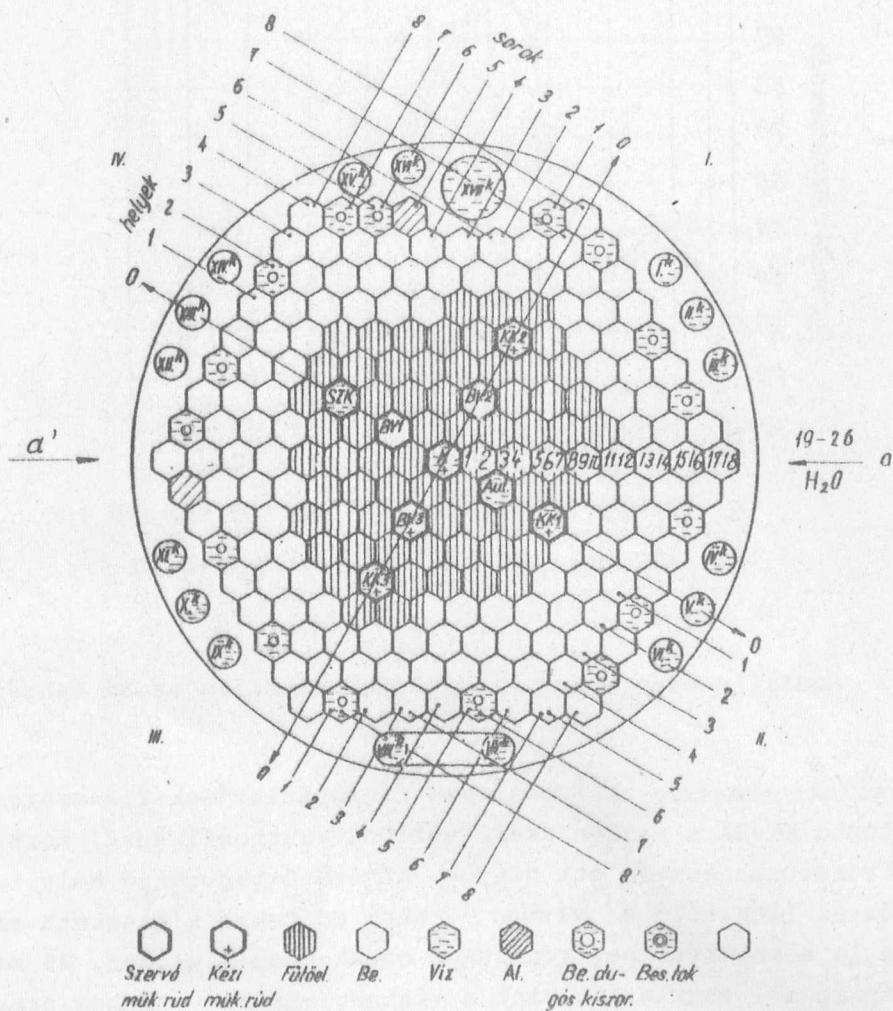
1. ábra

Berilliummal reflektált fizikai zónakonfiguráció

IV. Három szabályozóruddal lekötött reaktivitás-tartalékkal bíró zóna $N_f = 66$

A kialakítandó üzemi zónával szemben támasztott egyik követelmény volt, hogy a reaktivitástartaléka 10 és 15 \$ közé essen. Tovább építettük tehát a Be-os fizikai zónát, és korlátnak állítottuk fel, hogy a reaktivitástartalékot a K ; KK_2 ; KK_3 szabályozó rudak éppen lekötni képesek legyenek. Így jutottunk az $N_f = 66$ -os zónához /2. ábra/, amely zónát részletesen kimértük, az eredményeit pedig a további vizsgálatokhoz irányt mutatónak tekintettük.

A 66 fűtőelemes zóna reaktivitástartaléka a besüllyesztett rudak értékességének összege alapján 13,8 \$, 2 db száraz rudcsatornával. A VVR-SzM

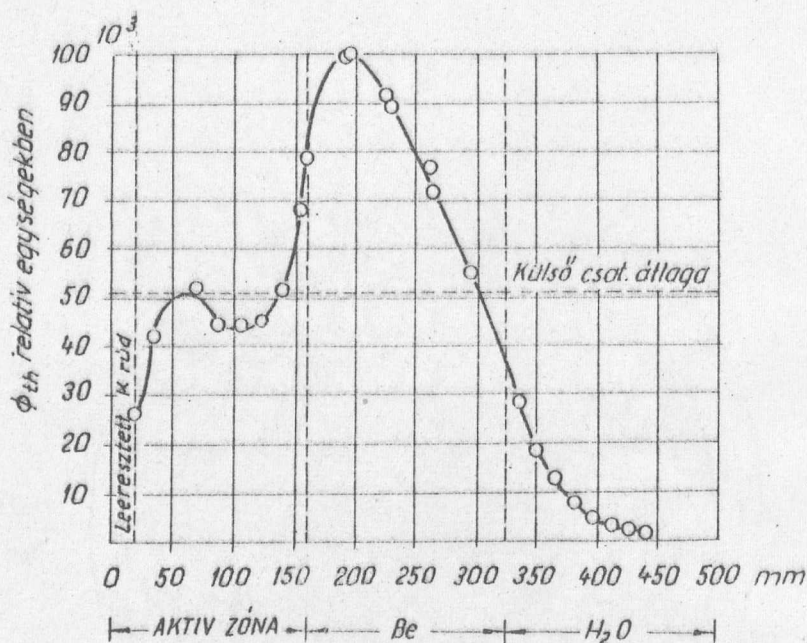


2. ábra

Reaktivitás-tartalékkal rendelkező berilliummal reflektált zónakonfiguráció. $N_f = 66$.

zónában minden rudcsatorna vizes lesz, s ez megemeli a zóna reaktivástartalékát. Ezért megmértük a BV_3 kézi csörlős rud értékességét, valamint a zóna reaktivástartalékának változását, amikor a BV_3 -rud vizes rudcsatornában helyezkedik el. Ekkor értékessége 0,25 \$-ral nagyobb /5,2 \$/. A BV rudcsatorna vízessé tétele pedig 1 \$-ral növeli a zóna reaktivástartalékát. /Vagyis megvalósítás esetén a zónakonfiguráció közel 17 \$ reaktivástartalékkal rendelkezne./

Megmértük a radiális termikus neutronfluxus eloszlást az aá-tengely mentén az aktív zónában, a berillium reflektorban, a Be palást után a vízben /2. ábra 1-26 mérési pont, 3. ábra/.



3. ábra

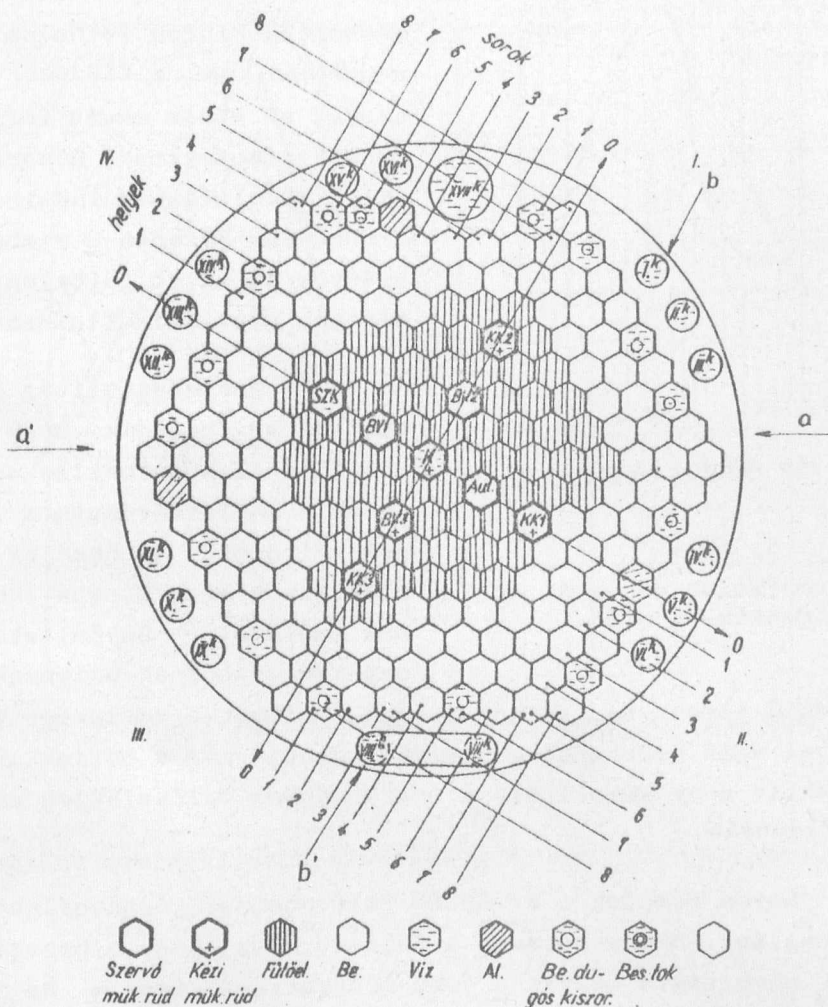
Radiális termikus neutronfluxus eloszlás az aá tengely mentén. $N_f = 66$.

A reflektormaximum a fűtőelemek fluxusátlagának 2,2-szerese. A Be palástreflektoron kívül a vízben azért mértünk neutronfluxust, mert megfelelő termikus neutronfluxus esetén ott nagyobb átmérőjű besugárzó hely is létesíthető. A 3. ábrán látható, a vízben mért pontokra illesztett exponenciális jól írja le a termikus neutronfluxus csökkenést a vízben, 25 mm-es felező rétegvastagsággal, vagyis itt kint a vízben, már nagy fluxus gradienssel kell számolni.

A 16 db külső besugárzó csatorna átlagfluxusa relatív egységekben kifejezve 50600. A 3. ábrán szaggatott vonallal jeleztük a 16 db besugárzó csatornára átlagolt fluxusértékeket. Ez kb. 10 %-kal magasabb az aktív zóna radiális átlagfluxusánál.

Az I^k - III^k és XII^k - XIV^k csatornáknál a termikus neutronfluxus kb. 10 %-kal magasabb, mint a többi besugárzó csatornáknál /csak azonos méretű csatornákat véve figyelembe/. Ezeket a csatornákat nem 4, hanem csak három Be kiszorító réteg választja el az aktív zónától. Itt nyert először igazolást a "tömör" zóna gondolata. A kiegészítéssel párhuzamosan, követve a zóna sugarának növekedését, a csatornák egyre közelebb kerülnek a perifériához. E vizsgálatok elvégzéséhez egy új referenciatengelyt /bb' hur/választottunk ki egy, az előzőtől kismértékben eltérő zónában.

A 4. ábrán feltüntetett zónakonfiguráció abban különbözik a 2. ábrán jelzett ugyancsak 66 fűtőelemes zónától, hogy két fűtőelem áthelyezésével az

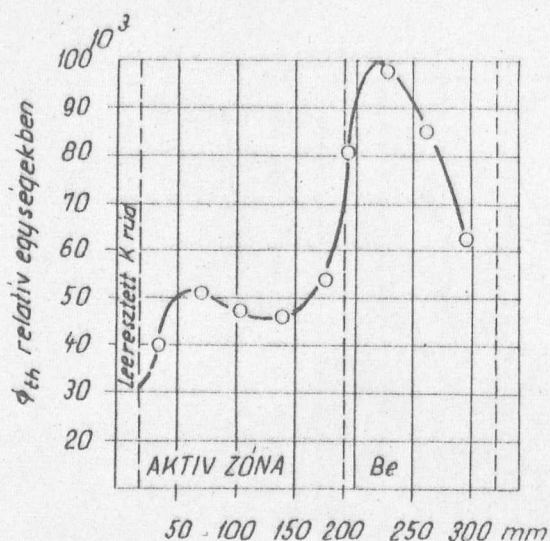


4. ábra
Módosított zónakonfiguráció. $N_f = 66$.

aa' tengelyen is megnőtt a zóna sugara, a bb' húr pedig az I^k csatorna a zónától 3 réteg Be távolságra, a $VIII^k$ csatorna pedig 4 rétegre helyezkedik el. Az 5. ábrán tüntettük fel az e zónában az aa' tengelyen mért termikus fluxuselozslást.

Közbevetőleg megemlítjük az alábbiakat

A berilliumos zónák fluxusértékeit azonos teljesítményre először egy pont alapján, majd az aa' sugármenti fluxuselozslásokból kivántuk normalni. Azonban az $N_f = 43$ és $N_f = 66$ -os zónában /1. és 2. ábrák/ e sugár mentén egyaránt 4-4 fűtőelem volt, így a sugármenti fluxuselozslás nem tükrözi a zónatöltet közel 50 %-os növekedését. Akör szimmetria hiánya miatt a 66 fűtőelemes zónáktól kezdve áttértünk a teljesítménynormalás következő módjára: minden egyes új aktiv zónában új zónaelrendezés, új fűtőelemes szám esetében



5. ábra

Termikus neutronfluxus eloszlás az aa' kiszorítón mért fluxus /ami zónasugár- tengely mentén. $N_f = 66$.

emelkedett, tehát ilyen Be rétegvastagság mellett a reflektor vastagságának egy kiszorítóval való csökkentése nem változtatja meg a reflektormaximum értékét, de az aktív zóna közelítése a csatornákhöz valószínűleg emeli azok termikus neutronfluxusát.

A bb' huron nemcsak a 4. ábrán feltüntetett zónakonfiguráción mérünk fluxuselozslást, hanem keresve a választ arra, hogy a besugárzó csatornáknak fluxusának növelésére melyik a jobb módszer: a zónának a Be palástban lévő csatornákhöz közelítése vagy a csatorna közelítése az aktív zónához, további három variációját építettük fel a 66 fűtőelemnek, és mértük a hurmenti elozslást. Először a bb' tengelyen az I^k csatorna előtt lévő egy réteg Be kiszorítót Al kiszorítóra cseréltük, a VIII^k csatornát pedig megszüntetve a II /3,6/^x pozícióban létesítettünk csatornát. A következő lépés annak az elrendezésnek kimérése volt, amelynél a besugárzó csatornát további egy célányival közelítettük az aktív zónához, és a palástban lévő csatornába Be dugókat tettünk. Végül a besugárzó csatornát egészen az aktív zóna határáig közelítettük.

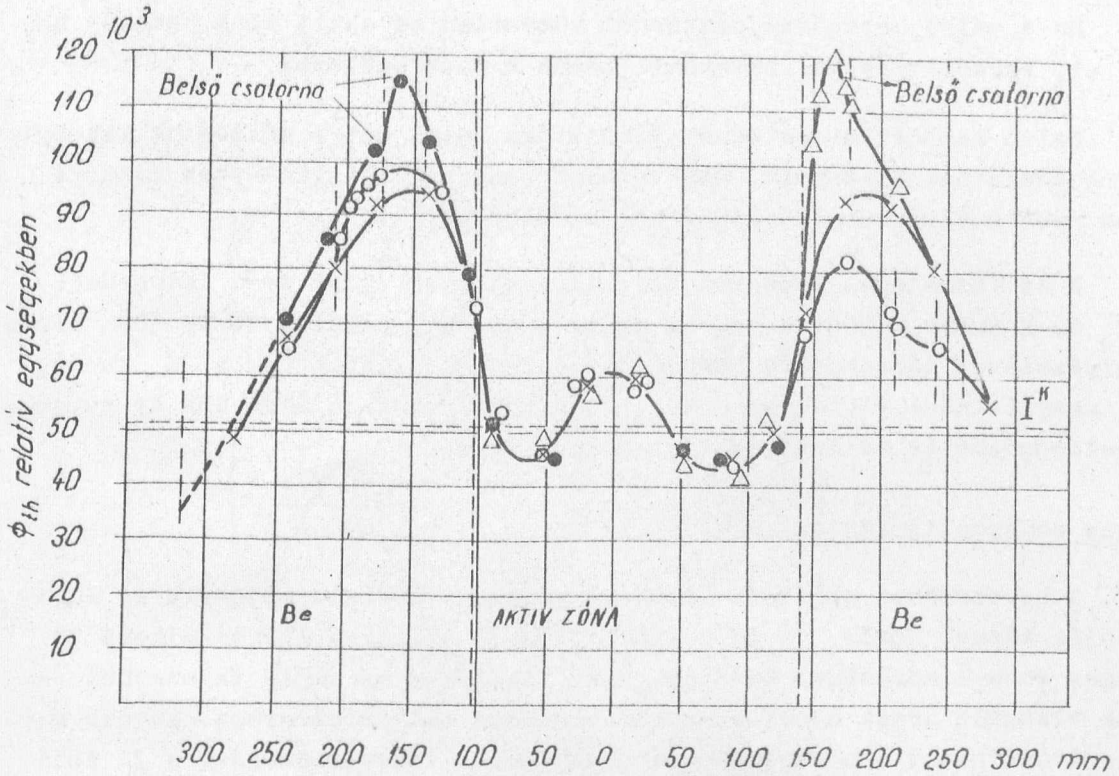
A bb' hurmenti fluxuselozslásokat a 6. ábrán tüntettük fel.

Az első elrendezés /4. ábra/ fluxuselozslási görbéje alapként szolgál a további elrendezések összehasonlításaihoz. Az Al kiszorítóval rendelkező zónát leíró fluxuselozslás igazolja az Al jó csatoló közeg voltát, de a Be réteg csökkenése miatt a reflektormaximum is erősen lecsökkent, és

^x II. /3,6/ jelentése: II. ténegyed 3.sor 6. hely.

megmértük minden fűtőelem tengelyén a középsíkban a fluxusértékeket, és azokat az egész mérés folyamán $\sum \phi_i$ const-ra normáltuk. E normálásnál abból a közelítésből indultunk ki, hogy a fűtőelem közepén a vízben mért fluxus arányos az adott fűtőelem azonos magasságában mért átlagfluxusával.

Összehasonlítva a 3. és 5. ábrákat, szembeötlő, hogy az utóbbin a radiális fluxuselozslás egyenletesebb lett. A reflektormaximum fluxusértéke nem változott, azonban az utolsó Be ábrán mért fluxus /ami zónasugárban megfelel a Be palástban lévő besugárzó csatornák helyének / 15 %-kal



6. ábra

Termikus neutronfluxus-eloszlások a bb' tengely mentén. $N_f=66$.

- x jelű görbe: a 4. ábra zónakonfigurációján mért eloszlás /viszonyítási alap/
- o jelű görbe: első variáció /Al csatolás + csatorna beléptetés/
- jelű görbe: második variáció /a csatorna továbbléptetése/
- Δ jelű görbe: harmadik variáció /csatorna a zónahatáron/

és az I^k csatorna fluxusa nem változott. A besugárzó csatorna közelítése azonban jó gondolatnak bizonyult, mert az új helyen -II /3,6/ pozíció - a VIII^k-ban mért érték kétszeresét mértük. A víz ilyen távol az aktív zónától már nem hoz létre neutroncsapdát. /Már túl vagyunk a Be által létrehozott reflektormaximumon, vagyis a neutronok nagy része már termalizálódott/. A csatornát tovább közelítve a zónához, abban neutroncsapda jön létre. A fluxusnövekedés a külső besugárzó csatornák átlagához képest 2,25-szörös, az aktív zóna radiális átlag neutronfluxusának pedig 2,5-szöröse. A Be palástreflektoron túl megmértük a fluxust a bb' hur mentén vízben és alumíniumban. Mindkét esetben az eloszlásra exponenciálist kaptunk, vízben 25 mm, Al esetén 62,5 mm felezőréteg vastagsággal. Nagyobb átmérőjű /100 mm-es/ besugárzó csatorna létesítése célszerűbb alumíniumban, ahol a termikus neutronfluxus a külső besugárzó csatornák maximális fluxusátlagának 1/5 része lenne, és a fluxusgradiense is egyenletesebb.

Ha a belső besugárzó csatornát közvetlen az aktív zóna határán helyezzük el, további 7 %-kal növekszik benne a neutronfluxus.

Belső besugárzó csatornák létesítése, mint ezt a méréseink bizonyítják, jó gondolatnak bizonyult, mert azonos reaktorteljesítményhez tartozó termikus neutronfluxusok 220-240 %-kal növelhetők.

A 66 fűtőelemes zóna reaktivitástartalékát /13,8 \$/ a leengedett KK_2 , KK_3 és K rudak kötötték le. Az aktív zóna Be határán 18 db Be kiszorító kivételével létrehozott besugárzó csatornák kiváltották a K rudat, 5,54 \$ reaktivitást vittek el /az $N_f = 66$ tömör zónában mért SZK és automata rudak jelleggörbéjét és értékességét alapul véve/.

V. Lyukas zónakonfigurációk

A bevezetőben említett "lyukas" zónakonfiguráció méréseit az e zóna alapját képező tömör, 18 db belső besugárzó csatornával rendelkező 78 fűtőelemes zóna kimérésével kezdtük. Mint ismeretes az előző fejezetből, az általunk vizsgált zónák közül ez adta az azonos teljesítményhez tartozó maximális neutronfluxust a besugárzó csatornáknak. A zónaelrendezést a 7. ábra mutatja.

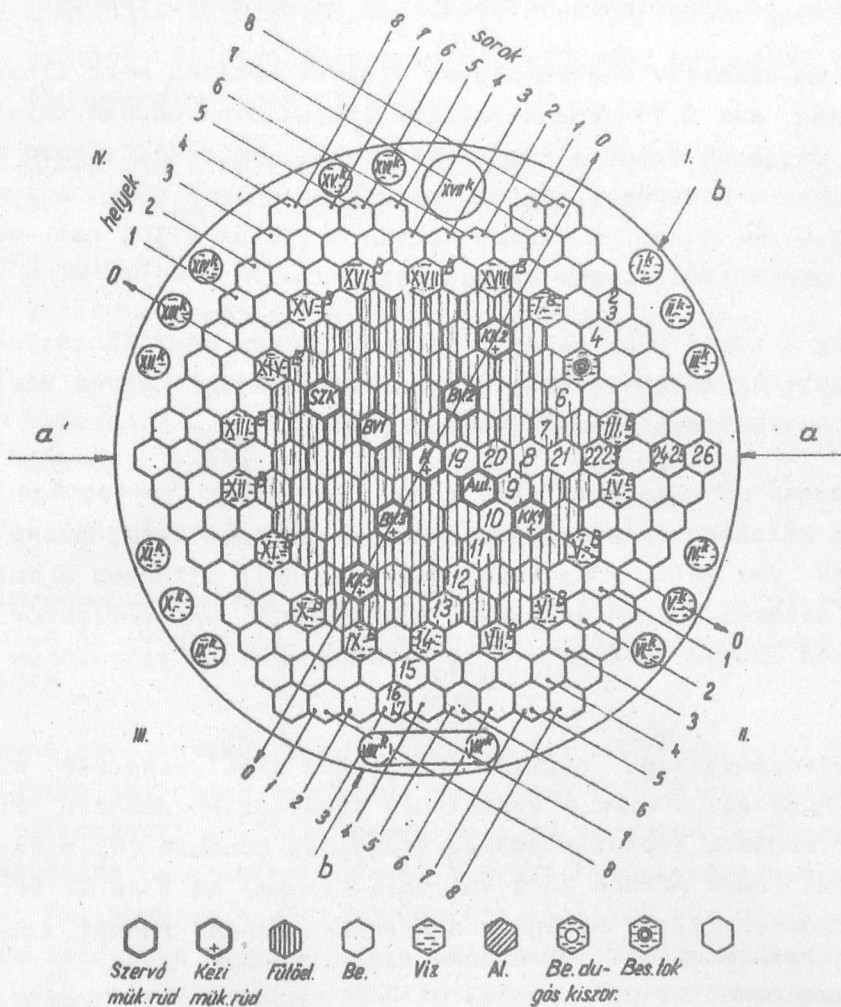
A fluxust a bb' hur pontjaiban mértük vízben és besugárzó tokban, /2.-17. mérési pont/, ez utóbbiban azért, mert a neutroncsapda fluxusát tokba zárt céltárgy aktiválása során kívánjuk realizálni. A csatorna átmérője 35 mm, a toké 30 mm, vagyis a keresztmetszet 67 %-ából a tok kiszorítja a vizet. Általában a belső csatornáknak a tokban a fluxus 25 %-kal kisebb, mint a vízben: a 18 db csatornára átlagolt termikus fluxus

vízben mérve:	99.000	relativ	egység
tokban mérve:	74.000	"	"

E két érték iránytmutató a lyukas zóna méréseihez, mert csak olyan belső vizlyukak létesítése célszerű, melyek fluxusviszonyai jobbak a fenti értékeknél. /A radiális fluxuselozlás e zónánál az aa tengely mentén mérve - 19.-26. mérési pont - arra utal, hogy a külső csatornák fluxusa nem változott az $N_f = 66$ -os zónához viszonyítva./

A lyukas zónakonfigurációkra rátérve, a vizlyukakat az aktív zóna-negyed közepe táján 1, 3, 4 fűtőelem kiemelésével képeztük, ugyanis csak az ilyen méretű "lyukak" jöhetnek technikailag kihasználhatóként számításba.

Az $N_f = 78$ -as zónában a II /3,3/ helyen létesítettünk egyes vizlyukat. A vízben mért fluxus megegyezik a berillium maximumértékével, a lokális



7. ábra

Zónakonfiguráció a termikus neutronfluxus eloszlás méréséhez a bb' tengely mentén. $N_f = 78$.

neutronfluxusnál pedig 2,1-szer nagyobb.

A hármas vízlyuk képzése előtt a zónát a fűtőelemszám megközelítően konstansnak tartása céljából 4 fűtőelemmel növeltük. Ezeket a hatszög négy sarkában helyeztük el. A II. ténnyedbeli 3-as vízlyuk mellett kiképeztünk a II ténnyedben egy egyes vízlyukat is. Az előbbiben a lokális fluxusnövekedés vízben 3,04-szeres, a beléhelyezett 20 mm átmérőjű száraz tokban 1,28-szoros. Az egyes vízlyukban 30 mm átmérőjű tokban a lokális növekedés 1,28-szoros, szemben a vízben mért 2,1-szeres értékkel. Az előbbi érték 5 %-kal, az utóbbi 37 %-kal kisebb, mint a belső besugárzó csatornák tokban mért átlagfluxusa, tehát ilyen kisméretű neutroncsapda alkalmazása nem célszerű.

Ezután két db négyes vízlyukat alakítottunk ki az I és II ténnyedben $/N_f = 82 - 2 \times 4 = 74/$, ahol a bb' tengely mentén megmértük a fluxusel-

oszlást vizlyukban és csatornába helyezett 25 mm átmérőjű tokban.

A 3,68 cm effektív sugaru négyes vizlyuk közepén mért fluxus 151500 rel. egység, ami 3,73-szoros lokális fluxusnövekedésnek felel meg. Ez már 53 %-kal magasabb érték a tömör zóna belső csatornái vízben mért átlagfluxusánál. Ebbe a vizlyukba kétféle méretű besugárzó tokot helyeztünk el: $r = 2,5$ és $2,0$ cm. A 2,5 cm sugaru tokban a fluxus 67100 rel. egység, míg a 2,0 cm-es tokban 80130 rel. egység volt.

Ha tehát a tömör zóna belső csatornái tokban mért fluxusánál magasabb fluxusu helyet kívánunk kialakítani, ehhez legalább négyes vizlyukat kell létrehozni, maximálisan 2 cm-es toksugárral.

A zónasugár növelésekor /azaz a Be reflektor vastagsága egyidejű csökkenésekor/ a külső besugárzó csatornák termikus neutronfluxusai fokozatosan növekszenek /az aktív zóna közeledik feléjük/, ellenben a belső besugárzó csatornák értékei rohamosan esnek. Ezenkívül a Be reflektor további vékonyodása esetén erősen csökken a $\frac{\phi_{th}}{\phi_{gyors}}$ viszony is a vízszintes csatornánál.

Reaktivitásméréseink szerint a "lyukak" elhelyezkedése, száma, mérete jelentős hatással volt a szabályozó rudak értékességére. Pl. az $N_f = 82$ -es tömör zónához képest a 4×3 -as vizlyukas zónában $N_f = 92 - 4 \times 3 = 80$ a biztonságvédelmi rudak értéke 20 %-kal volt kisebb. Az I és II térnegyedben létesített négyes vizlyuk hatására a korábban minden rudnál értékesebb központi /K/ rud értéke az SzK rud értéke alá csökkent.

A fluxusmérések alapján megállapítható, hogy ahhoz, hogy a belső besugárzó csatornák fluxusánál magasabb fluxusu vizlyukat alakítsunk ki, legalább négy fűtőelemcella méretű vizlyukat kell képezni, /20 mm-nél nagyobb sugaru besugárzó tok esetén/. Ha az $N_f = 82$ -es zóna reaktivitástartalékát konstansnak akarjuk tartani, úgy 1 db négyes vizlyuk esetén az aktív zóna perifériáján kb 7 db, négy négyes vizlyuk esetén pedig kb 20-25 db fűtőelemet kell a zónába bevinni, vagyis kb $N_f = \frac{112}{117} - 4 \times 4 = \frac{96}{101}$ -es zónát kell kialakítani. Ilyen nagy külső sugaru zónák esetében a belső besugárzó csatornák fluxusértékei már egyeznek a külső csatornákéval, miközben a külső csatornák fluxusa is csökken azonos reaktorteljesítmény mellett.

VI. "Induló" üzemi zónakonfiguráció vizsgálata. $N_f = 82$.

a/ A zóna kialakítása

Az eddig elvégzett mérések eredményeinek birtokában javaslatot kellett tennünk az "induló" üzemi reaktivitástartalékkal rendelkező zónakonfigurációra. Ehhez a következő szempontokat vettük figyelembe:

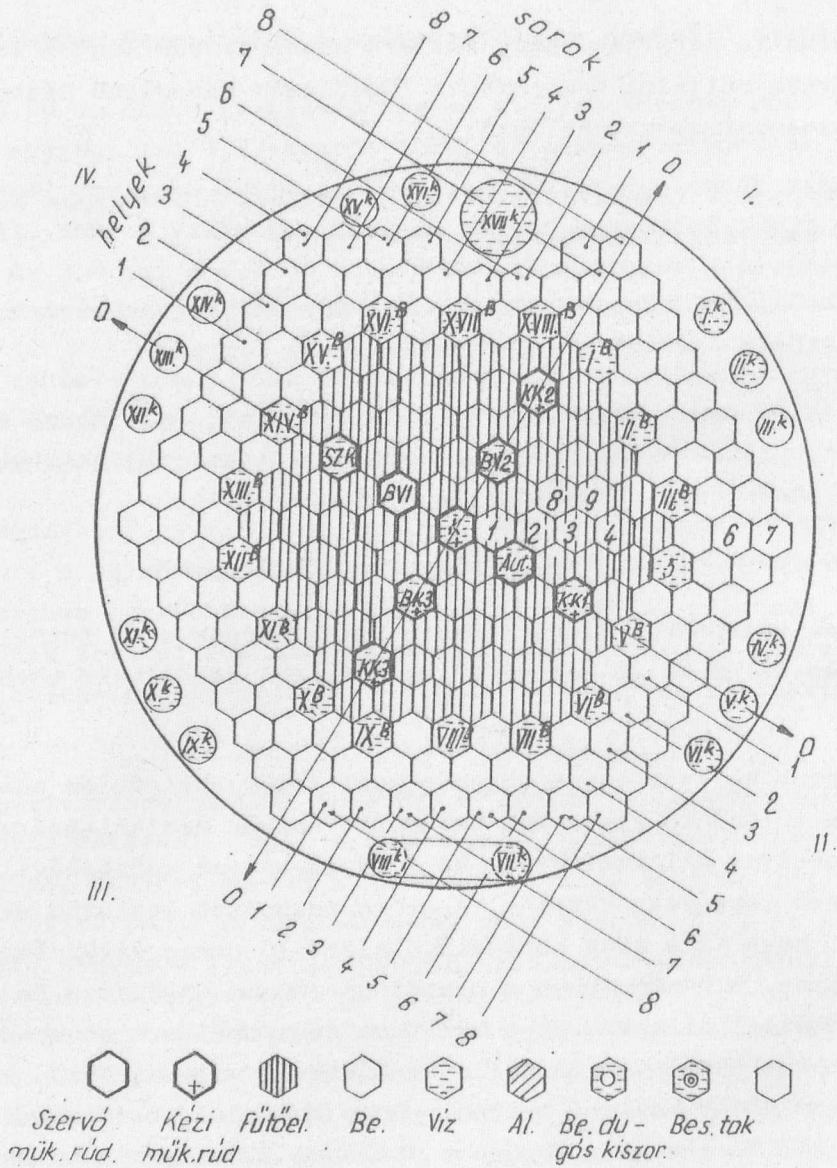
- a/ minimális hőteljesítmény mellett kétszerezze meg az izotópgyártás céljaira fenntartott függőleges besugárzó csatornák fluxusmaximumának átlagát;
- b/ a beépített reaktivitástartalék egy évi /10 hónapon át, havi 300 üzemóra/ üzemeltetést biztosítson;
- c/ a fűtőelemek hőterhelése s ezzel egyidejűleg a kiégése a lehetőség szerint minél egyenletesebb legyen;
- d/ az aktív zóna közelítése a külső csatornák felé /azok termikus neutronfluxusainak növelése céljából/ lehetőség szerint ne csupán abszorbens rudak segítségével történjék;
- e/ a BV rudak értékesége minél magasabb legyen.

Mindezen szempontok alapján esett választásunk a 82 fűtőelemből álló, 18 db belső és 17 db külső besugárzó csatornával rendelkező tömör zónakonfigurációra.

Javaslatot kellett tenni a reaktornál folyó aktivációs analitikai kutatások céljaira különböző spektrumu besugárzó helyek kialakítására, melyek közül 1 db csőpostával ellátott gyors és 2 db ugyancsak csőpostával működő termikus besugárzó csatornát képezne. A gyors besugárzó csatorna makettjét úgy képeztük ki, hogy az a zóna középsíkja alatt 10 cm-ig vizes legyen, e fölött pedig száraz. A középsíkban a csatornát 100 mm magasságu és 1,0 mm vastagságu Cd lemezzel béleltük ki, a termikus neutronfluxus abszorpciója céljából. A csatorna területe egy cella területével volt egyenlő. A helyének kijelölésénél szem előtt kellett tartani, hogy lehetőség szerint magas gyors neutronfluxus mellett, alacsony legyen a csatorna által lekötött reaktivitás. E célból megmértük a tervezett csatorna makettjének helyfüggő reaktivitás-értékességét, a 8. ábrán 1-9 jelzett pontokban /II. táblázat/.

II. táblázat

Mérési pont	§	Mérési pont	§
1.	1,30	6.	0,28
2.	1,38	7.	0,14
3.	1,19	8.	1,15
4.	1,07	9.	1,03
5.	0,40	-	-



8. ábra

Zónakonfiguráció a gyors besugárzó csatorna-makett helyfüggő reaktivitás-értékek méréséhez, $N_f = 82$.

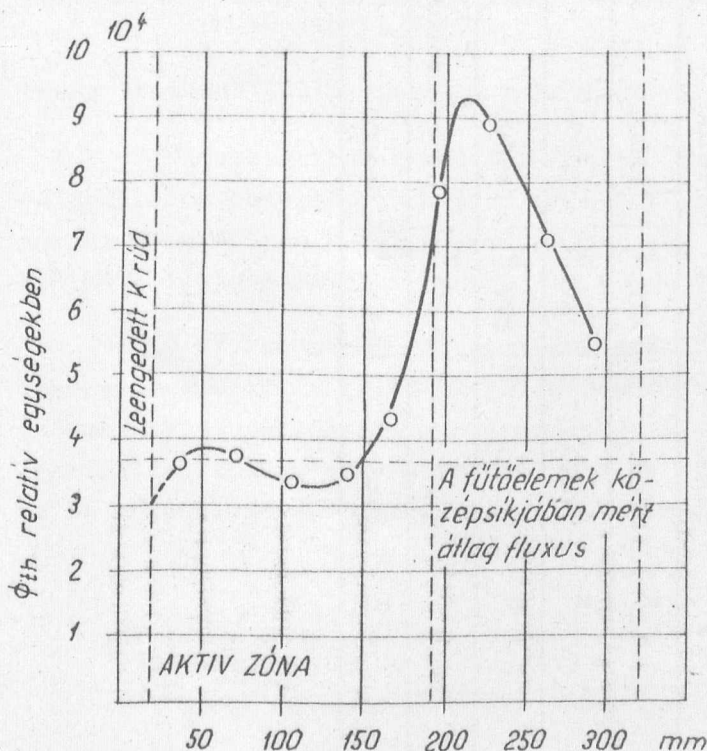
Meg kell jegyezni, hogy az 1. 2. 3. 8. 9. pontok értékei egy fűtőelem eltávolításának és a makett bevitelének együttes hatását adják, továbbá, hogy az 1. mérési pont kisebb értéke a közelben lévő K rud hatását jelzi. A reaktiváshatás szempontjából a csatornának egy belső besugárzó csatorna helyén történő kialakítása az előnyösebb, különösen, ha viszonylag magas gyorsfluxusu helyet kívánunk létesíteni. Az alacsony reaktorteljesítmény miatt gyors neutronfluxust nem tudtunk mérni, ezért a belső csatornák közötti választásnál csak azt vettük figyelembe, hogy lehetőleg eleve kis termikus fluxusu csatornát vegyünk igénybe, és az ide helyezett kadmios csatorna

ne árnyékoljon magasfluxusu besugárzó csatornát. Mindezek figyelembevételével előzetes fluxusméréseink alapján ennek a IV. negyed /3,5/-ös csatornája /XVII^B/ tesz leginkább eleget, ahol a makett mindössze 0,08 β -ral több reaktivitást köt le, mint a II. táblázat 5. pontjában szereplő I/6,3/ helyen.

A két termikus spektrumu csőpostacsatornát az I/8,3/ /8,4/ /7,5/-ös pozíciókban helyeztük el. /A középső cella a csőpostát ellátó levegő szállítására szolgál./

b/ Fluxusmérések

A korábban már megadott aa' referenciatengelyen mért radiális termikus neutronfluxus-eloszlásgörbén /9. ábra/ látható, hogy a fluxusértékek az aktív zónában a 82 fűtőelemen alig különböznek. Kivételt képez az utolsó fűtőelem



9. ábra

Radiális termikus neutronfluxus eloszlás az aa' tengely mentén. $N_f=82$.

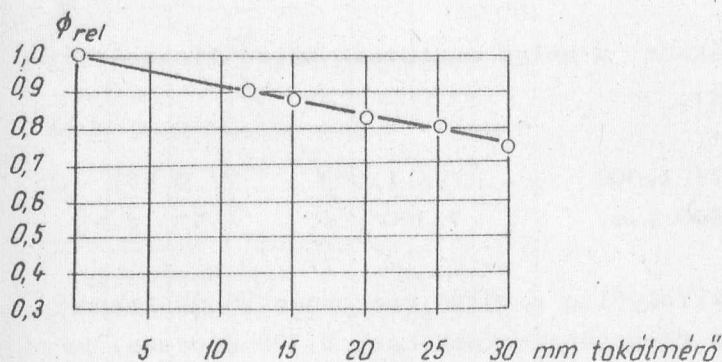
belső besugárzó csatorna átlagfluxusa vízben 96400 rel. egység, tokban mérve 71900 rel. egység. Eltekintve a XVI^B és XVIII^B csatornáktól, melyeket a kadmios csatorna árnyékol le, a belső csatornák fluxusértékei az átlagértéktől nem térnek el 6 %-nál jobban. A 16 db azonos méretű külső besugárzó csatorna átlag fluxusa 52400 rel. egység, vagyis az aktív zóna közepmagasságában a belső csatornák fluxusa átlagban 37 %-kal magasabb.

az aktív zónában a 82 fűtőelemen alig különböznek. Kivételt képez az utolsó fűtőelem külső falán a reflektor hatására jelentkező magas fluxusérték. A reflektormaximum értéke a fűtőelemekben mért átlagfluxus 2,5-szöröse. A belső és külső csatornák fluxusának összehasonlítása céljából megmértük a csatornák fluxusértékeit közepmagasságban, vízben és besugárzó tokban / $r = 1,5$ cm/. A kapott értéket a III. táblázatban foglaltuk össze.

A belső besugárzó csatornákra két értéket adunk; a vízben és tokban mért fluxusértékeket, míg a külső csatornában csak egyet, mert a kettő gyakorlatilag azonos. A 17 db

III. táblázat

Csat.	ϕ^{th} vízben rel.egysé- gek	ϕ^{th} tokban rel.egysé- gek	Csat.	ϕ^{th} rel.egysé- gek	Csat.	ϕ^{th} vízben rel.egysé- gek	ϕ^{th} tokban rel.egysé- gek	Csat.	ϕ^{th} rel.egysé- gek
I. ^B	91500	69700	I. ^K	51900	X. ^B	94600	71800	X. ^K	52400
II. ^B	106000	75500	II. ^K	53000	XI. ^B	108700	76600	XI. ^K	53600
III. ^B	102200	74900	III. ^K	52400	XII. ^B	97500	73900	XII. ^K	51100
IV. ^B	93900	72600	IV. ^K	53700	XIII. ^B	98700	73600	XIII. ^K	52000
V. ^B	93000	71000	V. ^K	52000	XIV. ^B	93800	71200	XIV. ^K	52500
VI. ^B	93800	72500	VI. ^K	53600	XV. ^B	92800	69500	XV. ^K	52500
VII. ^B	102200	76600	VII. ^K	55300	XVI. ^B	86600	65400	XVI. ^K	45200
VIII. ^B	106700	77500	VIII. ^K	55200	XVII. ^B	Cd-os csatorna		XVII. ^K	56300
IX. ^B	96500	71600	IX. ^K	52500	XVIII. ^B	80000	58000		-



10. ábra

A belső besugárzó csatornák relatív fluxus-változása a besugárzó tok átmérőjének függvényében, $N_f=82$.

rossz "reaktor"-tulajdonsága, nehézkesen kezelhető ólom használata.

Megvizsgáltuk a belső besugárzó csatornában a termikus neutronfluxus változását a besugárzó tok átmérőjének függvényében. Mint a 10. ábrán látható, a mérési hibahatáron belül a mért pontok egy egyenes mentén fekszenek. /A vízben mért fluxusértékeket normáltuk egyre./

A gyorsneutron és termikusneutron csőposták makettjével kiegészített zónában megmértük a külső és belső besugárzó csatornák, valamint a termikus csőposta fluxusértékeit. A csatornánkénti eloszlásokat a középső tokokra /maximális fluxusu helyek/ normálva, a 16 külső csatorna átlagos fluxusértékei az öt tokpozícióra vonatkozólag a következők:

I/ 0,417	II/ 0,728	III/ 1,000	IV/ 0,980	V/ 0,563
/21900 r.e.	/38100 r.e./	/52400 r.e./	/51400 r.e./	/29500 r.e./

Ezen értékektől való eltérés a XVI^k csatornában a legjelentősebb, /Cd-os csatorna hatása/, kisebb mértékű a szabályozó rudaknál fekvő csatornában.

A belső csatornában a besugárzó tokok az alsó Al rácson ültek, s így minden tokpozíció a külső csatornában mérthez képest 3 cm-rel alacsonyabbra került.

A belső csatornák fluxusai, mivel közelebb fekszenek a szabályozó rudakhoz, érzékenyebben függnek a rudak állásától, mint a távolabb fekvő külső csatornák. A 17 db csatorna közül a leggyengébb a XVIII^B jelű, melyet nemcsak a KK₂ rud árnyékol le, hanem a Cd-os csatorna is. /Megjegyzendő, hogy

A 30 mm átmérőjű besugárzó tokban átlag 25 %-kal kisebb a fluxus értéke, mint vízben, ezért célszerű a besugárzó tokok méretét a lehetőség szerint csökkenteni.

A besugárzandó céltárgy mérete általában kicsi /súlya néhány mg./, ezért kis tokba, vagy kettős, kívül perforált tokba csomagolható az anyag. Így elkerülhető a korábban nehezeknek használt drága,

még így is jobb bármely külső csatornánál./

Hasonlóan a külső csatornához, a belső csatornák átlag fluxusértékei az öt tokpozícióra a következők:

I/ 0,440	II/ 0,760	III/ 1,000	IV/ 1,007	V/ 0,661
31600 r.e.	54600 r.e.	72900 r.e.	73300 r.e.	47500 r.e.

Az axiális eloszlásokból kifolyólag a külső csatornák 80 db tokpozíciójának átlagfluxusa a maximális fluxusértékeknek csak 0,738-szorosa, vagyis 38700 rel. egység. A 17 db belső besugárzó csatorna 85 tokpozíciójának átlagfluxusa pedig a 71900 rel. egység maximális fluxusértéknek a 0,774-szerese, vagyis 55600 rel. egység.

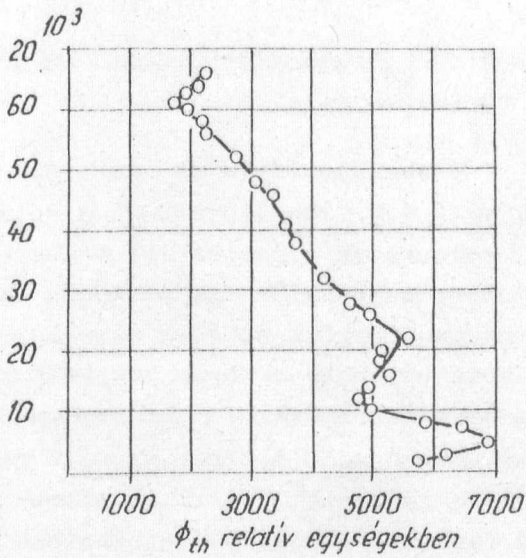
Mint látjuk, a belső besugárzó csatornában az öt tokra számított átlagfluxus 43,5 %-kal magasabb, mint ugyanaz a külső csatornában.

A tervezett 80 besugárzó pozíciót úgy célszerű megválasztani, hogy az a belső besugárzó csatornák 2., 3. és 4. pozíciója, továbbá a külső csatornák 3., 4. pozíciója legyen. Ezáltal az öt tokra átlagolt fluxusérték 60500 rel. egységre emelhető, ami a külső 80 tokpozíciójához tartozó 38700 rel. egységhez képest 56 %-os fluxusnövekedést eredményez és egész zónára vonatkozóan.

A két termikus csőposta-csatorna makettjét úgy alakítottuk ki, hogy a két szélső cella alsó fele vizes, felette száraz volt, míg a középső /a két csőposta kiszolgálását szolgáló levegő elvezetésére fenntartott/ cella 1/3 része teljes magasságban plexivel volt kitöltve, a két levegős cső közötti víz modellezésére. A két csőposta fluxusa /a középsőben/ 63500 rel. egység volt.

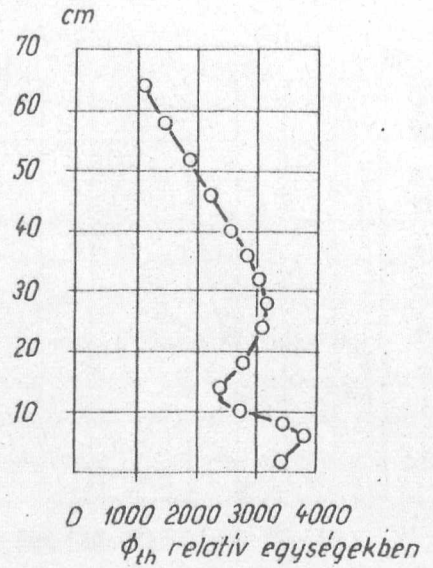
A továbbiakban szükségünk lesz a fűtőelemekben mért axiális fluxuseloszlásokra. Ezért az aktív zóna néhány pontjában megmértük azt, és illusztrációként közlünk három eloszlásgörbét, az I/0, 1/, III/3,3/ és III/3,4/ fűtőelem pozíciókra vonatkozólag /11., 12. és 13. ábrák/.

/A fenti görbék értékei nincsenek egymáshoz normálva./ A magasságot az alsó A₁ rácstól számítottuk. Megfigyelhető, hogyan csökken az alsó reflektormaximum az axiális eloszlásgörbe maximumához viszonyítva, az aktív zóna közepétől a perifériájáig haladva. Ez az érték a leengedett K rud és a BV rud vizes csatornája közötti fűtőelemen I/0,1/ még 1,29, az aktív zóna perifériáján pedig már csak 0,97.



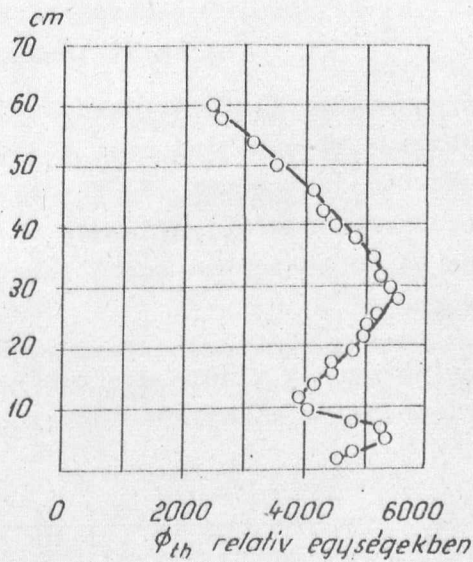
11. ábra

Az I/O,1/ helyen lévő fűtőelemben



12. ábra

A III /3,3/ helyen lévő fűtőelemben

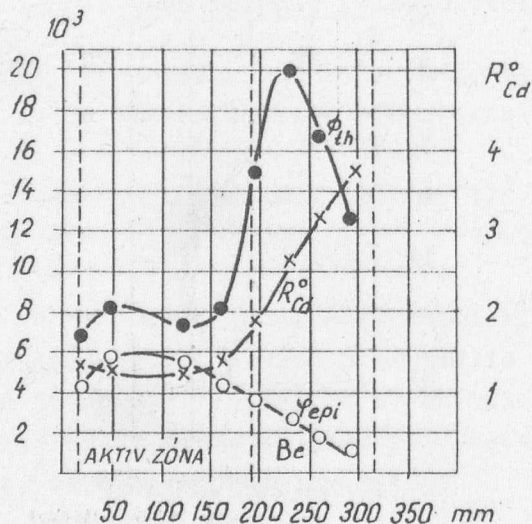


13. ábra

A III /3,4/ helyen lévő fűtőelemben

Axiális termikus neutronfluxus-eloszlás. $N_f = 82$.

Mivel a VVR-SzM reaktorban termikus neutronfluxust Au fóliapárral /csupasz és kadmium borításu/ mérünk, annak ellenőrzésére, hogy a Dy és Au aktivációs hatáskeresztmetszet-eloszlás különbsége okoz-e valami eltérést, megmértük az aa' tengelyen az epitermikus neutronfluxus-eloszlást a zóna középsikjában, Au fóliapárral is, a fűtőelem, valamint a Be kiszorítók falain. A mérésekhez 100 mg/cm^2 vastagságu, 99,99 % tisztaságu Au fóliákat és az epitermikus hányad szétválasztására 0,5 mm vastagságu, Cd borítást alkalmaztunk. A relatív termikus, az egységnyi $\ln E$ intervallumhoz tartozó epitermikus neutronfluxus, valamint a nulla vastagságu Au fóliára korrigált kadmium



14. ábra

ϕ_{th} , ψ_{epi} , valamint R_{Cd} eloszlás az x tengely mentén. $N_f=82$.

viszony R_{Cd} eloszlásgörbét a 14. ábrán tüntettük fel.

Összehasonlítva az Au fóliapárral mért ϕ_{th} eloszlásgörbét a 9. ábrával /ugyanaz az eloszlás Dy-val mérve/ jó egyezést kaptunk. A III^B, VI^B és VII^B csatornában történt mérések alapján megállapíthatjuk, hogy a zérus aranyfóliavastagságra extrapolált kadmiumviszony a felső tokban mért 1,8-ról az alsó tokig 3,0-ra változik. /Összehasonlítva a VVR-Sz reaktor besugárzó csatornáiban mért kadmiumviszonnyal, az uj zónában mért értékek mintegy 25 %-kal alacsonyabbak. Az uj aktiv zóna spektruma kevésebb, és a belső csatornák közel vannak az aktiv zónához./

Az eddigiek során minden fluxusértéket azonosan normált relatív egységekben adtunk meg. Próbáljuk megbecsülni ezek abszolút értékeit, ill. az induláshoz szükséges reaktorteljesítményt. A VVR-Sz reaktorban a 18 besugárzó csatorna maximális fluxusu helyeinek átlagfluxusa $2,25 \cdot 10^{13}$ n/cm². sec. volt. A 18 besugárzó csatornába 66 db besugárzó tokot lehetett elhelyezni, $1,79 \cdot 10^{13}$ n/cm². sec. tok átlagfluxussal.

A reaktorteljesítmény - a finomabb effektusokat figyelmen kívül hagyva - a termikus neutronfluxussal a következő összefüggésben áll:

$$P_{watt} = \frac{G_f^N V_\phi \bar{\phi}}{3,1 \cdot 10^{10}} = \frac{582 \cdot 10^{-24} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} \cdot 3180 \cdot \bar{\phi}}{235 \cdot 3,1 \cdot 10^{10}}$$

- ahol P - reaktorteljesítmény wattban,
 G_f - mikroszkopikus fission hatáskeresztmetszet barn-ban,
 N - az U-235 magok száma cm³-ként,
 V - az U-235 töltet térfogata cm³,
 $\bar{\phi}$ - az aktiv zónára átlagolt termikus neutronfluxus.

Az átlagfluxus tehát:

$$\bar{\phi} = \frac{P}{1,5349 \cdot 10^{-7}} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec.}$$

1 MW reaktorteljesítményhez tartozó átlagfluxus 82 fűtőelem esetén:

$$\bar{\phi} = 0,65 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec.}$$

Feltéve, hogy a $\phi_{\text{csatorna}}/\phi_{\text{zóna}}$ viszony a reaktorteljesítménytől független, belátható, hogy ha az új aktiv zónában a 17 db belső csatorna maximális fluxusátlagáa $4,5 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec.}$ lesz /tervezett érték/, ami a mi egységeinkben 71900 rel. egység, úgy 1 rel. egység = $6,26 \cdot 10^8 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec.}$ A fűtőelem középsíkjában az átlagos termikus neutronfluxus 36800 rel. egység. A fűtőelemekben mért axiális fluxuselozslásokat is figyelembevève a 82 fűtőelem átlagfluxusa $36800 \cdot 0,900 = 33120$ rel. egység, vagyis $2,07 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec.}$ átlagfluxus. Ez $2,07/0,67 = 3,2$ MW hőteljesítménynek felel meg. Becsléseink alapján tehát ahhoz, hogy az induló zóna 17 belső besugárzó csatornájában a fluxusmaximumok átlagát a régihez viszonyítva a kétszeresére emeljük, 3-3,5 MW hőteljesítmény szükséges. Mint ahogy a bevezetőben említettük, a rekonstruált reaktor teljesítménye 3,2 MW. Teljes egyezésben a fent leirtakkal, ezen a teljesítményen szolgáltatatták a besugárzó csatornák a rekonstrukció előtti érték kétszeresét.

Ha a csatornánkénti öt tokpozíciót az általunk javasolt módon választjuk meg /3+2/, úgy, mint irtuk, a tokonkénti fluxusátlag 60540 rel. egység, vagyis $3,80 \cdot 10^{13} \text{ n/cm}^2 \cdot \text{sec.}$ tok. Ez a régi tokátlagnak 2,12-szerese.

c/ Reaktivitás-mérések

A 82 fűtőelemes zóna reaktivitásadatainak megismerése céljából az Aut. és SzK rud kalibrációján keresztül megmértük az összes rud értékeségét:

IV. táblázat

A rud jele	Reaktivitás-értékeség		A szomszédos rudak helyzete	A rud jele	Reaktivitás-értékeség	
	§	§/cm			§	§/cm
Aut	1,034 1,2	0,028	KK-1 lent KK-1 fent	SzK	3,84	0,095
K	5,9 4,05		BV-3 fent BV-3 lent	KK-1	3,92	
				KK-2	3,72	
BV - 3	5,77		K és KK-3 fent	KK-3	3,79	
	5,2		K fent, KK-3 lent			
	3,81		K és KK-3 lent			

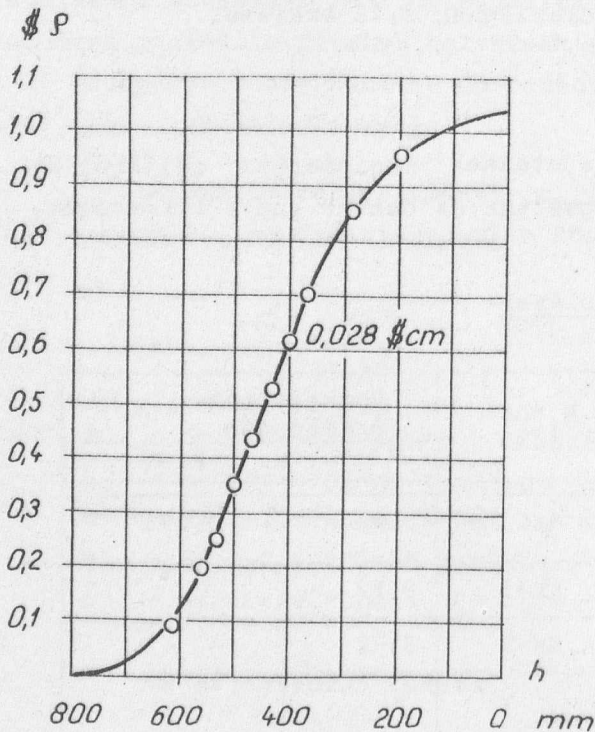
E zónakonfiguráción az Aut., K és BV-3 rudak esetében interferenciámérést is végeztünk. Az Aut. rud értékségét a mellette elhelyezkedő KK-1 rud leengedett és felhuzott állapotánál is megmértük. /A K rud azonban ekkor végig alsó végállásban volt./ Ez esetben a rudinterferencia 16 %-kal csökkenti az Aut. rud értékségét. A központi K rud értékét már 31 %-kal csökkentheti a mellette elhelyezkedő BV-3 rud. A biztonságvédelmi rud értékségét három rudkonfigurációnál mértük:

- 1/ a K és KK_3 rudak fent,
- 2/ K fent és KK_3 lent,
- 3/ K és KK_3 lent.

Mint látható, a BV_3 rud értéke 10 %-kal csökken a KK ruddal interferálva, a K és KK_3 rud leengedett állapotánál pedig a rud értékségének csökkenése közel 32 %.

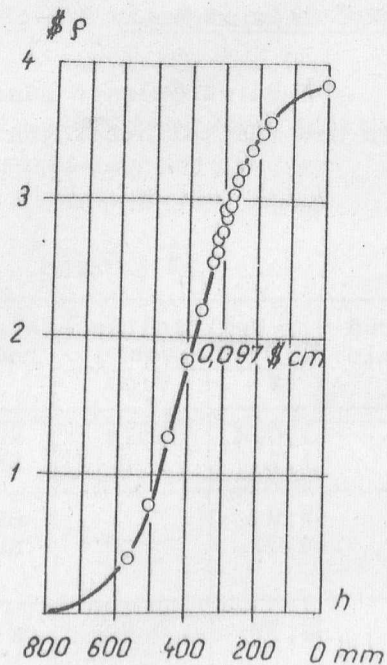
A zóna szélénszimmetrikusan elhelyezkedő KK_{1-3} és SzK rudak értéksége a hibahatáron belül azonos. A kalibrált rudak értéke alapján a 82 fűtőelemes zóna beépített reaktivitástartaléka 2 db száraz BV rudcsatornával 15,3 %. /A zónában nem volt kadmiumos csatorna./

Az automata és SzK rudak integrális jelleggörbéjét a 15. és 16. ábrán tüntettük fel.



15. ábra

Az automata rud integrális jelleggörbéje.
 $N_f = 82$.



16. ábra

Az SzK rud integrális jelleggörbéje. $N_f = 82$.

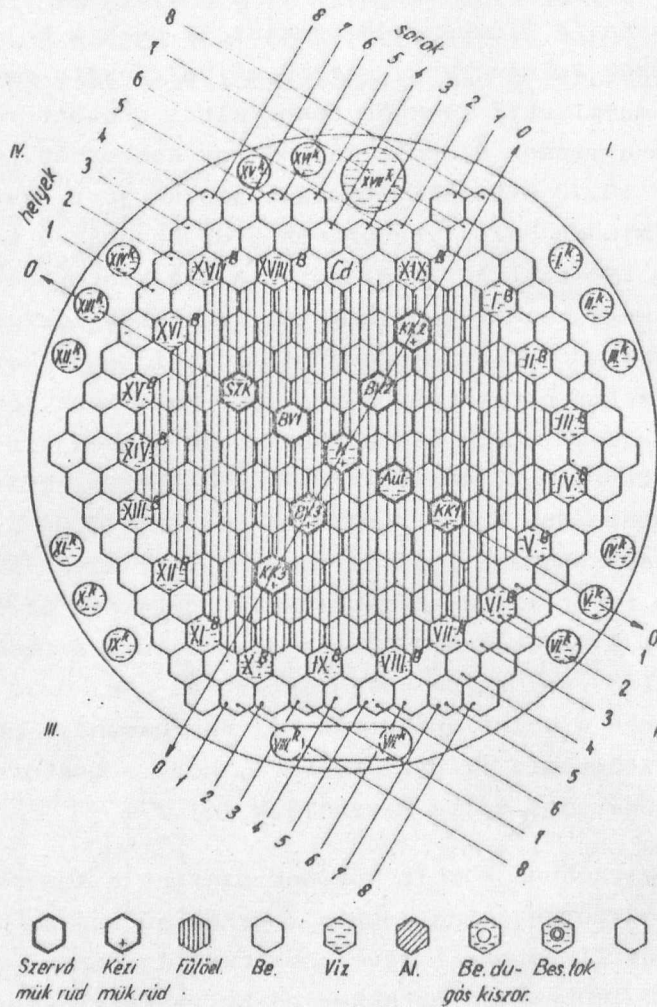
A 18 db belső besugárzó csatornával rendelkező 82 fűtőelemes induló zónával kapcsolatban felvetődött az üzem közbeni tokmanipulációkkal járó reaktivitásváltozások problémája. Ebből a szempontból elsősorban a belső csatornák jönnek számításba /a fluxusmérés szerint is csak a belső csatornáknak különböznek az értékek tokban, vagy vízben mérve/, ezért megmértük az ide helyezett /ólommal nehezített/ levegős tokok által okozott reaktivitásváltozást. A hatszög alakú zóna minden éle mentén egy-egy csatornát töltöttünk meg 5-5 db levegős tokkal, ez +0,72 \$ reaktivitásváltozással járt, vagyis csatornánként +0,12 \$. Tehát ha minden belső csatornába 5 db besugárzó tok kerülne, ez 2 \$-ral növelné a zóna reaktivitástartalékát. A víz kiszorításának reaktivitást növelő hatását az magyarázza, hogy a besugárzó tokok kiszorítják a berilliumhoz képest nagy abszorpciós hatáskeresztmetszettel rendelkező vizet a fűtőelemek és a Be reflektor határán, és így a Be reflektor zónához való csatolása javul. Mivel a besugárzó tokok legnagyobb része nagyon kis mennyiségű abszorbenst /néhány mg/ tartalmaz, ezért közel a 2 dollár reaktivitás növeli a zóna reaktivitástartalékát. Egy tok kivétele maximálisan 0,04 \$ reaktivitásváltozást okoz, melyet az automata rud jól tud követni. Mivel a belső besugárzó csatornába csak 3 db tokot kívánunk elhelyezni, célszerű az alsó tokhelyre Be dugót helyezni. Ez 17 csatornára vonatkoztatva +0,5 \$ reaktivitástöbbletet jelent. A 16 db külső csatornába helyezett 80 db Be dugó reaktivitásértékessége 0,34 \$, tehát a külső csatornák fel nem használt pozícióit nem érdemes Be dugókkal kitölteni. /Figyelembevève, hogy a csatornák legértékesebb két pozícióját besugárzási célra használjuk fel./

A III. fejezetben közölt mérések szerint a közvetlen az aktív zóna határán fekvő besugárzó csatorna csupán 7 %-kal ad magasabb fluxust /vízben mérve/, mint egy berilliumsorral távolabb fekvő csatorna. Tehát a csatorna egy sorral messzebb léptethető, és akkor újabb reaktivitástartalékot szabadíthatunk fel: 2,5 \$-t.

A reaktivitástöbblet növelésének további módja lehet belső besugárzó csatornák megszüntetése fűtőelem behelyezése által. A XVI^B - XVIII^B csatornák viszonylag alacsony fluxusu helyek, ezek megszüntetése jön először számításba. Itt egy fűtőelem 0,61 \$ értékességű, Be-hoz viszonyítva 0,30 \$. A külső Be rétegben, három cella helyén kialakított termikus besugárzó hely /csőposta modell/ reaktivitásértékessége 0,22 \$.

A reaktivitásméréseket összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a tárgyalt $N_f = 82$ -es zóna megfelel a fejezet elején ismertetett kívánalmaknak, és a fluxusadatait is figyelembevève a leginkább alkalmasnak mutatkozik üzemszerű megvalósításra. Kellő reaktivitástöbblettel rendelkezik, amely szükség esetén nagyobb átrendezés és a besugárzási kapacitás csökkenése nélkül növelhető.

VII. A második ciklus egy lehetséges zónája. $N_f = 107$.



17. ábra

Zónakonfiguráció, $N_f = 107$.

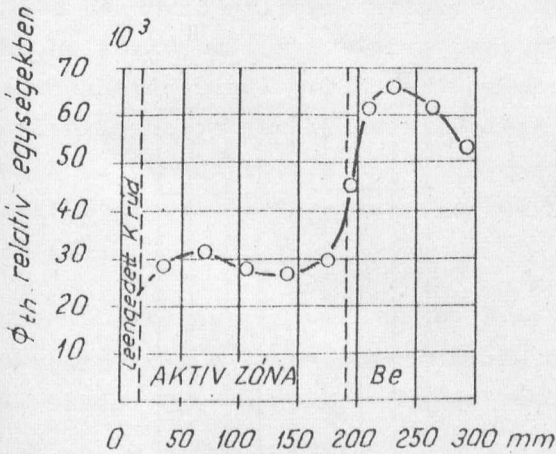
Becslést kellett végeznünk arra vonatkozóan, hogy az egy éves üzemi ciklus után, ha 107 fűtőelemre emeljük a zónatöltet /17. ábra/, hogyan alakulnak a fluxusviszonyok, ill. a zóna reaktivitástartaléka.

E zónakonfiguráció esetén már megbomlott a zóna szimmetriája. A belső besugárzó csatornák száma eggyel gyarapodott. A Be réteg tovább csökkent /effektív vastagsága már csak 8,8 cm/, ami ilyen vastagság mellett már a fluxusviszonyok romlásához vezet. A belső csatornák kezdenek elértéktelenedni, és fluxusértékei közelednek a külső csatornák értékeihez:

	vizben	tokban
ϕ_{th} 19 db belső csatorna	75000 rel.egys.	53500 rel.egys.
ϕ_{th} 16 db külső csatorna	50000 rel.egys.	4680 rel.egys.

Mint láthatjuk, e zónakonfiguráció esetén már a külső csatornában is alacsonyabb a fluxus értéke tokban, mint vizben mérve. A belső besugárzó csatornában a fluxuscsökkenés 15 mm-es tokban erőteljesebb /29 %/, mint a 82 fűtőelemes zónában /25 %/, a külső csatornában csak 6 %. A V. fejezetben használt becslés szerint számítva a kétszeres csatornamaximum átlagfluxusa / $4,5 \cdot 10^{13}$ n/cm² sec./ eléréséhez kb. 4,8 - 5,0 MW hőteljesítmény szükséges.

Az aa' tengely mentén mért fluxuselozzlás a 18. ábrán látható.



18. ábra

Termikus neutronfluxus elozzlás az aa' tengely mentén. $N_f = 107$.

le. Hogy a kalibrálandó rudat teljesen ki tudjuk huzni, 2 db pót-bórkarbid rudat használtunk a kalibrációkor, melyeket a III^k és VIII^k külső besugárzó csatornában helyeztünk el. Ezért a rud interferenciahatása e zóna esetében a legjelentősebb. /Ez esetben nem tudtunk becslést végezni ennek mértékéről./ A ru-

Az elozzlásgörbe egyenletesebbé vált, de a reflektormaximum és az aktív zóna átlagfluxusának viszonya romlott, 2,1-szeres.

A vízszintes kísérleti csatornák számára igen fontos ϕ_{th} / ϕ_{gyors} viszony romlása várható e zónakonfigurációnál. Ennek oka, hogy a berillium effektív vastagsága csökkent /itt már csak 8,8 cm/.

A 107 fűtőelemes zóna reaktivitástartalékát a teljes KK - K, BV₃, valamint az SzK és Aut. rudaknak valamivel több, mint a fele kötötte

* A vízszintes csatornák ϕ_{th} / ϕ_{gyors} viszony javításának módozatát keresve, kísérleteket végeztünk tangenciális csatornák létesítésére berillium és grafit alsó reflektor mellett [7]. E mérések azt mutatták, hogy a 82 fűtőelemes pusu zónák vízszintes csatornáinak ϕ_{th} / ϕ_{gyors} viszonya kb. ötször magasabb a 107 fűtőelemes zónáénál.

duk kalibrációjából kapott értékeségeket az V. táblázatban foglaltuk össze.

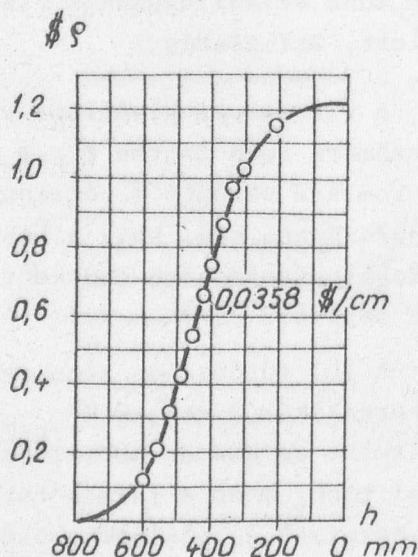
V. táblázat

A rud jele	Aut.		Szk		KK ₁	KK ₂	KK ₃	K	BV ₃
Reaktivitás- értékessége	\$	\$/cm	\$	\$/cm	\$	\$	\$	\$	\$
	1,25	0,036	5,6	0,125	5,2	4,55	3,64	5,56	4,52

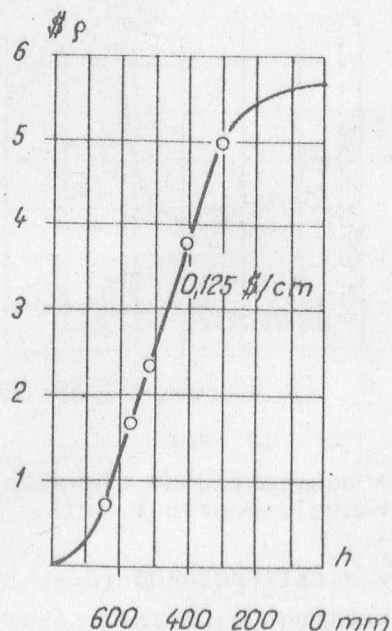
A rudinterferencia-hatással magyarázható, hogy az azonos sugaron fekvő rudak között jelentős eltérés mutatkozik. Például a KK-3 rud értéke azért tér el annyira a vele szimmetrikusan fekvő rudak értékétől, mert a BV-rud be-süllyesztett állapotban volt.

Másik szembe-tűnő jelenség, hogy a rudak értékessége általában magasabb, mint az előző zónakonfiguráció esetében.

Az automata és Szk rudak integrális jelleggörbéjét a 19. és 20 ábrákon tüntettük fel.



19. ábra



20. ábra

A kalibrált rudak alapján meghatározva, a beépített reaktivitás 27 \$. Ha figyelembe vesszük, hogy a 82 fűtőelemes zóna reaktivitástartaléka / egyaránt 2 db száraz rudcsatornával és a kadmiumcsatornával / 14,8 \$, ez azt jelentené, hogy a bevitt 25 db fűtőelem 12,2 \$-ral emelte a zóna reaktivitástartalékát. Ez fűtőelemenként 0,438 \$ reaktivitás-értékességet jelent. Ez nagyon eltér előző méréseinktől, ahol a 66 fűtőelemes zónában egy fűtőelem berilliumhoz viszonyított értékessége 0,56 \$, a 82 fűtőelemes zónában ugyanez

0,3 \$. A 107 fűtőelemes zónában fűtőelem-értékességet nem mértünk.

A nagy anomáliát két ok magyarázhatja: az első, hogy az erős rud-interferencia miatt a reaktivitástartaléknak a rudak értékeségén alapuló számítása sok hibát hordoz magában. A másik, hogy belső besugárzó csatornákat nagyobb zónasugáron kialakítva kevesebb a reaktivitást csökkentő hatásuk, mint kisebb sugáron, még akkor is, ha változatlanul az aktív zóna-reflektor határon helyezkednek el. Ez pedig egyértelmű azzal, hogy 25 új fűtőelem által behozott reaktivitástöbbelhez járulékosan hozzáadódik a csatornák távolabb léptetéséből származó reaktivitásnyereség is. Ennek alapján becslésünk szerint 23-25 \$ a helyes érték.

Most térjünk vissza arra, hogy a VI. pont bevezetőjében említett induló üzemi zónakonfiguráció kiválasztását meghatározó szempontoknak hogyan tesz eleget az $N_f = 82$ zónakonfiguráció. Az eddig ismertetett mérésekből látható, hogy a zóna 82 fűtőelemen tuli növelésekor a belső besugárzó csatornák kezdenek elértéktelenedni, s a kívánt termikus neutronfluxus-szint csak a reaktorteljesítmény növelésével érhető el. A 18 db belső csatorna alkalmazása /16 db külső csatorna mellett/ lehetővé tette, hogy a csatornákat a reflektormaximumban helyezzük el, valamint a csatornánkénti axiális fluxuselozslás rossz kihasználhatóságából eredő veszteséget csökkentjük a belső és külső csatornák maximális helyeinek kihasználásával. Mint láttuk, az $N_f = 66$ és $N_f = 107$ típusú zónákhoz viszonyítva a 82 fűtőelemes zónakonfiguráció esetén 57 %-kal kisebb reaktorteljesítmény mellett tudjuk biztosítani a kívánt termikus neutronfluxus értékét.

Meghatározhatunk egy "reaktorjóság"-nak nevezett jellemzőt, ha a besugárzó helyek fluxusmaximumának átlagát a hozzátartozó teljesítménnyel vesszük össze. Értéke az $N_f = 82$ -es zónánál $\frac{4,5 \cdot 10^{13}}{3,2} = 1,4 \cdot 10^{13}$, a rekonstrukció előtti érték: $\frac{2,25}{2,5} = 0,9 \cdot 10^{13}$.

A 82 fűtőelemes zóna reaktivitástartaléka /kadmios csatornával és 2 db száraz rudcsatornával /14,8 \$^x. Ha számításba vesszük a 2 db rudcsatorna vizessé tételét, úgy a reaktivitástartalékunk kb 16 = 16,5 \$. Ha pesszimális becslésünk alapján 3,5 MW reaktorteljesítménynél a stacioner mérgeződésre 4 \$-t számítunk, úgy a zóna reaktivitástartaléka egy éves üzemet tud biztosítani.

^x Itt nem vettük figyelembe sem a besugárzó tokok, sem a Be dugók által bevitt pozitív reaktivitást.

Az aktiv zóna geometriailag teljesen szimmetrikus, hatszög alakú, tömör zóna. Ez sokkal egyenletesebb kiégést biztosít, mint az általunk vizsgált többi, üzemi reaktivitástartalékkal rendelkező zónakonfiguráció. Elfogadva azt a közelítést, hogy a fűtőelem középpontjában mért fluxusérték azonos a fűtőelemcella átlagfluxusával, megvizsgáltuk a fűtőelem terhelésének eloszlását a különböző zónakonfiguráción.

Az $N_f = 82$ -es tömör zónakonfigurációhoz tartozik a legegyszerűsebb fűtőelemterhelés. A fűtőelemek 57 %-ában a fluxus az átlagértéktől ± 10 %-nál kevesebbet tér el, és a maximális szórás sem több ± 30 %-nál. Az $N_f = 66$ -os zóna fluxusa azért egyenlőtlenebb, mert geometriailag nem szabályos zónakonfiguráció, az $N_f = 92-4 \times 3 = 80$ -as zónát pedig a vizlyukak teszik egyenlőtlené. Az $N_f = 107$ -es zóna közel azonos a 82 fűtőelemes zónával/terhelés szempontjából/, a mért nagyobb szórást az magyarázza, hogy a nagy reaktivitástartalék lekötéséhez több abszorbens rudra volt szükségünk. /Meggjegyezzük, hogy ha egy évi üzemciklus után hozzuk létre a 107 fűtőelemes zónát, úgy a kiégés és mérgeződés miatt akkor már a szokásos rudmennyiség is le tudja kötni a reaktivitástartalékot, tehát az egyenlőtlenység kisebb lesz./ A zóna Be határára fekvő fűtőelemek belső és külső lapjain mért termikus neutronfluxus viszonya 1,8-2 értékű. A fűtőelem-gazdálkodás során az egyenletesebb kiégés biztosítása érdekében ezt figyelembe kell venni. /Pl. a fűtőelemek időnkénti forgatásával./

A besugárzó csatornák létesítésekor ldb Be kiszorító kivétele 0,30 \$-ral csökkentette a zóna reaktivitástartalékát, vagyis a 18 db. 5,4 \$-ral, ami kb. megfelel a legértékesebb rud /K/ értékeségének. A belső csatornák létesítésével tehát a zónasugár növekedett, s ezáltal közelebb került a külső csatornához, így azok fluxusértékei javultak.

A belső vizlyukas zónák esetében problémát okoz a vizlyuk helyének kiválasztása. Ha azt a szabályozó rudhoz közel helyezzük el, csökkenti annak értékeségét, ha az aktiv zóna perifériáján, úgy megszívja a belső besugárzó csatornák fluxusait.

Köszönetünket fejezzük ki Gyimesi Zoltán, Pálfalvi Lajos, Turi László elvtársaknak a mérések során nyújtott elvi és gyakorlati segítségükért. Köszönet illeti a mérések lebonyolításában közreműködött kollégákat: Szép Lukács, Vizdos Géza, Goda László, Szalánczy Nándor, Halmos Lászlóné elvtársakat. A mérőberendezések üzembehelyezésénél, üzemeltetésénél kifejtett tevékenységéért Bollók Lajost és munkatársait illeti köszönet. A mérések kiértékelésében, a rajzok készítésében Valkó János, Vuics Lászlóné, Scholtz Károly, Dávid Ferencné volt segítségünkre, akiknek ezuton köszönjük meg fáradozásukat.

Végezetül mindazon fel nem sorolt munkatársunknak, akik a munkánkban segítségünkre voltak, ezúton mondunk köszönetet.

I r o d a l o m

- [1] Gyimesi Z., Szabó F., Zobor E., Fóti E. und Muzsnai L.: Wassermoderiertes kritisches System Typ ZR-1. 1961
- [2] Bollók L., Lévai F., Szabó F., Pellioanis P., Szigeti B., Szlávik F., Zobor E.; Instrumentierung und Steuersystem des Atomreaktors ZR-4. "Atompraxis" megjelenés alatt.
- [3] Исследовательские тепловые реакторы. Л.И. Рисунев и др. II. международная конференция по мирному использованию атомной энергии. Доклад советских ученых. 2. том. 1959.
- [4] Нейтронные потоки, рассчитанные по методу Весткота в активной зоне реактора ВВР-С. Л. Франкл, Budapesti Reaktorkonferencia 1965.
- [5] Frankl L., Gácsi L., Szaklajda L.: A VVR-Sz reaktor rekonstrukciójával kapcsolatos zéró teljesítményű kísérletek a ZR-3 kritikus rendszeren. KFKI Preprint 19/1967.
- [6] Gyimesi Z., Szatmári Z., Valkó J., Vigassy J.: Nukleonika, megjelenés alatt.
- [7] Frankl L., Szabó F., Várkonyi L.: Zóna felemelésével képzett tangenciális csatorna vizsgálata KFKI Közl. 16, 35 /1968/

Érkezett: 1967. okt. 30.

KFKI Közl. 16.évf. 1.szám, 1968.

ZÓNA FELEMELÉSÉVEL KÉPZETT TANGENCIÁLIS CSATORNA VIZSGÁLATA*

Irta: Frankl László, Szabó Ferenc és Várkonyi Lajos

Összefoglalás

A VVR-Sz M reaktor vízszintes csatornáinál folyó fizikai kísérletek magas termikus neutronfluxust igényelnek alacsony gyors neutronfluxusháttér mellett. A termikus/gyors fluxus-viszony javítását célozza a tangenciális csatornák kialakítása. A nagy költséggel létrehozandó tangenciális csatornák helyett a zóna felemelését és az alsó reflektornak a meglévő csatornákhöz történő csatolásának problémáit vizsgáltuk meg a VVR-Sz reaktor rekonstrukciójával kapcsolatos zéró-teljesítményű kísérletek során elvégzett speciális mérésorozattal. A dolgozat tartalmazza a radiális és az aktív zónához viszonyított különböző magasságban képzett "tangenciális" csatornáknál mért termikus, epitermikus, gyors neutronfluxusok és gamma-háttér arányait.

Bevezetés

A Budapesti Reaktorkonferencián elhangzott előadás [1] azzal foglalkozott, hogyan lehetne javítani a VVR-Sz reaktor vízszintes csatornáinál a termikus és gyors neutronfluxus viszonyát. Mint ismeretes, a vízszintes csatornáknál folyó fizikai kísérletek általában csak a termikus neutronfluxust igénylik, a gyors neutron-és gamma-sugárzás zavaró háttérként jelentkezik. Ennek csökkentése céljából merült fel az a gondolat, hogy az aktív zóna alját emeljük fel a vízszintes csatornák fölé, berillium vagy grafit reflektort építve a felemelt aktív zóna alá, és így javítsuk a /"tangenciálissá" vált/ csatornáknál a ϕ_{th} / ϕ_{gyors} viszonyt.

A [2] -ben közölt előzetes mérések szerint a 3:1 arányban paraffint tartalmazó grafitreflektorból kicsatolt tangenciális csatornában a termikus neutronfluxus a felére esik, a gyors neutronfluxusnak egy nagyságrenddel való csökkentése mellett. A [2] -ben leírt mérések számunkra közelítő jellegűek a következő okok miatt:

*/ E méréseket a VVR-Sz reaktorok teljesítménynövelésével kapcsolatban létrejött csehszlovák-lengyel-magyar-német kooperáció keretében végeztük el.

- 1/ A tangenciális csatornát függőleges irányban képezték ki, és így a csatorna kicsatolása a radiális reflektormaximumból történt.
- 2/ A méréseket EK-10 típusu, 10 % U-235 dúsítású fűtőelemből felépített zónán végezték el, jóllehet a felemelendő aktív zóna más típusú fűtőelemekből fog állni.

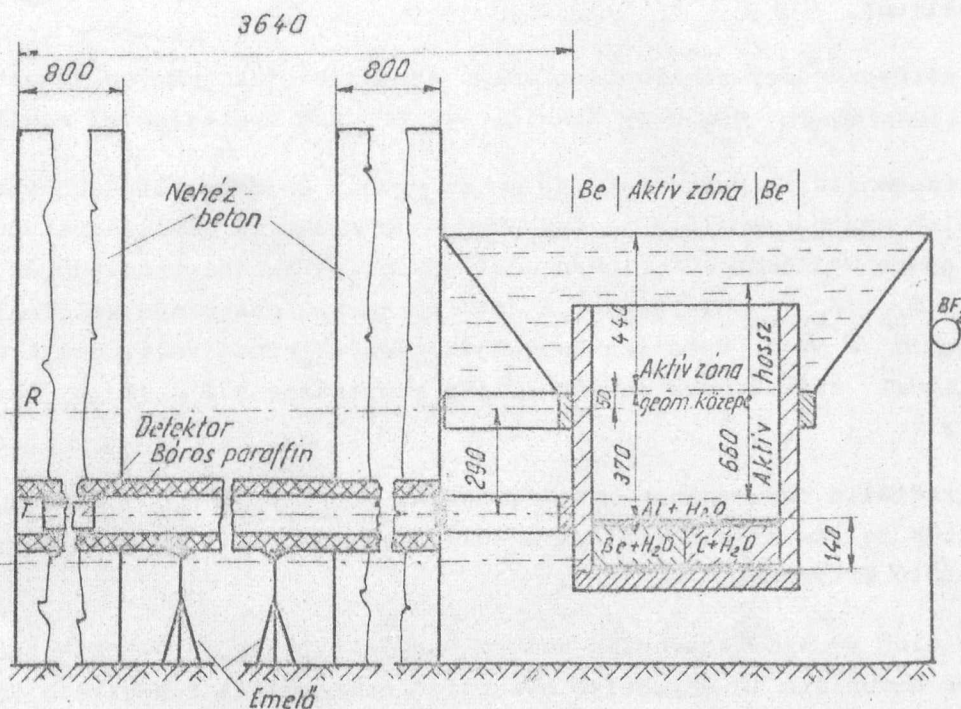
A fentiek alapján szükségessé vált egy mérésorozatot végrehajtani az új /VVR-SzZ/ típusú fűtőelemekből felépített és berilliummal reflektált aktív zónán. A mérésnél gondoskodni kellett a valóságos helyzetnek megfelelő viszonyok kialakításáról és a vízszintes csatorna méreteinek betartásáról. A mérésorozat a ZR-3 kritikus rendszeren folyt le.

A mérési elrendezés rövid /műszaki/ leírása

A rekonstrukció során VVR-SzZ típusú /modifikált VVR-M típus/ fűtőelemekre tértünk át, melyben az U-235 dúsítása 36 %. Az aktív zóna oldalirányból berilliumreflektorral van körülvéve, mely két részből áll: palástreflektor és berillium kiszorítók. A Be palástreflektor 42 mm effektív vastagságú, melyben 16 db 35 mm ϕ -jű és 1 db 66 mm ϕ -jű furat van. E palástreflektoron belül egy speciálisan kiképzett alumíniumrácsban helyezkednek el a fűtőelemek és a velük külső méretben megegyező berillium kiszorítók. E rácsban 214 pozíció van, melyből 9 pozíciót a szabályozó és biztonságvédelmi rudak csatornái foglalnak el.

Az új reaktor fizikai paramétereinek meghatározása, valamint az optimális zónakonfiguráció kiválasztása céljából zéró teljesítményű mérésorozatot végeztünk el a ZR-3 kritikus rendszeren. E mérésorozat keretében került sor a VVR-SzZ típusú fűtőelemekből felépített zónán a tangenciális csatornavizsgálatokra is. A ZR-3 rendszer leírását és különböző zónakonfigurációkon történt mérések eredményeit a [3] irodalom tartalmazza. E mérésorozat alapján esett a választás az aktív zóna és Be határon 18 db függőleges belső besugárzó csatornával rendelkező 82 fűtőelemből álló zónakonfigurációra. Az U-235 kiegészítésének egyik útja, hogy a reaktor aktív zónáját friss fűtőelemekkel tovább építjük. Egy ilyen nagyobb, /perspektivikus/ zónát is megvizsgáltunk, mely 107 fűtőelemből állt. A tangenciális csatorna vizsgálatokhoz e két típusú zónakonfigurációból indultunk ki. E mérésekhez az aktív zónát a következőképpen alakítottuk ki: a palástreflektort a helyén hagytuk, és készítettünk egy speciális új belső rácsot, melynek segítségével a berillium-palásthoz viszonyítva 130 mm-rel megemeltük a fűtőkötegek és berillium kiszorítók szintjét. Az így keletkezett zóna alatti térben helyeztük el az "alsó reflektort". Ez a reflektor a rendelkezésünkre álló 80 db ϕ 30 x 130 mm méretű berillium- és a kiegészítésül gyártott 89 db ugyanilyen méretű grafit hengerből állott. Az aktív zóna és a Be, illetve grafit hengerek közötti

térben kb 8 cm vastag Al + H₂O réteg volt, amelyet a fűtőköteg konstrukciója miatt nem lehetett csökkenteni. Méréseket kívántunk végezni annak vizsgálatára is, hogy Be vagy grafit alsó reflektor ad-e jobb viszonyokat. Ezért úgy terveztük, hogy a méréseket kétszer végezzük el a kicsatolt zónafél alatt egyszer Be, másszor grafit alsó reflektorral.



1. ábra

A mérés elrendezésének elvi vázlatja az 1. ábrán látható.

A Be palástreflektor és a zónatartály közötti vízben a nyaláb ki-csatolására 2 db levegős \varnothing 100 mm Al henger szolgált, melyek közül a felső volt rögzítve /"R"/ a kísérlet folyamán. Ennek pozíciója megegyezik a VVR-Sz M reaktor vízszintes /radiális/ csatornáinak pozíciójával. /Mivel az új fűtő-elemtípus aktív hossza 20 %-kal megnövekedett, a radiális csatornák a rekonstruált reaktorban az aktív zóna közép magassága alatt helyezkednek el, 58 mm-rel./ Az alsó tangenciális csatorna /"T"/ 140 mm-es távon mozgatható volt. Hozzájuk illeszkedett a tartályon kívül felépített vízszintes csatorna /98 mm belső \varnothing -jü acélcső/, melyet minden oldalról kb 20 cm vastagságú bóros paraffinréteg árnyékol le a kívülről beszűrődő /és így a mérést zavaró/ termikus és gyors neutronháttértől. A szórt gamma-sugárzás csökkenése céljából a csatorna két végén nehézbeton-védelem épült.

A mérés leírása

A mérést szcintillációs és GM detektorokkal végeztük, melyeket a csatorna külső végében helyeztünk el. A termikus neutronhozamot ZnS, a gyors hozamot pedig bóros ZnS szcintillátorral ellátott fotomultiplierrel mértük. Az epitermikus neutronnyalábra vonatkozó adatokat a 0,5 mm vastagságú kadmium sapkával borított termikus detektor szolgáltatta. A γ mérésekhez GM-csővet használtunk.

A méréseket egy zónakonfiguráción azonos teljesítményen végeztük, a reaktorteljesítményt egy nagy stabilitású BF_3 cső segítségével monitoroztuk.

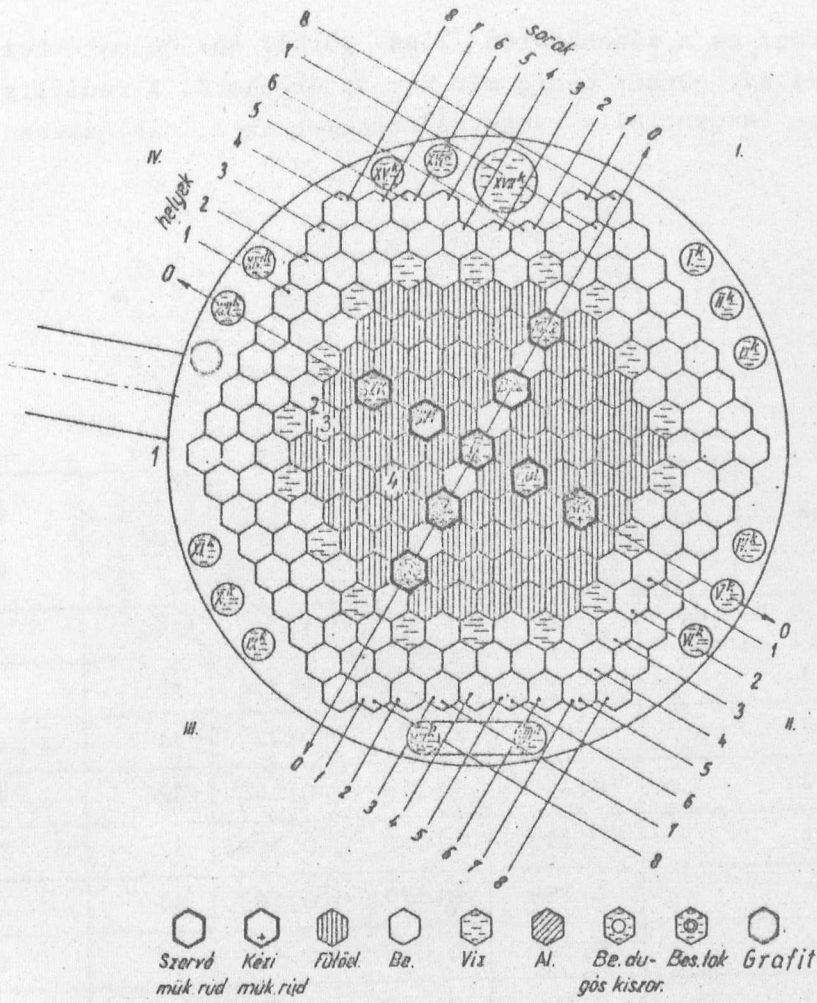
A tangenciális csatornát 140 mm-es távon, 20 mm-es lépésként mértük meg. Az első csatornapozíció a rad. csatornától 290 mm távolságra van. A termikus és gyors nyalábot RUP-típusú kézi műszerrel abszolútizáltuk, és ebből képeztük a $\phi_{\text{th}} / \phi_{\text{gyors}}$ hányadost. A 3640 mm hosszú csatornán kollimált gyors neutronnyaláb a kb 10 W-os reaktorteljesítményen kicsi volt, ezért azt rossz statisztikával tudtuk csak megmérni. /Ez magyarázza a $\phi_{\text{th}} / \phi_{\text{gyors}}$ értékek szórását./

A radiális csatornában mért értékeket $[\phi_{\text{th}}, \phi_{\text{gy}}, \phi_{\gamma}]$ minden esetben l-nek vettük fel, és erre normáltuk a különböző tangenciális csatornapozíciókhoz tartozó értékeket.

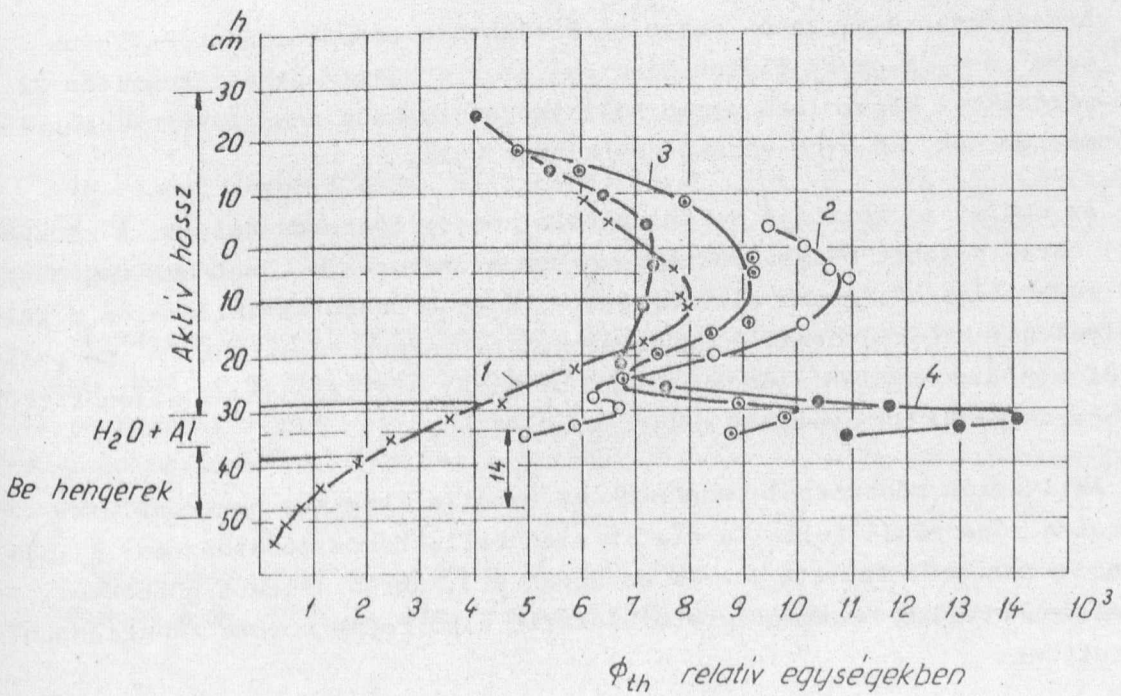
Az első zónakonfiguráció, melyet megvizsgáltunk, a VVR-SzM zónakonfigurációhoz hasonlóan 18 db belső besugárzó csatornával rendelkező, 76 fűtőkötetet tartalmazó zóna volt /2. ábra/. /Ez annyiban tér el a VVR-SzM zónától, hogy technikai okokból - a fűtőelemek alatt elhelyezkedő reflektor miatt - a szabályozó rudak közé nem fért el fűtőkötet, és így a zóna közepét átszelő egyik egyenes mentén 6 db fűtőkötet helyére Be kiszorító került./

A mérési elrendezést első lépésként úgy alakítottuk ki, hogy a mozgó csatorna az alsó reflektor berillium oldalát "lássa". Az alsó reflektor berilliumos része a zóna III. és IV. sz. térnegyedei alatt helyezkedett el /2. ábra/. Az axiális termikus neutronfluxus eloszlást Dy tartalmu huzal aktiválásával a 2.sz. ábrán jelzett helyeken mértük meg. Az 1.sz. mérési hely a berillium palástreflektor külső falán a vízben, a 2.sz. az aktiv zóna és a berillium kiszorítók határán /a Be kiszorítón/, a 3. és 4. számú helyek pedig a III /5,2/, illetve a III /2,2/ koordinátájú fűtőelemkötegek geometriai tengelyében voltak. Az ezeken a helyeken mért axiális termikus neutronfluxus eloszlásokat a 3. ábrán tüntettük fel. /A négy görbe nincsen egymáshoz normálva./

Az aktiv zóna közepén /4.sz. görbe/ még magas az alsó reflektormaximum - reflektormaximum / aktiv zóna maximum ≈ 2 - kifelé haladva értéke csök-



2. ábra



3. ábra

ken /3.sz. görbe/, és a zónahatáron /2.sz. görbe/ már jelentéktelen, a Be paláston kívül /1.sz. görbe/ pedig már nem is érezhető. A radiális csatornaértékekre normált tangenciális csatornaértékeket az I. táblázatban foglaltuk össze.

I. táblázat

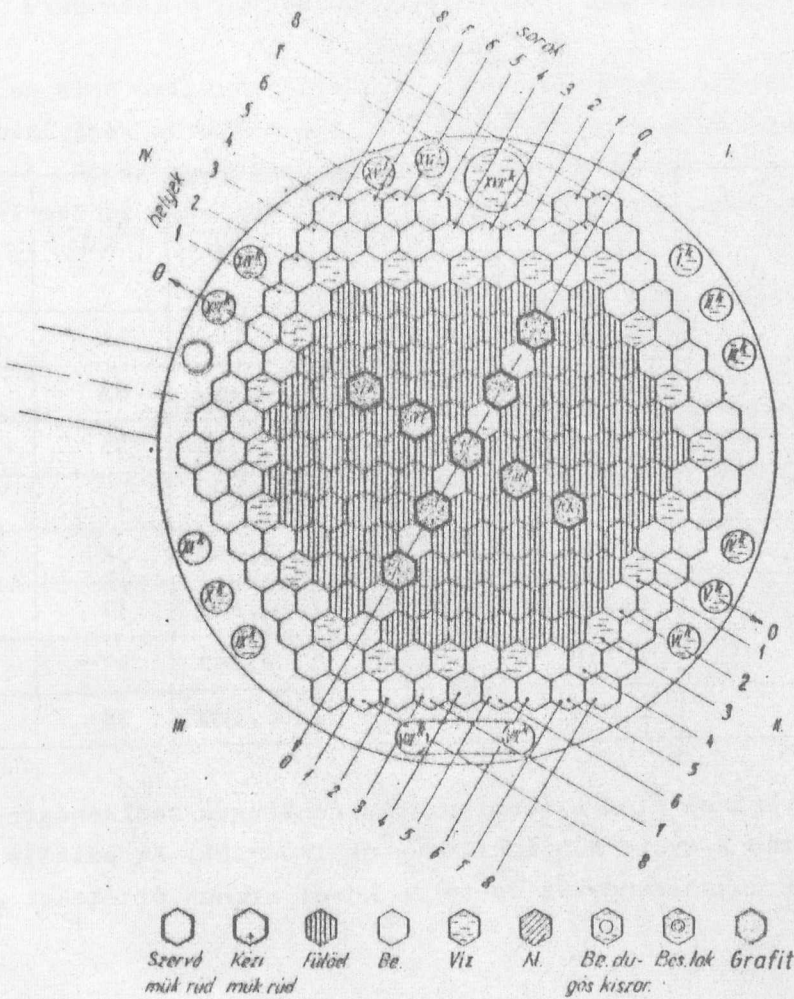
$$N_f = 82-6 = 76$$

Csatorna	ϕ_{th}	ϕ_{gyors}	ϕ_δ	R_{Cd}	$\frac{\phi_{th}}{\phi_{gyors}}$
Radiális	1,00	1,00	1,00	25	55
Tangenciális 1.	0,324	0,200	0,396	31	89
Tangenciális 2.	0,285	0,142	0,323	31	110
Tangenciális 3.	0,240	0,115	0,265	32	115
Tangenciális 4.	0,193	0,088	0,200	32	121
Tangenciális 5.	0,159	0,079	0,163	37	111
Tangenciális 6.	0,120	0,053	0,135	37	124
Tangenciális 7.	0,100	0,047	0,110	38	117
Tangenciális 8.	0,074	0,032	0,085	40	127

A csatorna külső végén abszolút értékben a termikus neutronfluxus $5 \cdot 10^3 \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$, a gyors fluxus $85 \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$, a gammadózis-intenzitás 22 mr/ó . A gamma-mérésekkel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a nyalábot kicsatoló alumíniumhengernek kb 5 cm vastag fenéklapja volt.

Az épület geometriája deteminálta a hosszú csatorna helyét. A kicsatolás a 2. ábrán jelzett helyen történt, ekkor a csatorna a közelében fekvő szabályozó rudat "látta". Annak ellenőrzésére, hogy e csatorna jellemzi-e a különböző helyeken fekvő csatornák fluxusviszonyait, mérést végeztünk. A Be paláston kívül a neutronnyaláb momogenitását Dy huzal aktivációjával ellenőriztük. A hibahatáron belül az eloszlás konstansnak bizonyult.

Aktivációs módszerrel megmértük az axiális termikus neutronfluxus eloszlásokat a zóna másik felén /a grafit alsó reflektoros zónarészben: I., II. ténegyed/, a mérésekből felvett görbék azonosak a 3. ábrán jelzett görbékkel, ezért a mérések teljes megismétlésétől /grafit alsó reflektoros zónakicsatolás/ eltekintettünk.



4. ábra

Ezután áttértünk a 107 fűtőelem típusu zónakonfiguráció. [3] vizsgálata. Mi esetünkben a zóna 103 fűtőkötégből állt /4. ábra/.

A mérést hasonló módon hajtottuk végre, mint az előző zónakonfiguráción. A II. táblázatban foglaltuk össze a 103 fűtőkötéges zóna vízszintes csatornamakketjénél mért relatív értékeket.

A kézi műszerrel mért termikus neutronfluxus a csatorna külső végén $10^3 \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$, a gyorsfluxus $90 \text{ n/cm}^2 \text{ sec}$, a gammadózis-intenzitás 20 mr/ó volt. /A reaktorteljesítmény abszolút értékét egyik esetben tudjuk pontosan, azonban ekkor kisebb volt a teljesítmény, mint az $N_F = 76$ -os zónakonfiguráció esetében./

Összehasonlítva az I. és a II. táblázatokat, a leginkább szembetűnik a nagy zónánál a ϕ_{th} / ϕ_{gyors} viszony erős csökkenése. A berillium rétegvastag-

II. táblázat

$$N_f = 107-103$$

Csatorna	ϕ_{th}	ϕ_{gyors}	ϕ_γ	R_{Cd}	$\frac{\phi_{th}}{\phi_{gyors}}$
Radiális	1,00	1,00	1,00	21	11
Tangenciális 1.	0,373	0,189	0,370	33	22
Tangenciális 2.	0,300	0,152	0,325	35	22
Tangenciális 3.	0,238	0,110	0,254	36	24
Tangenciális 4.	0,187	0,078	0,200	36	26
Tangenciális 5.	0,152	0,052	0,169	37	32
Tangenciális 6.	0,118	0,039	0,142	37	33
Tangenciális 7.	0,078	0,023	0,100	38	36

ság csökkenése magyarázza mind a termikus neutronfluxus csökkenését e zóna-konfiguráción [3] mind a gyors neutronfluxus emelkedését. Az axiális eloszlások értékei mindkét zónaelrendezés esetében közel azonos értékeket adtak.

Következtetések

Mint a 3. ábra görbéiből látható, az alsó reflektor fölötti Al + H₂O rétegben alakul ki a fűtőkötég alatt az u.n. reflektormaximum. Ebben a rétegben /1.sz. görbe/ a termikus neutronfluxus eloszlásgörbéje monoton csökken. A fűtőelem konstrukciója miatt az alsó berillium /grafit/ réteg nem vihető közelebb az uránhoz, ezért hatásossága kicsi. Javitani lehetne a csatorna paramétereiket azzal, ha az Al + H₂O réteg kiküszöbölhető lenne, helyét pedig berillium, vagy grafit töltené ki.

Az I. és II. táblázatokat összehasonlítva látható, hogy a tangenciális csatornák ϕ_{th} / ϕ_{gyors} viszonyszáma a radiális csatornákénak 2-3-szorosa. A 2.sz. tangenciális csatornapozíció alatt gyakorlatilag már konstans e viszony, a fluxusok abszolút értéke azonban folyamatosan csökken. A kicsatolás optimális helyét a 2.sz. pozíciótól lefelé a fizikai kísérletek igényei determinálják. Véleményünk szerint a 2. vagy 3. pozíció az, amely, mint optimális, számításba jöhet.

Meg kell jegyezni, hogy a méréseket zéró teljesítményen végeztük, a ϕ_{th} / ϕ_{gyors} viszonyszám teljesítményfüggésére nem rendelkezünk adatokkal.

Ami az alsó szilárd reflektor létjogosultságát illeti, azt mondhatjuk, hogy hatásosságának növelése céljából a fűtőkötegek alsó kiképzését módosítani kellene. A fűtőköteg jelenlegi konstrukciója mellett a szilárd alsó reflektor alkalmazását /gazdaságossági szempontból/ nem javasoljuk.

I r o d a l o m

- [1] Várkonyi L., Czikó R.: Rekonstruktionsplan des VVR-S Reaktors in Budapest. Budapesti Reaktorkonferencia 1965.
- [2] Szabó F., Szatmáry Z., Turi L.: Measurements on Tangential Channels in Graphite Reflektor. Budapesti Reaktorkonferencia 1965.
- [3] Frankl L., Gácsi L., Szabó F., Szaklajda L. és Várkonyi L.:
A VVR-SzM reaktor üzemi zónáját kialakító zérókisér-
letek a ZR-3 kritikus rendszeren, KFKI Közl. 16, 3
/1968 /

Érkezett: 1967. okt. 30.

KFKI Közl. 16.évf. 1.szám, 1968.

ENERGIA- ÉS TÖLTÉSELOSZLÁS U-235 TERMIKUS ÉS Cf-252 SPONTÁN HASADÁSAKOR

Irta: Kluge Gyula és Lajtai Albert

Összefoglalás

Kiszámoltuk U-235 termikus és Cf-252 spontán hasadásánál az egyes fragmentpároknál felszabaduló összenergiát a Myers-Swiatecki tömegformula [1] alapján. Az össztöltés megoszlását a felszabaduló energia maximumának megke- resésével határoztuk meg. A kapott eredményeket összehasonlítjuk más tömeg- formulák alapján adódó eredményekkel, illetve az irodalomból ismert, egyéb kísérleti és elméleti értékekkel.

Bevezetés

A maghasadás felfedezése óta számos próbálkozás történt egy egységes átfogó elméleti leírás létrehozására. A különféle próbálkozások jelentős sike- reket értek el a folyamat egyes jellemzőinek elméleti reprodukálásában, azon- ban egy minden vonatkozásában eredményesen alkalmazható modell megalkotása még nem sikerült.

A folyadékcseppmodell [2] és finomított változatai [3], alapvető si- kereik ellenére, sok esetben nem adnak helyes képet olyan fontos adatokról, mint a fragmentok tömeg-, töltés-, kinetikus energiák eloszlása, neutron-emissziós tulajdonságok stb.

Az elmúlt években sok biztató eredmény született azon próbálkozások- ból, amelyek a statisztikus magreakció modellek különböző változatait alkal- mazták [4-7]. Közös vonásuk, hogy jól definiált szétszakadási konfiguráció létezését tételezik fel, ami erős nem-adiabatikus hatások következtében kial- lakult statisztikus egyensúly következménye. Ilyen modellek alapján végzett számolásokban a rendelkezésre álló energiák pontos ismerete alapvető fontos- ságu, hisz a statisztikus folyamatokat meghatározó állapotssűrűségek, továbbá a hasadást gátló potenciálgáton való áthaladás valószínűsége erősen energia- függő. Így csak az egyes hasadási folyamatoknál felszabaduló energiák elég pontos ismerete után kísérlelhetjük meg a kialakuló belső nukleon-gerjesztések, magdeformációk és kinetikus energiák eloszlásainak meghatározását.

A felszabaduló energiákat a különféle félempirikus tömegformulák alapján számolhatjuk. Tekintettel arra, hogy a hasadási fragmentek különleges állapotú és többnyire erősen deformált magok, a különböző tömegformulák, amelyeket elsősorban a stabil magok adataihoz illesztettek, elég jelentős eltérésekre vezethetnek. Myers és Swiatecki új félempirikus tömegformulája alapján a különböző fragmentpárok esetén felszabaduló energiát, és a felszabaduló energia maximális értékeinek megkereséséből az össztöltés fragmentek közötti legvalószínűbb megoszlását is meghatároztuk.

A Myers-Swiatecki tömegformula

Myers és Swiatecki a magok potenciális energiáját az N -neutron, Z -protonszám és a magalak függvényeként, a héjkorrekciókkal módosított cseppmodell alapján határozták meg. A héjkorrekciókat N és Z egyszerű függvényeként vették fel úgy, hogy az a deformáció növekedésével az egyre csökkenjen. Az így kapott hétparaméteres formula minimumainak megkeresése szolgáltatja az egyensúlyi deformáció és az alapállapotú magtömeg-értékeket. A félempirikus tömegformula paramétereit kísérletileg meghatározott 1200 magtömeg, 240 kvadrupól momentum és 40 hasadási küszöbértékhez való illesztésből határozták meg.

A részletek érintése nélkül - ezekben Myers és Swiatecki cikkére [1] utalunk - a feltételezett alakfüggő tömegformula a következő:

$$M(N, Z \text{ alak}) = M_n \cdot N + M_H \cdot Z + \text{térfogati energia} + \text{felületi energia} + \text{Cb energia} + \delta + S(N, Z) \exp \left\{ -(\delta R)^2 / a^2 \right\}$$

ahol

M_n -- a neutrontömeg,

M_H -- a hidrogénatom-tömeg,

térfogati energia = $-c_1 A$

felületi energia = $c_2 A^{2/3}$ (alak),

c_1 az egy részecskére jutó térfogati kötési energia, amit

$$c_1 = a_1 \left[1 - K \left(\frac{N-Z}{A} \right)^2 \right] \text{ alakban,}$$

c_2 pedig a felületi energia koefficiens: $c_2 = 4 \pi r_0^2 \sigma$ (σ magfelületi feszültség)

amit $c_2 = a_2 \left[1 - K \left(\frac{N-Z}{A} \right)^2 \right]$ alakban vettek fel.

a_1, a_2, K konstans paraméterek.

Az elektrosztatikus energiát a

$$\frac{3}{5} \cdot \frac{e^2}{r_0} \cdot \frac{Z^2}{A^{1/3}} \cdot g(a/ak) - \frac{\pi^2}{2} \cdot \frac{e^2}{r_0} \left(\frac{d}{r_0}\right)^2 \frac{Z^2}{A}$$

kifejezés szolgáltatja. Itt a második tag a töltéseloszlás diffúz levágását elsőrendben veszi figyelembe, d a Saxon-Wood eloszlás felületvastagság-paramétere. A számolásoknál $d = 0,5461$ fm-et használtak.

f a páros-páratlan korrekció: $\pm 11 A^{-1/2}$ a páros-páros, illetve a páratlan-páratlan magokra, egyébként 0.

$f(a/ak)$ - a kérdéses deformált magfelület és a deformálatlan gömbfelület hányadosa.

$g(a/ak)$ - a megfelelő deformált mag és a gömbi mag elektrosztatikus energiájának hányadosa.

$(\delta R)^2$ - a $R(\theta, \phi)$ radiuszvektor átlagos négyzetes eltérése az R_0 átlagértéktől.

Az utolsó három fenti mennyiség cseppmodell alapján jó közelítésben számolható.

A héjmodellnek megfelelő korrekciós tényező

$$S(N, Z) = C \left[\frac{F(N) + F(Z)}{(\frac{1}{2}A)^{2/3}} - cA^{1/3} \right]$$

ahol $F(N), F(Z)$ expliciten adott függvények [1], ezek fejezik ki a mag-nívóknak a héjszerkezetnek megfelelő "csomósodását" - az egyenletes nivósűrűségtől való eltérést.

Végeredményben a félempirikus formula említett paramétereit a következők:

$$a_1 = 15,677 \text{ MeV}$$

$$a_2 = 18,56 \text{ MeV}$$

$$c_3 = \frac{3}{5} \frac{e^2}{r_0} = 0,717 \quad / \text{ahonnan } r_0 = 1,2049 \text{ fm/}$$

$$K = 1,79$$

$$C = 5,8 \text{ MeV}$$

$$c = 0,26$$

$$\frac{a}{r_0} = 0,27$$

Eredmények

A különböző $(A_1, Z_1) - (A_2, Z_2)$ fragmentpárokra történő hasadásnál felszabaduló energia Cf-252 spontán, illetve U-235 termikus neutronokkal történő hasadása esetén:

$$Q(A_1, Z_1, A_2, Z_2) = M(U-236) - M(A_1, Z_1) - M(A_2, Z_2)$$

$$Q(A_1, Z_1, A_2, Z_2) = M(Cf-252) - M(A_1, Z_1) - M(A_2, Z_2)$$

Adott A_1, A_2 fragmentpár mellett a legvalószínűbb töltést Q maximumának megkeresésével jelöltük ki.

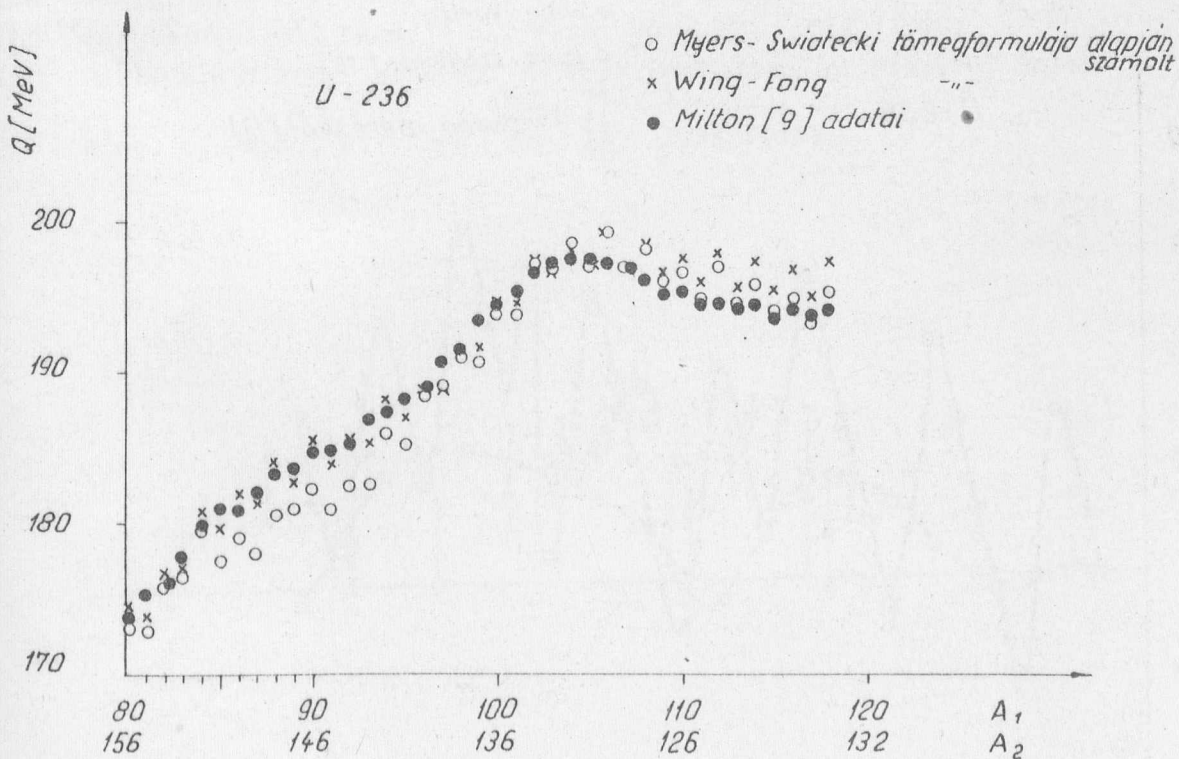
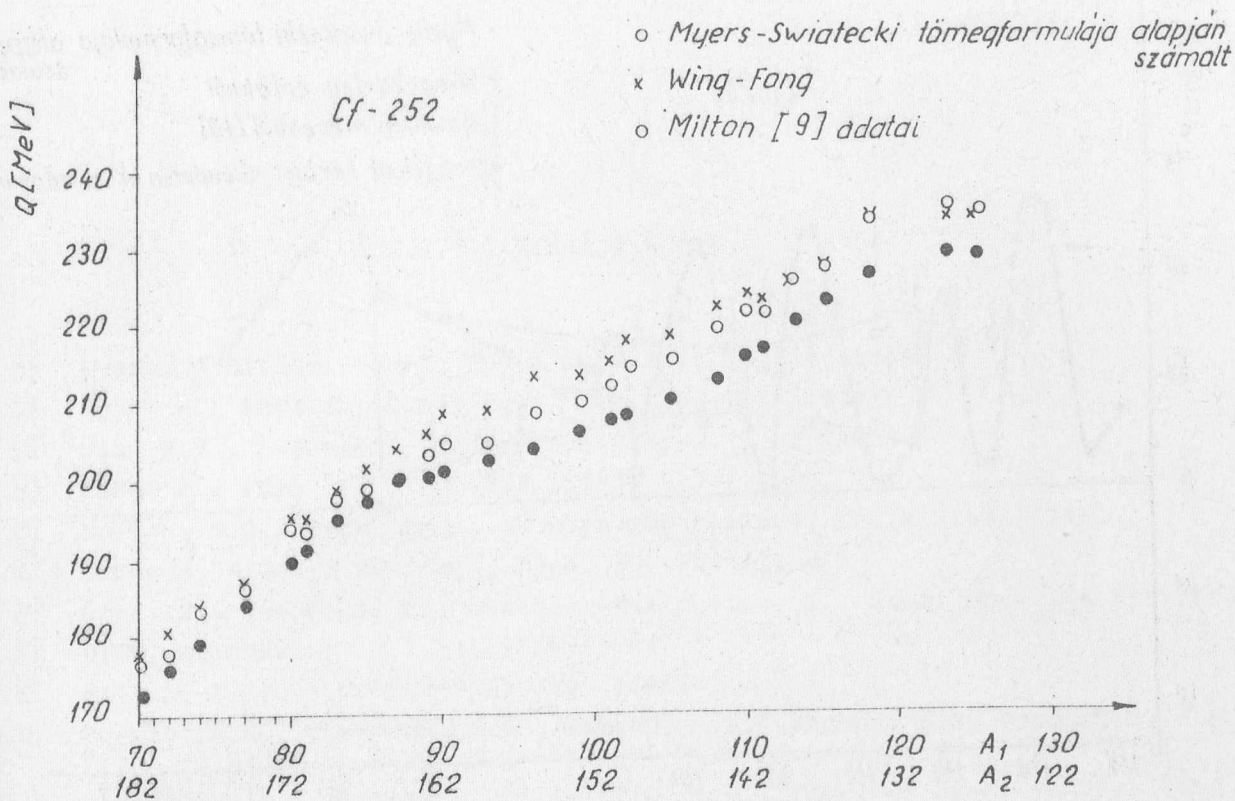
Wing és Varley [8], Wing és Fong tömegformula alapján számolták ki az $M(A, Z)$ értékeket. Az ő eredményeik alapján is kiértékeljük a felszabaduló energiákat és töltéseloszlásokat. A felszabaduló energiákra vonatkozó eredményeinket az 1., illetve 2. ábrán tüntettük fel. Ugyanitt ábráztuk Milton [9] számolt adatait is.

Látható, hogy a különböző tömegformulák használata a hasadásnál keletkező "különleges állapotú" - erősen neutron-többletes magokra esetenként igen jelentős eltérésekhez vezethet.

A 3-4. ábrán a maximális energia-felszabadulás elve alapján meghatározott legvalószínűbb töltésnek az egyenletes töltésmegoszlástól való eltérését tüntettük fel. Összehasonlításként ábráztuk a jelenleg radiokémiai, fragment-röntgensugárzás és β -bomlás mérésekből rendelkezésünkre álló töltéseloszlás adatokat [10-14]. Az eltérésekből vagy egyezésekből a nehéz kísérleti körülmények és megfelelő elméleti leírás hiánya miatt csak tájékoztató következtetéseket vonhatunk le.

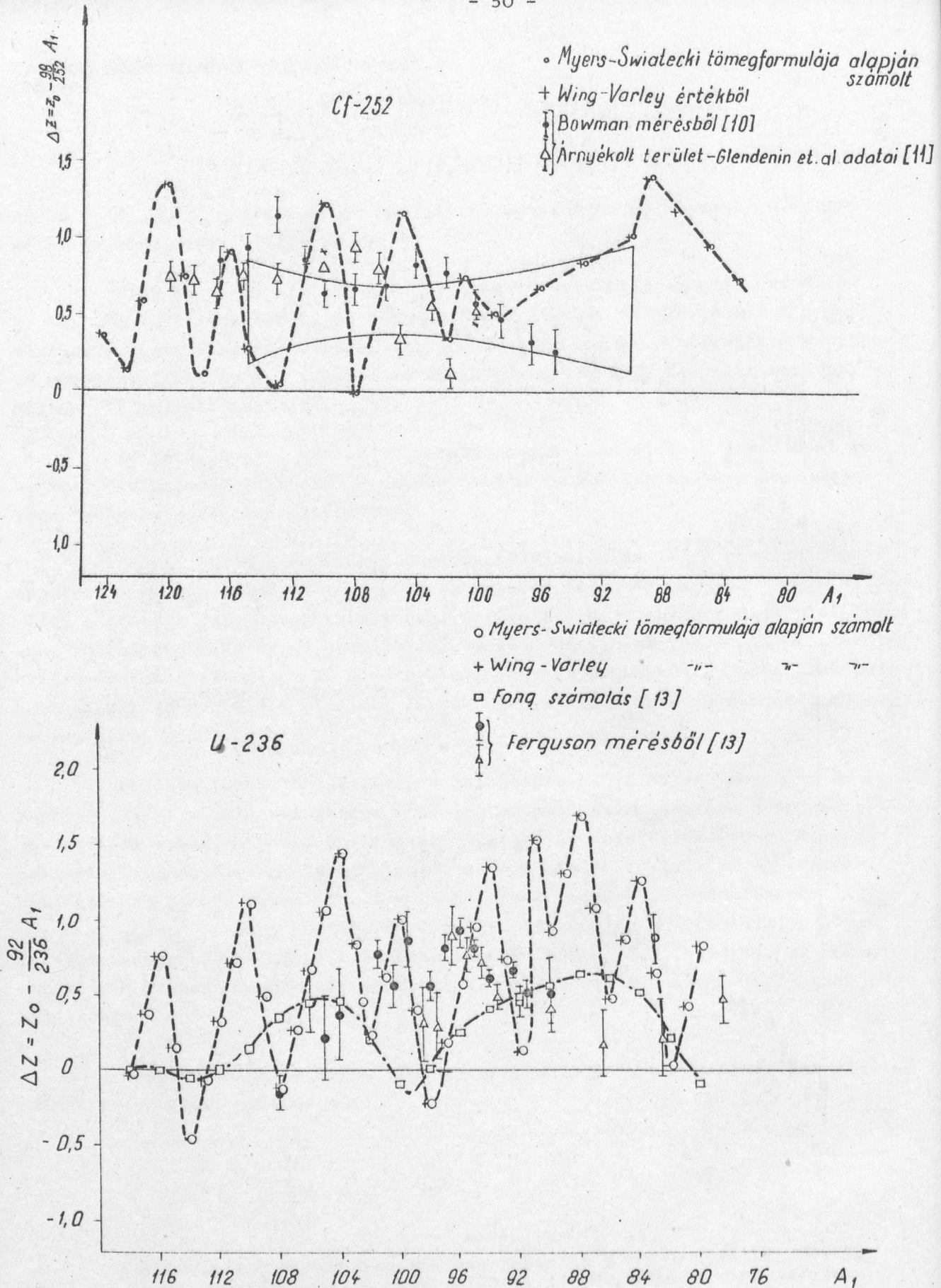
Közleményünk előkészítésének befejezése előtt jelent meg Wing és Fong munkája [15], akik statisztikus modellen alapuló számolásokban a fragmentgerjesztési energiák összegének minimalizálásával határozták meg a töltéseloszlást. Eredményeink meglehetősen jól egyeznek az ő adataikkal. A töltéseloszlásban mutatkozó egyes "csucskok" a héjefektusoknak tulajdoníthatók, különösen a ${}_{50}^{132}\text{Sn}_{82}$ zárt konfiguráció hatása látható. A töltéseloszlás ilyen "finom" szerkezetének igazi megértése azonban még a jövő feladata, az eddigi eredmények meglehetősen ellentmondásosak, és csupán tájékoztató lépéseknek tekinthetők.

Köszönetünket fejezzük ki Vasáros Lászlónénak a numerikus számolási munkákban nyújtott segítségéért.



1-2. ábra

Cf-252, illetve U-235 + termikus neutron hasadáskor felszabaduló energiák tömegfüggése. Myers és Swiatecki, illetve Wing és Fong tömegformulája alapján számolva, továbbá Milton [9] adatai.



3-4. ábra

Cf-252, illetve U-235 + termikus neutron hasadásakor a legvalószínűbb töltés eltérése az egyenletes töltéseloszlástól

I r o d a l o m

- [1] Myers, W.D., Swiatecki, W.J.: Nucl.Phys. 81, 1 /1966/
- [2] Bohr, N., Wheeler, I.A.: Phys. Rev. 56, 426 /1939/
- [3] Nix, J.R., Swiatecki, W.J.: Nucl. Phys. 71, 1 /1965/
- [4] Fong, P.: Phys. Rev. 89, 332 /1953/
- [5] Newton, T.D.: Proc. Symp. on Phys. of Fission, Chalk River 1956.
- [6] Cameron, A.G.W.: Rev. Mod. Phys. 30, 553 /1958/
- [7] Erba, E., Facchini, U., Saetta - Menichella, E.: Nucl. Phys. 84,595 /1966/
- [8] Wing, J., Varley, J.: ANL 6886 /1964/
- [9] Milton, J.C.D.: UCRL - 9883 Rev. /1962/
- [10] Bowman, H.R., Thompson, S.G., Watson, R.L., Kapoor, S.S. Rasmussen, J.O.: Proc. of Symp. on Phys. and Chem. of Fission, Salzburg, 1965, Vol.II.
- [11] Glendenin, L.E., Unik, J.P., Griffin, H.C.: Proc. of Symp. on Phys. and Chem. of Fission, Salzburg, 1965, Vol. I.
- [12] Ferguson, I.M., Read, P.A.: Phys. Rev. 139 B 56 /1965/
- [13] Ferguson, I.M., Read, P.A.I Phys. Rev. 150, 1018 /1966/
- [14] Wahl, A.C.: Proc. of Symp. on Phys. and Chem. of Fission, Salzburg, 1965, Vol. I.
- [15] Wing, J., Fong, P.: Phys. Rev. 157, 1038 /1967/

Érkezett: 1967.nov. 21.

KFKI Közl. 16.évf. 1.szám, 1968

A REAKTOR PRIMÉR VIZKÖRÉBEN TALÁLHATÓ ^{131}I MEGHATÁROZÁSA

Irta: Csada Imréné és Erdeyné-Schneer Anna^{x/}

Összefoglalás

A reaktor primér vizkörében meghatároztuk az összes jód- és ^{131}I -tartalmat. Értékét néhány ppb, illetve 10^{-4} $\mu\text{C/ml}$ -nek találtuk.

A magyar VVR-Sz reaktor működése közben a hűtővizben keletkező néhány izotóp vizsgálatával már foglalkoztunk [1].

Ez alkalommal az összes jód és ^{131}I meghatározása során nyert eredményeinket kívánjuk röviden ismertetni.

A jód meghatározásának elve:

Összes jód

A NaOH jelenlétében betöményített vízben klóros oxidáció hatására keletkezett jodátból KI hozzáadásával kivált hatszoros mennyiségű jódot $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -tal mértük.

^{131}I

A jódot CCl_4 -dal extraháltuk, aszkorbinsavval redukáltuk, és az összes jodidot vízzel reextraháltuk. A gamma-spektrometriás mérés a vizes fázisból történt.

A méréseket KFKI gyártmányú 256 csatornás amplitudóanalizátorral 3x3,5 inches, Gamma által gyártott, 8,5 %-os energiafelbontású NaI/Tl/ kristály segítségével végeztük. A kvantitatív kiértékelés standarddal való összehasonlítás útján történt. A ^{131}I etalon az u.n. Mock / ^{133}Ba + ^{137}Cs / volt, aktivitása a mérések időpontjában 21,5 μC . A mérés egy 40x40x45 cm belső méretű, 50 mm falvastagságú ólommal határolt térségben történt. A Mock és a minták a méréskor 30 cm távolságban voltak elhelyezve a szcintillációs detektortól.

^{x/} MTA Szervetlen Kémiai Kutató Csoport

Eredményeink egy részét az I. táblázatban tüntetjük fel:

I. táblázat

A reaktorviz összes jód- és ^{131}I -tartalma

Sorszám	Mintavétel időpontja	Mérés	Összes jód ppm	^{131}I aktivitás 10^{-5} $\mu\text{C}/\text{ml}$
1.	IX.15.	IX.21.	-	2,5
2.	IX.19.	IX.22.	-	5,4
3.	IX.21.	IX.22.	-	6,5
4.	X.3.	X.7.	-	27
5.	X.6.	X.12.	-	16
6.	X.10.	X.17.	0,008	13
7.	X.12.	X.19.	0,008	11
8.	X.17.	X.19.	0,010	7,7
9.	X.20.	X.28.	0,037	6,0
10.	X.31.	XI.15.	-	109
11.	XI.8.	XI.15.	0,007	38
12.	XI.14.	XI.17.	0,007	29

Eljárás

Összes jód vizsgálata

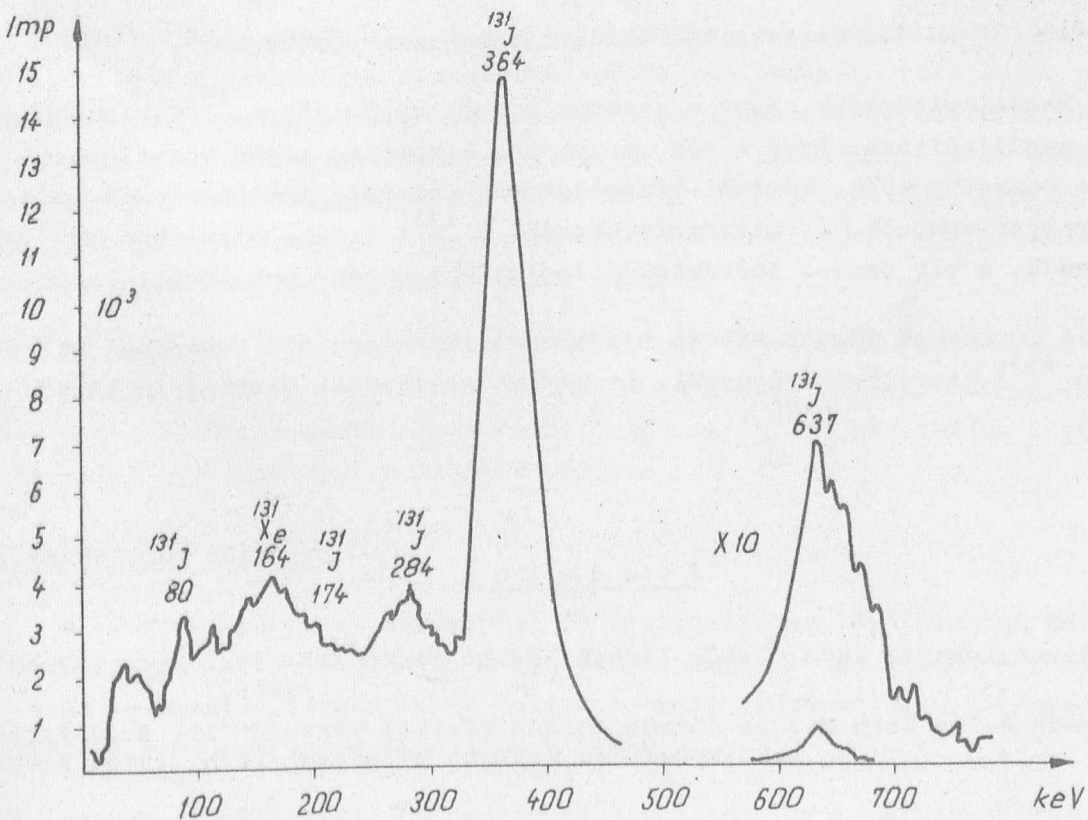
5 l vizet 1-2 szemcse NaOH-dal platina tálban kb. 50 ml-re bepároltunk. Metilnarancs jelenlétében 10 %-os kénsavval semlegesítettük, 2,3 ml 0,1 n sósav hozzáadása után frissen készített klórosvízzel oxidáltuk a jodidot jodáttá. A klór fölöslegét kiforraltuk, majd a lehült oldathoz 5 ml foszforsavat és kb. 0,2 g KI-ot adtunk. Sötét helyen 5 percig állni hagytuk, majd keményítő jelenlétében 0,005 n $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ -tal megtitráltuk. Egyidejűleg kb. 2 μS vezetőképességű víz 50 ml-ével és az összes alkalmazott vegyszerekkel vakpróbát készítettünk. A vakpróbára általában 0,2 ml 0,005 n $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ fogyott, feleannyi, mint a több liternyi betöményített reaktorvizre.

^{131}I vizsgálata

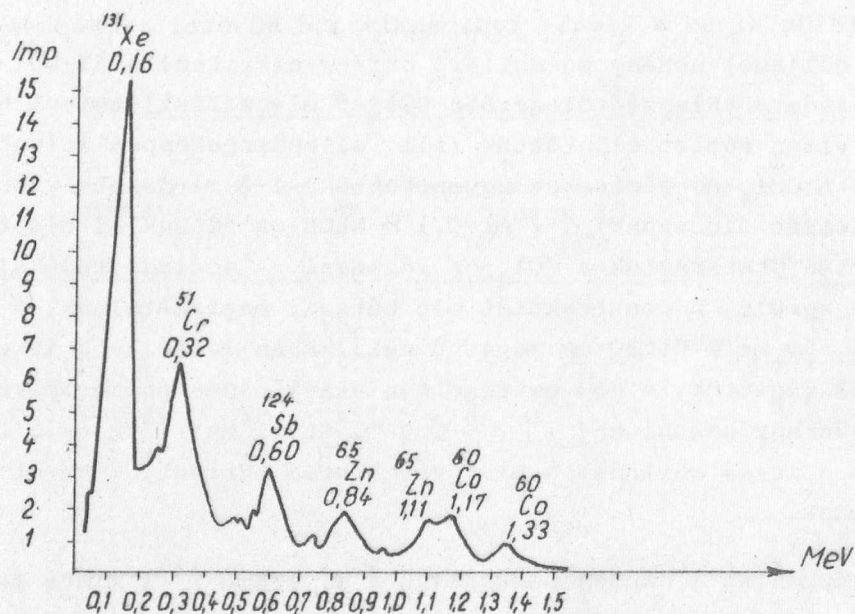
1 liter reaktorvizet 1 ml 0,05 ml KI-oldattal /6,35 mg I_2 / és egy szemcse szilárd NaOH hozzáadásával platinaacsészében kb. 30 ml-re bepároltunk. A lehült oldatot metilnarancs jelenlétében 10 %-os kénsavval semlegesítettük, 1-2 ml n HCl hozzáadása után frissen készített klórosvízzel oxidáltuk. A klór

fölöslegét melegítéssel kiűztük. A kihűlt oldathoz 6 ml 0,05 mól KI-ot adtunk, melyből a klóros oxidációban keletkezett jódát felszabadította az elemi jód. A fölös KI és a kivált radioaktív jód közötti izotópcse-re meggátolása céljából néhány mg szilárd kálium-nitrittel a KI-ből is szabaddá tettük a jódot, választótölcsérben CCl_4 5 ml-es részleteivel háromszor extraháltuk. A vizes fázist elöntöttük /ill. ellenőrzésképpen felvettük gamma-spektrumát/. A CCl_4 -os fázisokat egyesítettük, 1-2 ml deszt. vízben kb. 30 mg aszkorbinsavat oldottunk, 1-2 ml 0,1 n NaOH-ot adtunk az oldathoz, és választótölcsérben összeráztuk a CCl_4 -os fázissal. A jodiddá redukálódott jód a vizes fázisba került. A reextrakciót még kétszer megismételtük. A mérést vizes fázisból kb. 50 mm ϕ és 30 mm magas üvegtálkában legfeljebb 10 mm vastag folyadékréteggel végeztük. A jód extrakciója utáni oldat gamma-spektrumában, előző közleményünkhöz hasonlóan [1] , ^{51}Cr , ^{124}Sb , ^{54}Mn , ^{65}Zn és ^{60}Co foto-csucsait, és ha a mérés röviddel a mintavétel után történt, ^{24}Na -ot is sikerült azonosítanunk.

Példaképpen az 1. ábrán bemutatjuk a 4. számú ^{131}I minta és a 2. ábrán a 10. számú minta vizes oldatának gamma-spektrumát. Láthatjuk, hogy a gamma-spektrumok alapján Xe jelenlétével is számolnunk kell.



1. ábra ^{131}I gamma-spektruma



2. ábra

A jód extrakciója utáni oldat gamma-spektruma

Megállapíthatjuk, hogy a reaktor primér hűtővizében ^{131}I kimutatható, de annak megállapítása, hogy a jód mennyisége kizárólag a jód termelésével hozható-e összefüggésbe, további vizsgálatokat igényel. A témával más szempontból magyar szerzők [2] már foglalkoztak. A ^{131}I értéke általában 10^{-4} $\mu\text{C}/\text{ml}$ nagyságrendű, a víz összes jódtartalma legfeljebb néhány ppb körüli érték.

A méréseket Németh András tudományos munkatárs állította be, akinek részére a ^{131}I kinyerését végeztük, és akinek segítségét ezuttal is köszönjük [2].

I r o d a l o m

- [1] Erdeyné-Schneer Anna, Csada Imréné, Szabó Elek: KFKI Közl. 14, 245-257 /1966/
- [2] Németh A. és Tóth M.: Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat II. Sugárfizikai Szimpóziumán tartott előadása /Pécs, 1966. szept./

Érkezett: 1967. okt. 6.

KFKI Közl. 16.évf. 1.szám, 1968.

SZEMÉLYI GYORSNEUTRON DÓZISMÉRÉS KODAK NTA FILMMEL

Irta: Békés Mártonné

Összefoglalás

Intézetünkben 1964 óta végzünk rendszeres gyorsneutron személyi dózismérést. Az alkalmazott Kodak NTA nyom-film 0,05-10 rem és 0,5-14 MeV dózis-ill. energiahatárok között teszi lehetővé a dózismeghatározást, feltéve, hogy a gamma-besugárzás nem haladja meg az 1 R-t. Megvizsgáltuk a film energia-és szögfüggését, valamint fadingjét. Beszámolunk a rutinvizsgálatok tapasztalatairól.

Bevezetés

Reaktorok, gyorsítók és radioaktív neutronforrások környezetében dolgozó személyek gyorsneutron dózisterhelésének munkaszinten való rutin mérése napjainkban majdnem kizárólag magemulziós nyom-film módszerrel történik. Bár a nyom-film módszer meglehetősen szűk korlátokkal rendelkezik mind energia, mind dózistartomány szempontjából, és a mérési bizonytalanság kedvezőtlen esetben a 100%-ot is elérheti, világszerte alkalmazzák érzékenysége, egyszerűsége és nem utolsó sorban olcsósága miatt [1-5]

Az amerikai Kodak cég által gyártott NTA típusu nyom-film - celluloid alagra öntött kb. 30 μ vastag magemulzió, 3x4 cm-es, papirba csomagolt darabokban - jól bevált személyi doziméter, ezért mi is ezt használjuk Intézetünkben személyi gyorsneutron dózismérés céljára.

A nyomszámlálás módszere

A gyorsneutronok az emulzióban és környezetében lévő hidrogénmagokat rugalmas ütközés során meglökkik. A meglökött protonok utjuk mentén ionizálnak és az emulzióban látens képet keltenek, mely előhívás után - megfelelő nagyításnál - nyomok formájában lesz látható.

Azonos energiaeloszlású neutronok a dózissal arányos nyomsűrűséget /nyom/felületegység/ keltenek az emulzióban.

A dózis-nyomsűrűség viszony energiafüggése adott összetételű emulzióban két tényezőtől tevődik össze. Egyrészt energiafüggő a nyomkeltés valószínűsége - vagyis, hogy egy beeső neutron hány nyomot kelt. Másrészt függ az energiától az egységnyi neutronfluensre /neutron/cm²/ eső rem-ben mért ekvivalensdózis is.

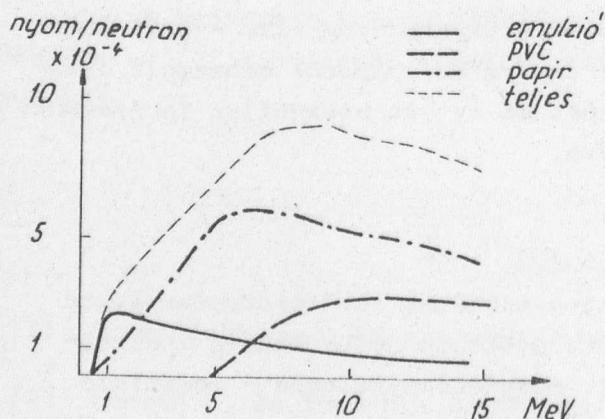
A nyomkeltés energiafüggésének számítását Cook és Deme [6, 7] nyomán végeztük el az általunk használt doziméterelrendezésre, melynél a gyári papircsomagoláson kívül egy PVC fólia is radiátorként szerepel. /A PVC csomagolás védi a filmet a nedvességtől, biztosított hegesztve bele pedig ruhára tűzve viselhető a nyom-film./

A számításnál a következő adatokból indultunk ki:

az emulzió vastagsága:	9,7 mg/cm ²
a papir "	23,6 "
a PVC "	26,0 "
az emulzió hidrogéntartalma:	9,7 · 10 ¹⁸ H atom/mg [8]
a papir "	3,7 · 10 ¹⁹ "
a PVC "	2,9 · 10 ¹⁹ "
a kimutatható minimális energia:	0,5 MeV.

0,5 MeV alatti energiájú neutronok kimutatása csak nagy bizonytalansággal történhet, mivel a keltett protonok csak rövid, 1-3 szemcséből álló nyomot hoznak létre az emulzióban, ezek pedig könnyen összetéveszthetők a háttérszemcsékkel.

A számított görbék az 1. ábrán láthatók. Három részgörbéből tevődik össze a "teljes" hatásfokgörbe.



1. ábra

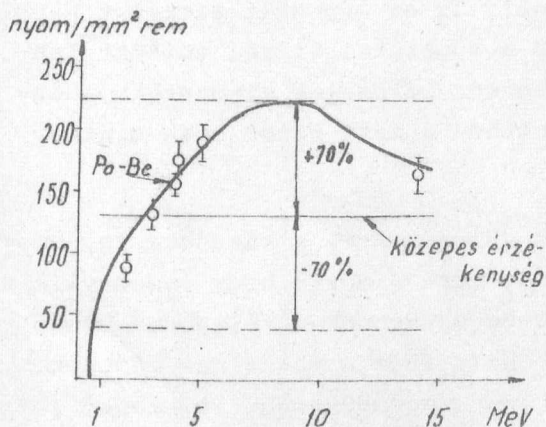
A nyomkeltés valószínűségének energiafüggése

- 1/ Az emulzióban meglökött összes protont nyomok formájában észleljük, ennek következtében a nyomok száma - 0,5 MeV küszöbenergia felett - a protonszórás hatáske-resztermzetével lesz arányos.
- 2/ A radiátorban /papircsomagolás/ meglökött protonok közül csak azokat észleljük, melyek az emulzióba eljutva ott 0,5 MeV-nél nagyobb energiát adnak le. Az emulzió mellett elhelyezkedő vastag radiátorból annál több proton jut el az emulzióig, minél nagyobb a

meglökött protonok hatótávolsága. Ha a radiátor már nem telítési vastagságu a meglökött protonok szempontjából, akkor a meglökött protonok száma a neutronenergia növelésével csökken.

- 3/ A második radiátor /PVC/ hatása csak olyan nagy neutronenergiáknál érvényesül, melyeknél a keletkezett protonok lefékezés után még $> 0,5$ MeV energiával rendelkeznek az emulzióban.

Mivel eredményeinket ekvivalensdózisban célszerű megadni, figyelembe kell vennünk az egységnyi neutronfluensre vonatkoztatott rem-dózis energiafüggését is, melyet az érvényben lévő megengedhető fluxusértékekből számíthatunk ki [9]. Az így nyert érzékenységgörbe /nyomsűrűség/rem az energia függvényében/ látható a 2. ábrán.



2. ábra

Ekvivalens-dózisra vonatkoztatott energiafüggés

Végül Po-Be neutronforrással végeztük a legtöbb besugárzást, a rutinhitelesítéseket és a következőkben leírt egyéb vizsgálatokat is.

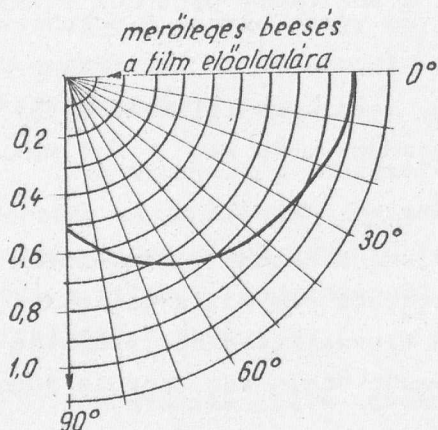
Az ábrán a mérési pontokhoz húzott függőleges vonalak a háromszoros statisztikus hibát jelölik.

Mint látható, a módszer energiafüggése jelentős, különösen az alsó energiaszakaszon. A gyakorlati személyi dozimetria szempontjából nem jöhet számításba az a lehetőség, hogy a neutronok energiáját a nyomok hosszából és szögeloszlásából határozzuk meg.

Ha ismeretlen a neutronok energiája, közepes érzékenységet véve alapul, 0,8 és 14 MeV között $\pm 70\%$ -os pontossággal tudjuk az ekvivalensdózist meghatározni. Az esetek nagy részében azonban ismerjük a besugárzó forrást, így ennek átlagenergiája ismert módszerekkel meghatározható [10].

A folyamatos görbe mellett feltüntetett pontok mérési eredmények. Néhány energián ellenőriztük a számított energiafüggést. Az alábbi neutronforrások álltak rendelkezésünkre. A 2-5 MeV közötti szakaszon az EG-2-es gyorsítóval, $D/d, n/{}^3\text{He}$ reakcióval állítottunk elő monoenergetikus neutronokat. A neutronfluxust energiafüggetlen "Long Counter"-rel határoztuk meg [10], melyet standard neutronforrásokkal kalibráltunk. $T/d, n/{}^4\text{He}$ magreakció segítségével állítottunk elő 14 MeV-os neutronokat a K-200-as neutrongenerátornál.

Mindez természetesen arra az ideális esetre vonatkozik, mikor a neutronok merőlegesen esnek a film síkjára. A 3. ábrán Po-Be neutronokkal besugárzott nyom-film szögfüggése látható. Mint kitűnik, párhuzamos beesésnél azonos dózis mellett, a nyomoknak csak mintegy fele észlelhető ugyanakkora felületen. A szögfüggés energiatfüggő, mégpedig csökkenő energiával a hatás növekszik [11]. Utóbbi szerző a kalibrálásnál egy 0,75-ös korrekciós faktort javasol annak elkerülésére, hogy a dózist alábecsüljük, ha a filmet merőlegestől eltérő irányu besugárzás érte.



3. ábra

A nyomsűrűség szögfüggése Po-Be neutronok esetében

1/10-e a szemből kapott eredménynek.

Ugyancsak fantomos kísérletek adtak választ arra a kérdésre is, hogy az általunk esetenként megbecsült - felszínen mért - dózis hogy viszonylik a testben elnyelt átlagos neutron dózishoz. Po-Be neutronok merőlegesen beeső széles nyalábja esetén, az átlagos elnyelt dózis fele a felszínen mértnek. A test visszaszóró hatása kb.20%-kal növeli meg a nyomsűrűséget a szabad levegőben besugárzott filmhez viszonyítva.

Az NTA filmmel kimutatható alsó dózishatár az átvizsgált felület nagyságától függ, és 20-100 mrem a különböző szerzőknél. Figyelembe véve a maximálisan megengedett dózisszinteket, ez megnyugtató érték. A felső dózishatár 10-20 rem, mely semmi módon nem terjeszthető ki, mivel a nagy nyomsűrűség a szokásos nagyítás mellett teljesen áttekinthetetlené teszi a képet, és a nyomszámlálás bizonytalanná válik.

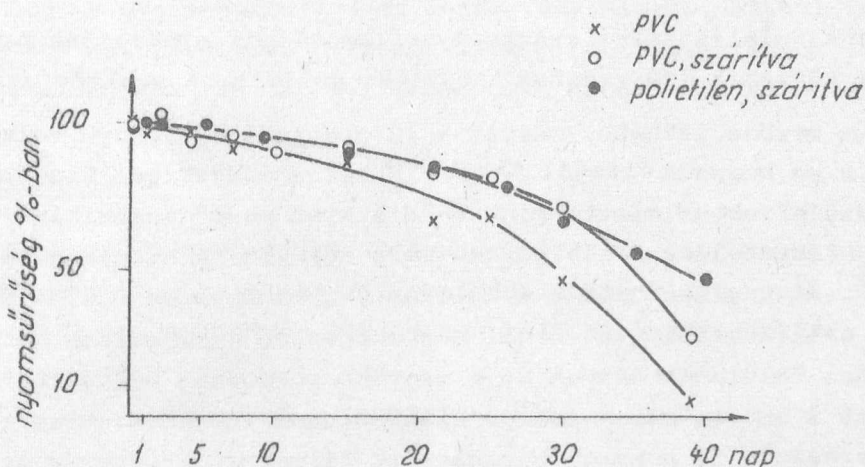
10 rem-nél nagyobb neutron dózisok kimutatására az u.n. baleseti dózismérő szolgál [12]. Az ebben elhelyezett kén és foszfor küszöbdetektorok a gyorsneutronok dózisértékét a gamma-sugárzástól függetlenül mérik felső dóziskorlát nélkül.

Sok esetben a neutronsugárzást gamma-sugárzás kíséri. A gamma-sugarak megfeketítik a filmet, a nagyított képen ez apró fekete pontok alakjában jelentkezik. Méréseink szerint, ha a nyom-filmet > 500 mR kemény gamma-besugárzás éri, a sok háttérszemcse már erősen zavarja a nyomszámlálást. 5 R-nél pl. az észlelhető nyomok száma kb. a felére csökken, 20 R gamma-háttér

mellett pedig a nyomokat felismerni már lehetetlen. Tekintve, hogy az emulzió lágy gamma-sugárzásra sokkal érzékenyebb, mint keményre, a zavaró hatás itt fokozottabban érvényesül.

A látensképfakulás - fading - jelensége a mérés megbízhatóságát erősen csökkentheti [13]. A nyomokat alkotó szemcsék az idő folyamán a légnedvességtől és hőmérséklettől függően elhalványodnak, majd a nyom felismerhetetlen lesz. Kedvezőtlen körülmények között, pl. közel 100% rel. légnedvesség és szobahőmérséklet mellett, egy hét alatt eltűnt a nyomok fele. Ha a besugárzott filmeket hűtőszekrényben tároljuk, a fading egy hónap alatt mindössze 10%. A PVC csomagolás a fadinget csökkenti.

Egyes szerzők [14] javasolják a filmek kiszáritását, majd polietilénbe csomagolását a fading csökkentése érdekében. Kipróbáltuk a módszert polietilén és PVC fóliával is. A 4. ábrán láthatók az eredmények. Csomagolás előtt



4. ábra
Nyom-filmek fadingje

néhány napig exsikkátorban tartottuk a filmeket. Párhuzamosan mértük a ki nem szárított filmek fadingjét is. A besugárzás után a filmeket szobahőmérsékleten, 50-70 % relatív páratartalom mellett tároltuk. Az ábráról kitűnik, hogy egyrészt a polietilén nem jobb a PVC-nél - tokozás szempontjából viszont rosszabb annál - másrészt a kéthetes hordási periódus alatt alig van különbség a kiszáritott és normál körülmények között tárolt filmek között.

Megvizsgáltuk, hogy különböző klimatikus körülmények között /pl. télen, szabadban és fűtött helyiségben/ mekkora a fading. E célból besugároztunk filmeket, és két hétre kiosztottuk neutronforrástól távol dolgozó személyek között. Az átlagos nyomcsökkenés erre az időtartamra 35% volt. Ha tehát a kérdéses film expozíciójának ideje ismeretlen, átlagosan 20%-kal becsüljük alá a fading következtében a dózist.

Rutinvizsgálatok, tapasztalatok

Intézetünkben 1964 óta végzünk rendszeres személyi gyorsneutron ellenőrzést 50-60 személynél, kéthetes periódusokban.

A filmeket frissen készített előhívóban hívjuk elő, melynek összetétele:

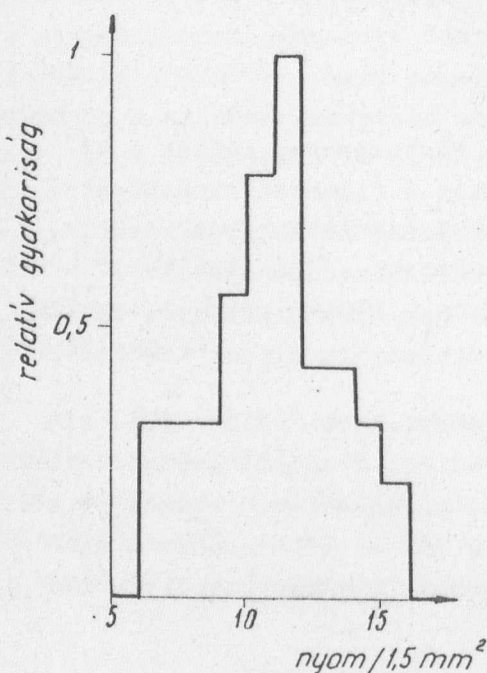
bórsav	35 g	
nátriumszulfid	16 "	
káliumbromid	0,8 "	
amidol	3,5 "	1 liter vízre.

Az előhívás a filmek érzékenységét nem befolyásolja, ezért csak új filmszéria használatbavételekor készítünk hitelesítő sorozatot. /Az egyes szériák emulzióvastagsága eltérhet egymástól./

A nyomszámlálás Zeiss gyártmányú "Lanaméter" elnevezésű projekciós mikroszkóppal történik, 1000-szeres nagyítás mellett. A vetítőernyőn a film 100x100 μ^2 -os mezője látható, melyet a tárgyasztal egyirányú folyamatos mozgatásával, 1,5 mm hosszon vizsgálunk át. Ezzel a módszerrel kisebb hibát követünk el a széleffektus miatt, mint a "diszkrét mező" technikával [15]. Egy-egy film kiértékelése 10-15 percet vesz igénybe. A háttér átlagosan 2 nyom/1,5 mm². Amennyiben ezen a felületen a nyomok száma ≤ 5 , a dózis a kimutathatóság határa alatt van. 5-nél nagyobb számú nyom esetén kétszer, vagy többször ekkora felületet nézünk át a nagyobb pontosság kedvéért. Ilymódon pl. 50 mrem-et 3 mm²-en már $\pm 10\%$ -os biztonsággal tudunk kimutatni. Az 5. ábrán Po-Be forrással, 50 mrem-el besugárzott filmek nyom-sűrűség gyakorisága látható. Az eloszlást 25 film 65 mm²-nyi felületének átvizsgálásával állapítottuk meg.

A filmeket mélynyomású sorszámozógéppel jelöljük meg, így a papirborításon és az előhívott filmen is egyértelműen látható az azonossági szám, a filmek felcserélése tehát kizárt.

A hároméves tapasztalatok azt mutatják, hogy a sugárvédelmi helyzet ezen a téren is megnyugtató Intézetünkben. Mindössze néhány esetben találtunk kimutatható dózist a filmekben, ez azonban egyszer sem haladta meg a megenged-



5. ábra Nyomszám-eloszlás 50 mrem-nél.

hető szintet. Említésre méltó, hogy az esetek gyorsítók, illetve neutronforrások környezetében történtek, a reaktoroknál egyszer sem észleltünk kimutatható dózisterhelést. Felvetődött ennek kapcsán az a kérdés, hogy vajon a VVR-Sz reaktor vízszintes csatornáin kilépő, és a csatornák külső védelmében moderált hasadási neutronokra megfelelően érzékeny-e filmünk. Ezért a 3.sz. vízszintes csatorna külső védelmére helyeztünk nyom-filmeket /legvalószínűbb tartózkodási hely/ és különböző ideig exponáltuk azokat nyitott csatorna mellett.

Az eredmények azt mutatták, hogy kb. 400 mrem-ig a film kiértékelhető és az érzékenységgörbe lineáris - nem sokkal tér el a Po-Be neutronokétól - e fölött az érték fölött azonban a gamma-háttér / > 1 R / már elrontja a linearitást, és a nyomszámlálást nagyon zavarja.

Miután a reaktor különböző helyein több alkalommal végzett méréseink kimutatták, hogy a gyorsneutron/gamma dózisarány kisebb, mint 1, a nyomszámlálást a reaktor környezetében dolgozók nyom-filmjein csak akkor végezzük el, ha gamma-béta filmjükön [16] a havi gammadózis meghaladja az 50 mR-t.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom Fehér Istvánnak és Deme Sándornak munkám támogatásáért, Medveczky Lászlónak /ATOMKI/ hasznos tanácsaiért, valamint Dénes Györgynének és Klemm Andornak a mérésekben való közreműködésükért.

I r o d a l o m

- [1] Cheka, J.S.: Nucleonics 12/6 40 /1954/
- [2] Watson, E.C.: HW-21552
- [3] Amadesi, P. et al.: Minerva Nucleare 5, 323 /1961/
- [4] Hagsgard, S., Widell, C.O.: Neutron Dosimetry, Vol.II. 249, IAEA, Vienna, 1963.
- [5] Piesch, E.: Atompraxis 9, 179 /1963/
- [6] Cook, J.E.: AERE-HP/R 2744
- [7] Deme S.: Kandidátusi értekezés /1967/
- [8] Lehman, R.L. UCRL-9513
- [9] NBS Handbook 75, 62 /1961/
- [10] Makra Zs.: KFKI Közl., 14, 49 /1966/
- [11] Kathren, R.L. et al.: Health Physics 11, 1067 /1965/
- [12] Békés M-né, Deme S.: KFKI Közl., 12, 247 /1964/

- [13] Becker, K.: Atomkernenergie 8, 74 /1963/
- [14] Wright, C.N., Butler, H.L.: Nucleonics 24/7 6 /1966/
- [15] Marshall, T.O., Stevenson, G.R.: Neutron Monitoring, IAEA, Vienna, 1967,
549.
- [16] Békés M-né, Makra Zs.: KFKI Közl., 9, 251 /1961/

Érkezett: 1967. szept. 29.

KFKI Közl. 16.évf. 1.szám, 1968.

LEKÉPEZÉS A HULLÁMFRONT REKONSTRUKCIÓ MÓDSZERÉVEL

Irta: Jánossy Mihály

Összefoglalás

A holográfia alapelvét tárgyaljuk, majd a leképezés gyakorlati megvalósításának technikai problémáival foglalkozunk. Ismertetjük a kísérleti elrendezést, amellyel hologramfelvételt készítettünk.

Bevezetés

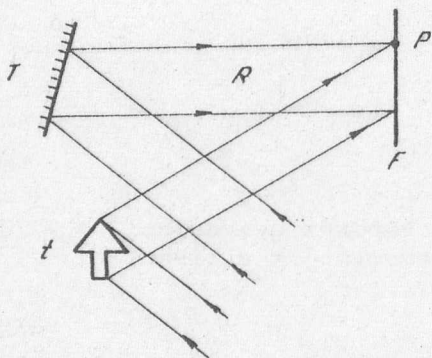
A hullámfront rekonstrukció módszere, amit holográfiának neveznek, Gábor Dénestől származik /1948/ [1].. Ez a leképezési módszer ma a koherens fényt sugárzó laser fényforrások révén számos alkalmazási lehetőséget nyújt mind a tudományos kísérletekben, mind a gyakorlati élet területén [2-4] . Ezért célszerűnek látszott a hologramfelvételek problémáinak megvizsgálása és a kísérleti technika elsajátítása céljából alapkísérleteket végezni az optikának ezen a teljesen új területén.

Alapelv

A hullámfront-rekonstrukciós leképezés két lépésben történik. Az első lépésben koherens fénnel világítjuk meg a tárgyat, és a tárgyról szóródó fényre egy koherens referenciahullámot szuperponálunk. A két hullám interferenciája révén keletkező bonyolult szerkezetű képet rögzítjük oly módon, hogy a fényképezőlemez egyszerűen a fényhullámok útjába helyezzük. Ez a "fénykép" a hologram, s a hologram elegendő információt tartalmaz ahhoz, hogy a tárgy háromdimenziós képét rekonstruálni tudjuk. Koherens fény hullámfrontját egyértelműen megadhatjuk, ha egy sík minden pontjában ismerjük a hullámok amplitudóját és fázisát. A fényképezőlemez feketedése bizonyos tartományban az intenzitással arányos, amely így az amplitudó négyzetét rögzíti, a fázisok rögzítése a koherens referenciahullám segítségével történik úgy, hogy ahol a tárgyról szórt hullámok és a referenciahullám fázisa azonos, interferenciamaximumok, ahol ellentétes, interferenciaminimumok lépnek fel. A közbenső fáziskülönbségeknek valamilyen közbenső intenzitásérték felel meg. Ilyen módon a fény-

képezőlemezen a tárgyról szórt fény által adott intenzitáseloszlást interferenciacsik-rendszer modulálja, amely a hullámok relatív fázisának felel meg. Ezzel elegendő információt rögzítünk a tárgy háromdimenziós képének rekonstruálására.

Legyen $ae^{i\psi}$ a tárgyról szóródó hullám, $Ae^{i\phi}$ a referenciahullám, ahol a és A a hullámok amplitudóját ψ és ϕ pedig a fázisokat jelöli a hologram síkjának valamilyen P pontjában /1. ábra/.



1. ábra

A leképezés első lépése a hologram elkészítése. t tárgy, R referencianyaláb, F fényképezőlemez, amelyen a hologramot rögzítjük, T tükör.

A referenciahullámban $A = \text{const}$ és $\phi = \text{const}$, a tárgy hullámban az $a(P)$ amplitudó és a $\psi(P)$ fázis értéke természetesen függ a P pontnak a helyzetétől.

Az eredő hullám:

$$u = ae^{i\psi} + Ae^{i\phi}$$

A fényképezőlemez az I intenzitást rögzíti:

$$I = |u|^2 = a^2 + A^2 + Aae^{i(\psi-\phi)} + Aae^{-i(\psi-\phi)}$$

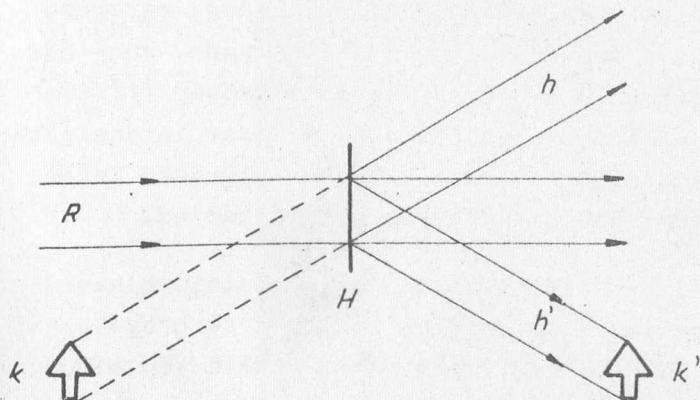
A leképezési folyamat második lépésében a fényképezőlemez előhívása után a hologramból a tárgyról jövő eredeti hullámot rekonstruáljuk oly módon, hogy a hologramot egyedül a referencianyalábbal világítjuk át. A fényképezőlemez transzmissziója, τ , arányos az I intenzitással:

$$\tau = \gamma I, \text{ ahol } \gamma = \text{konst.}$$

igy a hologram átvilágításakor kapott U hullám:

$$U = \tau Ae^{i\phi} = \gamma(a^2 + A^2)Ae^{i\phi} + \gamma Aae^{i\psi} + \gamma Aae^{-i(\psi-2\phi)}$$

A kifejezés első tagja a továbbhaladó referenciahullám, a második, - mivel $A = \text{const.}$ és $\gamma = \text{const}$ - megfelel az eredeti tárgy hullámnak, a harmadik pedig a rekonstrukció folyamatakor mindig elkerülhetetlenül fellépő, ugynevezett konjugált tárgy-hullám. Megfelelő elrendezés esetén a három fénynyaláb térben szétválik, elhelyezkedésüket a 2. ábra mutatja. A hologramba belenézve, látható az eredeti tárgy, háromdimenziós valóságában /virtuális kép/, ernyőn pedig felfogható a konjugált tárgy képe /reális kép/.



2. ábra

A leképezés második lépése a rekonstrukció folyamata. R referenciányaláb, H hologram, h tárgy hullám, h' konjugált-tárgy-hullám, k virtuális kép, k' reális kép.

Technikai követelmények

A leképezési elv. koherens fény alkalmazásán alapszik, így fényforrásként elsősorban laserek jönnek számításba. A sok lasertípus közül jelenleg a $\lambda = 6328 \text{ \AA}$ hullámhosszu vörös színű fényt sugárzó He-Ne gázlaser a legalkalmasabb.

A He-Ne gázlaser általában sokmódusu üzemben működik, s ebből a következő problémák adódnak:

- a/ Több transzverzális módus egyidejű gerjedése esetén a keresztirányu koherencia erősen változik a fénynyaláb keresztmetszete mentén.
- b/ Több axiális módus miatt a fellépő uthosszkülönbségektől függően periódikusan maximumok és minimumok lesznek az interferenciakép kontrasztjában.

Ezen két ok miatt célszerű, bár nem feltétlenül szükséges, egymódusu üzemben működő lasert használni.

A két interferáló fénynyaláb igen sűrű interferenciacsik-rendszert hoz létre. Ezt az általában szabálytalan elrendezésű csikrendszert kell fényképezőlemezen rögzíteni. Ha a két nyaláb egymással bezárt szöge α , akkor a keletkező interferenciacsikok átlagos sűrűsége, N , közelítőleg

$$N = \frac{\alpha}{\lambda},$$

ahol λ a fény hullámhossza. Ha például $\alpha = 20^\circ$, $\lambda = 0,63\mu$, $N = 550/\text{mm}$ adódik, aminek feloldásához igen jó felbontóképességű fényképezőlemez kell.

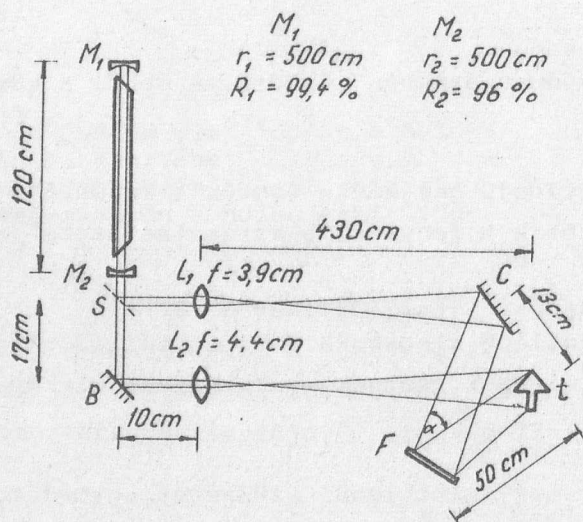
A hologramfelvétel céljára alkalmas finomszemcsés fényképezőlemez azonban nagyon érzéketlen, s ez a tényező jelentősen megnyújtja az expozíciós időt.

A hosszú expozíciós idő alatt biztosítani kell azt, hogy az egész rendszer stabilan álljon, ugyanis ha a felvétel ideje alatt rezgés, vagy bármilyen más zavar folytán a két interferáló nyaláb közti utkülönbség $\lambda/2$ -vel megváltozik, ez teljesen elkenheti az interferenciaképet. A laser intenzitásának növelésével csökkenthető az expozíciós idő, az általában elérhető intenzitásértékek mellett ez néhány másodperctől mintegy 15 percig terjed.

A fényképezőlemez átviteli karakterisztikájának megfelelő kihasználása céljából fontos, hogy a referencianyaláb erősebb legyen a tárgnyalábnál [5]. Az optimális intenzitásarány körülbelül 5:1, a rekonstruált kép minőségét egyébként az arány pontos számértéke nem nagyon befolyásolja.

Kísérleti elrendezés

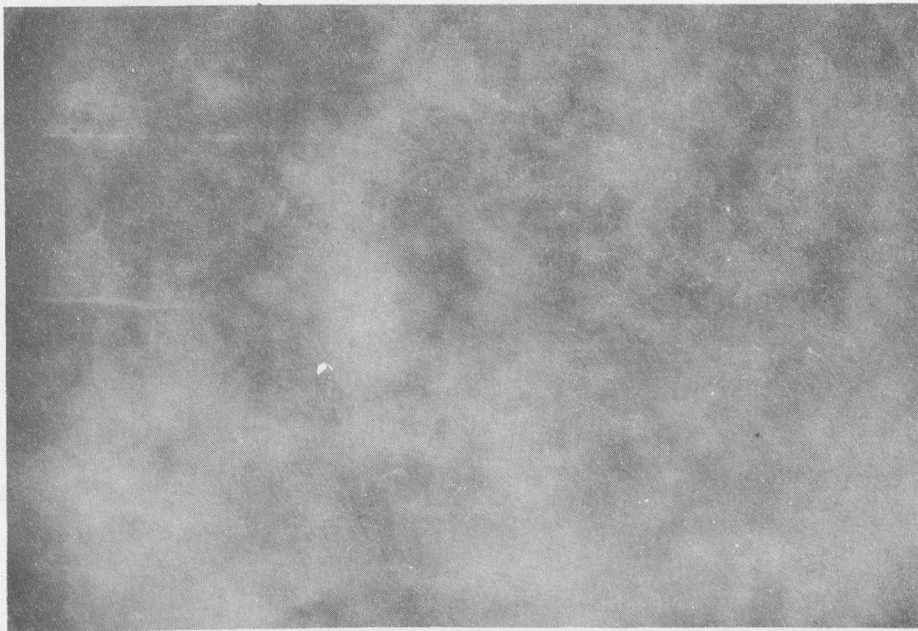
A hologram elkészítéséhez használt kísérleti elrendezést a 3. ábra mutatja. A He-Ne gázlaser kisülési csövének belső átmérője 3 mm volt, a laser rezonátorát két, egymástól 120 cm távolságban elhelyezett, $r = 500$ cm görbületi sugaru tükör alkotta. Ennek a rezonátornak a veszteségi viszonyai olyanok, hogy csak a TEM_{00} módus oszcillál benne. A TEM_{00} módus keresztkoherenciája gyakorlatilag ideális a nyaláb egész keresztmetszetén [6], intenzitáseloszlása olyan, hogy könnyen el lehetett érni az egész tárgy egyenletes megvilágítását. A két lasertükör $|M_1, M_2|$ megfelelően választott reflexióképessége $|R_1, R_2|$ biztosította a laserből maximálisan kicsitolható fényteljesítményt.



3. ábra

A hologram elkészítéséhez használt kísérleti elrendezés. M_1, M_2 lasertükrök; S üveglap; L_1, L_2 lencsék; B, C tükör; t tárgy; F fényképezőlemez.

A t háromdimenziós tárgyról az F fényképezőlemezre diffúzan szórt fény intenzitása nagyon kicsi, ezért a laser fényének legjobb kihasználása céljából a fénynyalábot az S üveglappal osztottuk ketté. Ilyen módon a tárgyat az eredeti intenzitás 99%-ával világítottuk meg, s a referencianyaládba az üveglapról visszaverődő 1% fény került. Ezáltal minden egyéb fényintenzitás-veszteség nélkül biztosítani lehetett, hogy a referencianyaláb intenzitása nagyobb legyen, mint a tárgyról szóródó fény intenzitása, az intenzitásarány az 1P21 típusu fotoelektron-sokszorozóval végzett mérés szerint 5:1 és 1:1 között változott a fényképezőlemez mentén. A C tükröt úgy helyeztük el, hogy kiegyenlitsük az S üveglap



4. ábra A hologram



5. ábra
A 4. ábrán látható hologramból rekonstruált kép

és a B tükör között fellépő uthosszkülönbséget. A t tárgy térbeli kiterjedése miatt megmaradó néhány centiméteres uthosszkülönbségen a több axiális módus gerjedése miatt fellépő kontrasztcsökkenés nem számottevő. Az L_1 és L_2 lencsék az eredetileg igen keskeny lasernyaláb átmérőjének megnövelését szolgálták.

A hologrammot ORWO LP1 mikrát lemezen rögzítettük, amelynek felbontása 520 vonal/mm. A referencianyaláb $\alpha = 15^\circ$ -os szöget zárt be a tárgynyalábbal, ebből kiszámítható, hogy esetünkben $N = 400/\text{mm}$ az interferenciacsíkok átlagos sűrűsége, ezt a lemez még képes feloldani.

A laser teljesítménye 4 mW volt, a hologram expozíciós ideje 4 percnak adódott. A fényképezőlemezt ORWO 20 előhívóval hívtuk elő.

A 4. ábra a hologramot mutatja, az 5. ábra a hologramból rekonstruált tárgy fényképét. A fénykép a hologramon keresztül a virtuális képről készült.

Köszönetemet szeretném kifejezni a Kisérleti Orvostudományi Kutató Intézet fotolaboratóriumának a fényképezőlemezekért, amelyekkel lehetővé vált a hologram elkészítése; Pintér István egyetemi hallgatónak, Rózsa Károly és Tóth József technikusoknak, valamint Király Ferenc fotósnak a hologram elkészítésében nyújtott segítségükért.

I r o d a l o m

- [1] Born, M., Wolf, E.: Principles of Optics, Pergamon Press, London /1959/ p. 452
- [2] Leith, E.N., Upathieks, J.: Journal of the Optical Society of America 52, 1123 /1962/, 53, 1377 /1963/, 54, 1295 /1964/
- [3] Ennos, A.E.: Contemporary Physics, Vol. 8, No.2. 153 /1967/
- [4] Jevtusenko, T.P., Zaidel, A.N., Osztrovszkaja, G.V., Osztrovszki, U.I.: Proceedings of XIV. Colloquium Spectroscopicum Internationale. /Megjelenés alatt/
- [5] Kozma, A.: Journal of the Optical Society of America, 56, 428 /1966/
- [6] Csillag L., Jánossy M., Kántor K.: Physics Letters, 20, No.6. 636 /April 1. 1966./

Érkezett: 1967. dec. 18.

KFKI Közl. 16.évf. 1.szám, 1968.