

A MAGYAR  
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK  
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI  
HEVESI GYULA

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK  
RENDEZÉSÉBEN 1952 MÁRCIUS 29—30-ÁN TARTOTT KARSZTVÍZ-  
KONFERENCIÁN ELHANGZOTT ELŐADÁSOK ANYAGA

VIII. KÖTET

1. SZÁM



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
BUDAPEST, 1953

VI. OSZT. KÖZL.



A

**MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA**  
**MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK**  
**KÖZLEMÉNYEI**

SZERKESZTI  
HEVESI GYULA

VIII. KÖTET I. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG : BUDAPEST, V., NÁDOR-UTCA 12.  
KIADÓHIVATAL : BUDAPEST, V., ALKOTMÁNY-UTCA 21.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei változó terjedelmű füzetekben jelennek meg. Négy füzet alkot egy kötetet. Évenként általában egy kötet jelenik meg.

Kéziratokat a szerkesztőség fenti címére kell küldeni:

Magyar Tudományos Akadémia  
Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei  
Budapest, V., Nádor-u. 12.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Minden szerzőt ötven különnyomat illet meg megjelent munkájáért. Közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttat a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért, vagy továbbításáért nem vállal.

A Közlemények előfizetési ára kötetenként belföldi címre 40 forint, külföldi címre 60 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest, V., Alkotmány-u. 21. — Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám: 04.878.111-48), külföldi megrendelések a »Kultúra« Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest, VI., Sztálin-út 2. — Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám: 45-790-057-50-032) útján eszközölhetők.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának kiadványa az

**Acta Technica**

című idegennyelvű folyóirat.

E lap hivatott a magyar műszaki tudományok eredményeinek legjavát a külföld felé tolmácsolni. A cikkek orosz, német, angol vagy francia nyelven jelennek meg, lehetőleg a szerző kívánsága szerint, összefoglaló pedig a cikk nyelvén és azonkívül oroszul. Cikkeket magyar, vagy a szerző választotta idegen nyelven a következő címre kell beküldeni:

Acta Technica szerkesztősége, Budapest, V., Nádor-utca 12.

A MAGYAR  
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK  
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI  
HEVESI GYULA

VII. KÖTET



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

BUDAPEST, 1952

VI. OSZT. KÖZL.





# MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

## MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK

### KÖZLEMÉNYEI

VII. KÖTET

#### TARTALOMJEGYZÉK

<i>Alpár Gyula</i> : Szeizmikus refrakciós mérési adatok szigorú kiegyenlítése.....	255
<i>Bouska J.</i> : A földi mágnesség Csehszlovákia területén és csatlakozása a szomszéd államok tereihez, különös tekintettel a határterületek mágneses izodinám vonalainak megszerkesztésére .....	545
Hozzászólás : Barta György.....	550
<i>Csanádi György</i> : A tehervonatok sebességének, a mozdonyok vonóerő-kihasználásának és a teherkocsik várakozási idejének gazdasági összefüggései .....	327
<i>Dévényi György</i> : A Mannesmann-rendszerű csölyukasztósori hengerállvány szilárdságtani méretezése .....	117
<i>Diebold Károly</i> : Lemezostó mikrofotografáló készülékek .....	307
<i>Fekete László</i> : Az egyensúlyi viszonyok vizsgálata a titánnak magnéziummal történő redukciójakor .....	159
<i>Fekete László</i> : Szulfátos elektrolitok fajlagos ellenállásának grafikus meghatározása ...	219
<i>Gál Ernő</i> : Barnaszeneink hamujának összetétele és olvadási viselkedése. A salakodási nehézségek megakadályozásának módjai .....	77
<i>Gálfi János</i> : A szeizmikus kutatási módszer korszerű problémái, különös tekintettel a néma területekre .....	535
Hozzászólások : Egyed László .....	542
Maróthy Géza .....	543
<i>Geleji Sándor</i> : Mi »a tudomány« a műszaki tudományokban? .....	15
<i>Geleji Sándor</i> : Rúdsajtolás és tuskölyukasztás .....	265
<i>Hazay István</i> : A budapesti Geodéziai és Geofizikai Kongresszus (bevezető).....	429
<i>Hazay István</i> : Az országos és kontinentális háromszögelési hálózatok kiegyenlítéséről .....	439
Hozzászólások : Szilágyi Béla .....	449
Rédey István .....	450
Hőnyi Ede .....	450
Homoródi Lajos .....	451
<i>Herzog Pál</i> : Kúpos szívótelesek ellenállástényezője .....	95
<i>Hevesi Gyula</i> : Erősítsük a béke frontját .....	1
<i>Hevesi Gyula</i> : Megnyitó (Geodézia-Geofizikai Kongresszus) .....	431
<i>Hevesi Gyula</i> : A Műszaki Tudományok Osztályának munkájáról .....	9
<i>Hrisztov V. K.</i> : Sztereografikus koordináták transzformációja Gauss-féle koordinátákkal .....	477
Hozzászólások : Homoródi Lajos .....	486
Hazay István .....	487
V. K. Hrisztov válasza a hozzászólásokra .....	488
<i>Jurek Aurél</i> : A hathengeres kétütemű G—M—C-rendszerű Diesel-motorok forgattyús hajtóműjének kiegyensúlyozása .....	209
<i>Jurek Jenő</i> : A dugattyús gázgépek teljesítménygörbéjének elmélete .....	283
<i>Kilczér Gyula</i> : A refrakciós észlelési adatok javított közelítő kiegyenlítése .....	243



<i>Kowalczyk Zsigmond</i> : A geodézia fejlődése a népi Lengyelországban .....	461
Hozzászólások : Bendefy László .....	471
Duchon Béla .....	473
Renner János .....	473
Hazay István .....	473
Vendel Miklós .....	474
Kowalczyk Zs. válasza a hozzászólásokra .....	474
Könyvszemle .....	419
<i>Litvai Elemér</i> : A Budapesti Műszaki Egyetem Aerodinamikai Tanszékének resoptikai berendezése .....	229
<i>Nits Károly</i> : A potenciális síkaramlás vizsgálata elektrolitikus kád alkalmazásával ..	101
<i>Óry Huba</i> : Hajlított és nyomott fatartók méretezése .....	183
<i>Popovics Sándor</i> : A betonadalék szemszerkezetének számszerű jellemzéséről .....	45
<i>Rácz Elemér</i> : Rezgési jelenségek repülőgépeken .....	373
<i>Rédey István</i> : A dinamikai magasságról .....	501
Hozzászólások : Májay Péter .....	514
Renner János .....	515
Hazay István .....	517
<i>Regőczy Emil</i> : Harmadrendű háromszögelési hálózatból levezetett elsőrendű hálózat c. előadásának kivonata .....	453
Hozzászólások : Sébor János .....	455
Homoródi Lajos .....	457
Kowalczyk Zsigmond .....	459
Hazay I. válasza saját és Regőczy E. előadásához elhangzott hozzászólásokra ..	459
Reudeletek .....	413
Rendezvények a Műszaki Tudományok Osztályán .....	409
<i>Rybár István</i> : Az Eötvös-inga csillapodás ideje csökkentésének problémája.....	147
<i>Rybár István</i> : Az Eötvös-inga meghízhatósága. A torziós szálak preparálása.....	141
<i>Scheffer Viktor</i> : Az izosztatikus anomáliák és a hegységképződési vergenciák összefüggése .....	519
Hozzászólások : Renner János.....	528
Földvári Aladár .....	529
Schmidt Eligiusz Róbert .....	530
Egyed László .....	532
Vendel Miklós .....	532
Scheffer Viktor válasza a hozzászólásokra.....	533
<i>Schmidt György</i> : Adalék az elektromos és mechanikai lengések analógiájához .....	399
<i>Tárczy-Hornoch Antal</i> : Az ellipszoid konjugált normálmetszeteinek azimutkülönbségéről .....	489
Hozzászólások : Homoródi Lajos .....	499
Rédey István.....	500
<i>Tárczy-Hornoch Antal</i> : A refrakciós szeizmikus kutató mérések adatainak kiegyenlítéséhez .....	253
<i>Tarján Gusztáv</i> : Komlói szén mosási kísérletei laboratóriumi hidrociklonnal .....	351
<i>Váhl Miklós</i> : A béke érdekében .....	437
<i>Vendel Miklós</i> : Felnöki bevezető (Geodézia-Geofizikai Kongresszus) .....	433
<i>Vidéky Emil</i> : A fogak igénybevétele homlokkerékfogazásnál .....	19

## AKADÉMIAI KARSZTVÍZKONFERENCIA

*Vendel Miklós* akadémikus, bizottsági elnök melegen üdvözli a megjelenteket és az ankétot megnyitja. Átadja a szót *Hevesi Gyula* akadémikusnak, az Akadémia Műszaki Osztálya titkárának.

*Hevesi Gyula* lev. tag az Akadémia Műszaki Osztálya nevében üdvözli az ankét résztvevőit.

Reméli, hogy ez az ankét olyan munkaprogrammot fog kidolgozni, mely rövid határidőn belül a bányászat által realizálható módon fogja előrevinni a karsztvízveszély leküzdésére irányuló, eddig kellően össze nem fogott, egységes irányítást nélkülöző munkát.

*Elnök* megköszöni *Hevesi Gyula* lev. tag szavait és bejelenti, hogy az előadásokat néhány szóval kívánja bevezetni.

Tisztelt Ankét !

Azt hiszem teljesen felesleges azok előtt, akik itt összegyűltünk, részletesebben fejtegetnem, hogy milyen fontos kérdés — a karsztvízkérdés — megvitatása hozott össze bennünket. Mindnyájan tudjuk, hogy bányászatunk szempontjából milyen nagy veszedelmet jelent a karsztvíz, amelynek leküzdésétől azonban várható bányászatunk könnyebbé és gazdaságosabbá tétele. De jelentősége van a karsztvíznek vízgazdálkodásunk frontján is ipari és ivóvízellátásunk szempontjából. Fürdőink egy jórészt is karsztvíz eredetű vizek táplálják, tehát balneológiai vonatkozásai sem mellőzhetők a karsztvíznek. Lényegében nem is egy kérdésről, hanem egész kérdéskomplexumról van szó, ami természetesen szükségképeni okozója annak, hogy megoldása meghaladja egy-egy kutató vagy technikus felkészültségét teszem a hidrogeológusét, a bányamérnökét, a geofizikusét, a tektonikusét, stb. s ezért feltétlenül szükséges az erők egybefogása. A kérdések súlypontjában tagadhatatlanul azonban bányászatunk karsztvízveszélyének leküzdése áll. Ezt az ankét programjának összeállításánál természetesen erősen tekintetbe is vettük. Örvedetes, hogy az Akadémia, *Hevesi Gyula* lev. tag osztálytitkárunk kezdeményezésére kézbe vette e népgazdaságunk szempontjából rendkívül fontos kérdés napi-



renden való tartását, megvitatását, a megoldásban számbavehető erők összefogását, általában irányítását. Nagyon fontos, hogy a karsztvízzel foglalkozó kutatók ismerjék egymást, valamint egymás eredményeit, az összes problémákat és — nem utolsósorban — kellő időben értesülhessenek az új eredményekről és megállapításokról. E cél elérésének elősegítése készítette az Akadémia Műszaki Osztályát arra, hogy külön karsztvízbizottságot szervezzen. Tudjuk, hogy a karsztvíz elleni védelem terén már igen sokat elértünk bányászaink, hidrológusaink, tektonikusaink és geofizikusaink odaadó és hozzáértő munkája révén, de tagadhatatlan, hogy még sok a tennivaló, ezt maradék nélkül el is kell végeznünk és meg vagyok győződve, hogy el is végezzük. A reánkvró feladatok nem könnyűek. Tökéletes megoldásuk a dolog természeténél fogva — legalább is ez idő szerint — nem várható, de szorgalmas és becsületes munkával mégiscsak megközelíthető. Ehhez azonban kívánatos, hogy az eddiginél jóval szélesebb keretek közt, a kérdést állandóan napirenden tartva, a szakkaderek célszerűbb egybefogásával és elkerülhetetlenül szükséges megnövelésével nyuljunk hozzá a karsztvízkérdés megoldatlan további problémáihoz. Hiszem, hogy kétnapos ankétünk hasznos megindítója lesz az Akadémia irányította további munkának.

# KARSTVÍZTÉRKÉP-PROBLÉMÁK ÉS KARSTTÍPUSOK

SZÁDECZKY-KARDOSS ELEMÉR  
akadémikus

Nem könnyen egyeztem bele a karsztvíz ankéton való előadásba, hiszen a hidrológiai kérdésektől jelenlegi munkám távol áll. A karsztvíztérkép gyakorlati jelentősége azonban annak továbbfejlesztését teszi szükségessé és időszerűvé s ehhez néhány megjegyzésem volna. Mert bármily sok szép eszmét, elméletet, a karsztvíz elleni védekezésre irányuló kísérletet, elgondolást eredményezett is a Dunántúli-középhegység karsztvízkérdésének évtizedek óta tartó sokoldalú vizsgálata, mégis a hasznosítható konkrétum egyelőre kevés és e kevesek egyike a Dunántúli-középhegység karsztvíztérképe. Ez jelenlegi kezdetleges állapotában is a karsztvízünknek általános jellegeit eddig legvilágosabban szemlélteti és a terület hidrológiai feladatainak megoldását, bányászati tervezéseit, valamint közvetve a karsztvíz elleni védekezést is rendszeresen elősegíti.

Ezért a karsztvíztérképnek az adathálózat sűrítésével való fejlesztése kívánatos, sőt állandó ellenőrzése szükséges, mert a karsztvíz szintje helyenként már néhány év folyamán is megváltozhatik, a meteorológiai viszonyok, a bányaműveletek és egyéb emberi tevékenység, sőt a karszt időközönként ugrásszerű normális geográfiai fejlődése hatására is. Egyes területrészekben pedig a karszt különféle jellegének kidomborítása is időszerű. Fontos és nehéz kérdés például a karsztvíztérkép szerkesztése azokon a helyeken, ahol több egymás feletti, egymástól többé-kevésbé elválasztott karsztos vízemelet van. (Ilyenkor talán a különböző emeletek különböző vonalozással való feltüntetése alkalmazható.) A részletesebb karsztvíztérképeken kívánatos továbbá a nyilván nagyobb víz-tisztaságot biztosító fedett, ill. rejtett-karszt elkülönítése a nyílt-karszttól; továbbá a feszített karsztvíztükrök elhatárolása (természetesen a beálló, szabadabbá tett vízszintmagasságok megadásával), valamint a gáztartalma folytán magasabb vízszint területeinek kijelölése is.

A klimatikus ingadozásokra való tekintettel kívánatos — *Kessler Hubert* elképzelésének megfelelően — az ugyanazon időpontban lehetőleg a legszárazabb időszak végén felvett, illetve beálló karsztvíztükrök alapján szerkeszteni a térképet, s a megfigyelő állomások adatai alapján az évi átlagingadozásokat megadni.

A mindössze 4 éve nyilvánosságra hozott karsztvíztérkép még szükségképp több elvi kérdést is felvet. Hiszen problematikája is meglehetősen újszerű:



amikor a karsztvíztérképünk eszméjét felvettem és első vázlatát 1940-ben elkészítettem, ez valószínűleg a világnak első ilyen nagyobb területre kiterjedő térképe volt. Ezt a vázlatot *Kassai Ferenc* 1947-ben részletesebben, nagy gondnal kidolgozta és így került 1948-ban közlésre. Három évvel később két másik tanítványom : *Kálmán György* és *Pethő János* az Ajka és Űrkút környékén végzett vizsgálatok alapján e kisebb területekre szóló részletesebb térkép szerkesztésével járultak hozzá lényegesebben a térkép fejlesztéséhez.

Nem szeretném elhallgatni, hogy a karsztvíztérkép kezdeményezése, elvi lehetőségének kimutatása hazai viszonylatban nem járt nehézségek és félreértések nélkül. Ez érthető is, mert a *Katzer—Grund*-féle vita eredményeképpen elvben ismeretes volt, hogy nem lehet bármilyen karsztterületen a karsztvízviszonyokat térképszerűen megfelelőképp ábrázolni. Úgy vélem azonban, hogy ma már a Dunántúli-középhegység nagyrészt a karsztvíztérképezhetőség alapelveinek helyességét a legtöbb szakember előtt felesleges vitatni. Így általánosan ismeretesnek tételezhetjük fel, hogy a karsztvíz a Dunántúli-középhegységben nagyjából egységes, egymással összefüggő, de egymással való közlekedésében igen különböző módon akadályozott rendszer. Ha az egyes mészkő-dolomit csoportokat egymástól át nem eresztő rétegcsoportok választják is el, mégis főleg a tektonikai egységekre (pl. a pikkelyekre kb.) merőleges törésvonalak létrehoznak bizonyos fokú hidrológiai összeköttetést az elválasztott rögök közt is. Az is köztudott, hogy a legfejlettebb karsztüregrendszer éppen a fő tektonikai vonalak, ill. ilyen eredetű hasadékok mentén jelentkezik. Nyilvánvaló továbbá, hogy minél tökéletesebb az üregek közti közlekedés, vagyis minél szélesebbek, egyenletesebbek és sűrűbbek a karsztüregek, járatok, annál kiegyenlítettebb a karsztvíztükör. A jobban oldódó mészkőterületeken tehát a karsztvíztükör kiegyenlítettebb, mint a dolomitban. Ezért a dolomitban sűrűbb adathálózatra van szükség a megfelelő karsztvíztérkép szerkesztéséhez, mint a mészkő területeken.

Még ma sincs azonban kellőképp tisztázva, hogy milyen természetű karszt az, ahol a karsztvíztérkép szerkesztése elvben lehetséges és szükséges és milyen terület az, amelyen ilyen térkép szerkesztésének nincs értelme.

Általában úgy szokás felfogni, hogy a mélykarszt víztükre térképileg ábrázolható, a sekély karszté nem.

Ehhez szeretnék néhány gondolatot felvetni, teljességre való törekvés nélkül.

A karsztvíztérkép szempontjából is szükségesnek látszik *Katzer*nek a két karszt típusát legalább is egy harmadikkal kiegészíteni. Az elkülönítés a karsztos rendszernek az erózió-bázishoz való viszonyán alapul. A sekélykarsztban tudvalevően az erózió a térszint a karsztvízszint alá a vízrekesztő feküig bevágta. A víz így a felszínre léphet éspedig aránylag rövid út után is. Ezért a sekélykarszt víztartóképesége kisebb. (V. ö. *Horusitzky* : Hidrológiai Közlöny, 1942. 134. lap.)

Viszont a mélykarszt vízszintje mélyen a felszín alatt van. A vizet záró fekt az erózió nem érte el. A mélykarszt víztároló képessége tehát jóval nagyobb. E típus egyik képviselője éppen a Dunántúli-középhegységi karsztvízterület, ahol a mélybesülyedt, karsztosodott mészkő-dolomit-rögöket egy fiatalabb rétegekből álló, többé-kevésbé vízzáró övezet veszi körül. A víz megcsapolása tehát főleg túlfolyás által történik. E túlfolyási övet a Középhegységet a Kisalföld és a Fejér-megyei síkság felől körülvevő peremi lápkoszorú képviseli.

A mélykarsztban a karsztvíznek tudvalevően stagnáló öve is van, amelyben a karsztüregeknek kívülről hatoló tényezők általi továbbfejlesztéséről alig lehet szó, sőt itt az üregeknek a felsőbb részek karsztüregeiből származó oldási maradékokkal való fokozatos eltömődésével kell számolni. Részben ez az eltömés lehet az oka annak az *Albell Ferenc* által valószínűsített jelenségnek, hogy a karsztvízveszély a karsztvízszint alatti nagyobb mélységben csökken. A stagnáló öv kifejlődése egyáltalában csak akkor képzelhető el, ha ez a körülövezett mélykarszt előzőleg övezetlen volt, vagy a mélységből jövő hévvizek hatására jött létre.

A sekély és mélykarszt e két típusa mellett harmadikként a tenger, vagy más nagy állóvízzel bizonyos körülmények közt határos típusát kell elkülöníteni. Ha a karszt ugyanis közvetlenül mély állóvízzel érintkezik, mint ma a Dalmát partvidéken helyenként, a mezozoikumban és a harmadkorban pedig pl. a Dunántúli-középhegységben ismételt, úgy különleges viszonyok keletkezhetnek, amelyek talán a mélykarszt mélyebb erózió-bázissal érintkező fő megcsapolási öveihez hasonlíthatók. Ilyen fő megcsapolási övek a Dunántúli-középhegység esetében a Budapest és Esztergom vidéki dunai és a Balaton parti megcsapolási szegély. A megcsapolási öv egyes jellegei a tengeri karszt-típusban nem keskeny sávokra korlátozva, hanem nagy összefüggő területre kiterjedően fejlődhetnek ki és uralkodó jellegűvé válhatnak.

Különösen feltűnő lehet ez a jelleg, ha egy már előzőleg karsztosodott és az erózió által kimunkált terület süllyed a tenger szintje alá és így erősen tagolt partvonal keletkezik, mélyen benyúló öblökkel. Ez esetben jelentékeny szárazföldi területen a karsztvízszint a tenger 0-szintje közelében maradhat, sőt a karszt szívó hatása következtében helyenként esetleg az alá is bemélyedhet.

Ha ugyanis az ilyen tengerben szerves anyagokban gazdag üledék rakódik le, úgy a biológiai mállás folytán keletkező széndioxid hatására az egyébként 8 körüli pH-jú tengervíz a mészkövet nagymértékben oldhatja. Az üregek tágulását a hullámverés is elősegítheti. Így a karszt két oldalról fejlődik: felül a szárazföld felől, alul pedig a tenger felől. Amikor pedig a kétféle üregrendszer végül is összeköttetésbe kerül, úgy a karsztüregek fejlődése rendkívül meggyorsul, mert az oldási maradéka közvetlenül és folyamatosan kiürülhet a tenger felé. Ilyen módon rendkívül gyors lefolyású, élénk mozgású karsztvízrendszer fejlődik ki, amelyben összefüggő és fokozatosan emelkedő karsztvízszint legfeljebb csak a tengertől nagyobb távolságra várható. Ennek a karsztnak túl-

nyomó részén nem beszélhetünk oly értelemben karsztvízszintről és karsztvíz-térképről, mint a szárazföldi mélykarszt esetében; itt stagnáló öv sem lehetséges. De lényegesen különbözik ez a típus a sekélykarszttól is, egyrészt nagy mélysége által, másrészt jelentékeny oldási maradék-szolgáltatásával, végül a vízzáró fekü hiányával.

Természetesen a három karszt-típus egymásba is átmehet. A szárazföldi mélykarszt víztérképe akkor lesz helyes, ha annak esetleges határai a másik két típussal szemben kijelöltnek.

A tengeri karszt-típus gyors fejlődése, nagy oldat és oldási maradék-szolgáltatása néhány egyéb fontos gyakorlati vonatkozásban is figyelmet érdemel.

Megvizsgálendő először is, hogy e típus gyorsan fejlődő karsztüregéből származó terra rossa jellegű oldási maradék nem vezethet-e kisebb bauxittestek képződéséhez. A mállási maradék mennyisége ugyanis igen nagy lehet. Ha pl. egy 10 km<sup>2</sup> területű, 500 m vastag mészkőröggel és ebben a Schmidt Sándor által a Dunántúli-középhegység északi részére valószínűsített 4%-os karsztosodással számolunk, úgy ez 200 millió m<sup>3</sup> anyag kioldását, ill. ebből Brugger budai dolomit m<sup>3</sup>-kénti 0,23 kg Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> és 0,48 kg Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adatával és 15–20% hidrát-vízzel számolva, 9 millió t Al-Fe hidrátos oldási maradékot jelent. Ez egyetlen medencében felhalmozva már jelentős bauxittest kiindulási anyagát szolgáltatná. Mégis egy ilyen nagyobb és tiszta önálló bauxittest kiindulási anyagának ezen a módon történő felhalmozódása kevéssé valószínű. Kétféle eset lehetséges ugyanis. Vagy az, hogy a kérdéses tengeri medencerészletnek nyíltabb hullámveréses jellege van: ez esetben a karsztüregek kijáratából származó mállási maradékot a hullámverés nagy területen szétteríti és más tengeri üledékanyaggal felhígítja. Ilyen módon tehát inkább csak annak a lehetősége van meg, hogy kevéssé tiszta, kevert bauxitos-agyagos anyag keletkezzék. A másik eset az, hogy az oldási maradékot felvevő tengerrészlet zártabb, lagunás jellegű. Ez esetben a tenger alatti karsztüregek kijáratában a mállási maradék felhalmozódik, azt fokozatosan eltömi és így az üledékképződési folyamat mindinkább meglassul. Ebben az esetben tisztább, de csak kisebb tömegű bauxitadó anyag halmozódhat fel.

A tengeri karszt másrészt hatással lehet a hazai mangánérc-típus kialakulására is, sőt esetleg annak döntő tényezőjévé válhat. Vadász legújabb vizsgálataiból ismeretes, hogy az Űrkút-típusú mangánérc törmelékes elegyrészekben igen szegény, tengeralatti képződmény, amelyben azonban paradox módon nagy, szárazföldi eredetű famaradványok vannak. (Egyébként egyes rétegei szerves, bitumenes anyagokban is gazdagok). A másik paradox jelenség e mangánércekben hogy a tengeralatti mangánképződmény a Csárda-hegyen ugyancsak tengeri eredetű mészkőre települt, mondhatni csaknem időhiátusz nélkül, de egy hosszabb szárazföldi folyamatot feltételező karsztos felület közbeiktatásával. Vadász adataiból feltételezhető, hogy a mangán anyagot humuszsavas tengeri áramok szállítják, amelyből az oldott mangánt aránylag szűk helyre koncentrálnak.

nagy redoxpotenciálú és lúgosító lokális hatás csapja ki. Felmerülhet a gondolat — anélkül, hogy ennek tényleges szükségességét egyelőre állítani akarnók —, hogy a Csárda-hegyi karsztos felület nem valamely szárazföldről eredő karsztos üregrendszer, ill. mélyből jövő forrásrendszer tengeralatti kijáratára, amelynek lúgos és a fejlett felszínközeli áramlási rendszer miatt nagy redoxpotenciálú vize a kérdéses savanyú tengeri áram mangántartalmát egy helyre sűrítve kicsapta.

Mindez egyelőre bővebb kifejtést igénylő egyszerű gondolatfelvetés, ami azonban talán szemlélteti, hogy a karsztvízkérdés milyen sokféle kapcsolatban állhat, a közismerteken felül is, gyakorlatilag nagyfontosságú képződményekkel.

Ez szintén sürgeti a Dunántúli-középhegységi karsztvíztérkép fejlesztését. Ankétünk egyik feladata lehet a karsztvíztérkép fejlesztéséhez szükséges adatok gyűjtésének hatályosabb megszervezése. Gyakorlatilag ennek egyik legfőbb módja a mélyfúrások és a bányavágatok nyugalmi karsztvízszintjének kötelező meghatározása és a megfelelő helyen való bejelentése volna.





# A KARSZTVÍZ ELHELYEZKEDÉSE A KÁRPÁTMEDENCÉBEN

HORUSITZKY FERENC  
a földtani tudományok doktora

A karsztvizeinkre vonatkozó hazai elméleti szakirodalom sokáig elsősorban a karsztvíz keletkezésével, a Grund-féle, vagy Katzer—Lehman-féle elméletek érvényével s ezeknek a hazai viszonyokra való alkalmazhatóságával foglalkozott. A viták során őskarszt, mélykarszt, fosszilis karszt és más hasonló sokszor bizonytalanul definiált fogalmak bevezetésével a karsztvíz kérdésben meglehetősen nomenklatura-szürzavar keletkezett. Ez erősen nehezítette, hogy a karsztvíz bonyolult kérdéseit közös nevezőre és megvitatható állapotba hozzuk. E nehézség kiküszöbölésének szükségessége annál sürgősebben jelentkezett, miután a Kárpátmedence a karszt és karsztvíz típusoknak úgyszólván teljes gyűjteményét magába öleli s e kérdések tisztázására Európa szerte a legalkalmasabb területként kínálkozik. Szénbányászatunknak karsztvízproblémái a karsztvíz kérdésének exaktabb irányba terelését egyenesen megkívánták.

Mintegy egy évtizeddel ezelőtt megkísértem mindenekelőtt felállítani karsztvizeink rendszertanát és jól definiált nomenklaturáját. Ez a kísérlet szakköreinkben azóta általában kedvező fogadtatásra talált. Nagy lépéssel vitték előre, hogy úgy mondjam »karsztvíz tudományunkat« azok a szintetizáló kísérletek, melyek annak a többünk által felismert ténynek a konzekvenciáját iparkodtak levonni, hogy karsztvíz előfordulásaink és szintjeik nem kezelhetők elszigetelten, hanem középhegységeink karsztvíz háztartását, mint többé-kevésbé összefüggő földtani jelenséget egységes szemszögből nézve kell vizsgálnunk. Így születtek meg alapvető munkánkként első karsztvíztérképeink Szadecky Elemér és Kassai Ferenc hézagpótló munkáinak eredményeként.

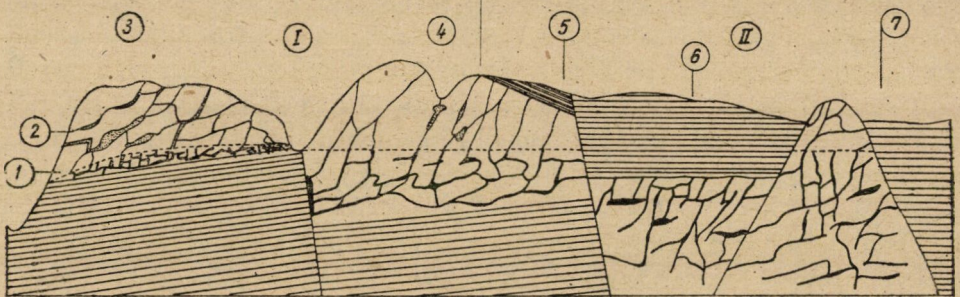
Mindezek a munkák azonban csak az első lépést jelentik a karsztvízkérdés megoldása felé. Mind szaktársaim, mind a magam munkája még sok ponton kiegészítésre, sőt kritikára is szorul. Ezt a kiegészítést és építő kritikát, részben önkritikát kívánja szolgálni az előadandó pár gondolat, mely úgy érzem, hogy a karsztvízkutatás helyes irányba terelése érdekében szolgálatot tesz.

Mindenekelőtt előre kell bocsátanom, hogy a karszt fogalmát itt nem morfológiailag, hanem annál tágabb értelemben használjuk. A dolomit pl. alig karsztosodik, hanem a vizet tektonikai hatások folytán létrejött repedésrendszerében s tektonikai és hévforrás hatások következtében elporlott »reibsan-

dosodott» részleteiben s a mélységből származó hévvizek által kioldott üreg-rendszerekben tárolja és vezeti. Az ilyen rendszerben tárolódó és mozgó vizet is a »karsztvíz« fogalomkörébe fogjuk foglalni, éppen úgy, mint azoknak a márgás kőzeteknek a hasadékrendszerében mozgó vizét, melyek maguk karsztosodásra alig hajlamosak, de a karsztos kőzettömegek közötti összefüggést biztosítják.

A karsztvíztömeget gyakorlatilag teljes egészében, mint atmoszférikus eredetű vizet kezeljük, függetlenül attól, hogy részben esetleg relatíve régebb földtani idők víztárolásának reliktumai-e.

A karsztvízkérdés tárgyalásakor néhány földtani tényt axioma-ként, mondhatnám »karsztvíz törvényként« rögzítenék. Az első ilyen tény az, hogy a karsztvíz parageoszinklinálisaink mezozoós és harmadkori üledékeiben tárolódik, de minden parageoszinklinálisunknak saját karsztvíz háztartása és saját karsztstílusa van, melyek egymással közvetlen kapcsolatba nem hozhatók.



1. ábra - 1. Támaszkodó karsztvízöv. 2. Leszálló karsztvízöv. 3. Sekély karszt. 4. Mély karszt. I. Nyílt karszt. II. Fedett karszt. 5. Szabadstíntű fedett karszt. 6. Leszorított szintű fedett karszt. 7. Kibukkanó karszt.

A tárgyalás érdekében rekapituláljuk röviden régi karsztvíz-rendszeremet. A karsztvizek között elsősorban *leszálló és támaszkodó* karsztvizet különböztettem meg. (Lásd 1. ábra.) A leszálló karsztvíz még nem érte el a vízzáró réteg felett kialakult karsztvíz tükkrét, útban van lefelé, általában nyílt tükörrel is mozoghat s nem áll nyomás alatt. Felszínre lépésének helye a karsztos járatok felszínre szájadzásának helyétől függ. Az ily módon keletkezett karsztforrások a felszíni víztárolók és a csapadékviszonyok közvetlen függvényeiként működnek.

A karsztvíz támaszkodó övében a víz elérte a karsztosodó kőzet vízrekesztő fekjét, illetve az afölött felhalmozódó és valamennyi hézagot kitöltő víztömeget, vertikális irányú mozgása már gyakorlatilag nincsen. E karsztvíz szintje a felszíni víztárolókkal és a csapadékviszonyokkal csak kis mértékben van összefüggésben és csak kevésbé ingadozó víztükört tart.

Törvegyűrt hegységekben a támaszkodó karszt által tárolt víztömegek egymással összefüggenek és a közlekedő edények törvényeit követve azonos vízszintet *iparkodnak elérni*. Triászkarbonátos kőzeteink támaszkodó karsztjának víztükkrét

nevezhetjük *főkarsztvíz-szintnek*. Ha a főkarsztvíz-szint az erózobázis felett fekszik, *sekélykarsztról*, ha alatta fekszik, *mélykarsztvízről* beszélünk. Ott, ahol a főkarsztvíz-szint a térszint metszi, sekélykarszt esetében karsztforrások lépnek a felszínre. A mélykarszt területén karsztforrások nincsenek. A sekélykarszt víztükre a megcsapolás helyeitől függően enyhén tagolt, a mélykarsztté gyakorlatilag vízszínetes. A mélykarszt víztároló képessége nagyobb. *A főkarsztvíz szintje piedzómetrikus nivót jelent.*

A támaszkodó karsztvíz lehet *fedett* és *nyílt* karsztvíz, aszerint, hogy települ-e vízzáró réteg a karsztvíz tükör fölé és lehet *szabad szintű*, vagy *leszorított szintű* fedett karszt, (l. 1. ábra) aszerint, hogy a vizet záró fedő a főkarsztvíz szintje felett, vagy alatta fekszik. A főkarsztvíz szintje a leszorított szintű fedett karsztvíz esetében is, mint piedzómetrikus nivó jelentkezik.

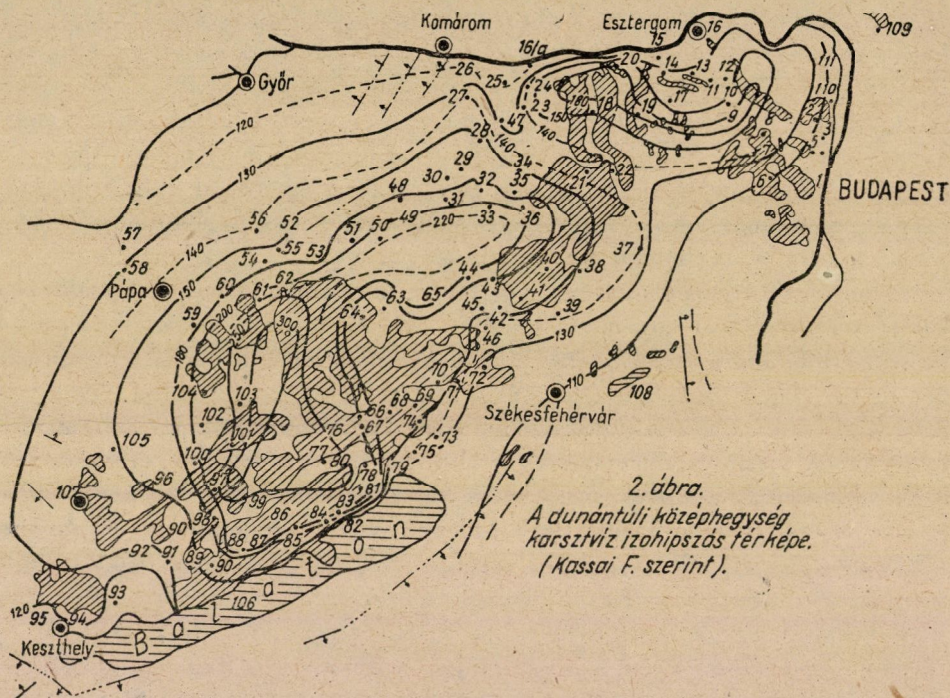
Az összefüggő főkarsztvíz-szint kialakulása nem zárja ki azt, hogy a főkarsztvíz-szint felett *magasabb vízzáró rétegek* is iktatódjanak a rétegsorba, melyek felett magasabb helyzetű karsztvízemeletek alakulhatnak ki. Ezt a főkarsztvíz-szint felett felhalmazódó karsztvizet *magas karsztvíznek* neveztem. A magas karsztvíznek is meg lehet a maga leszálló és támaszkodó öve. *Egymás felett több magas karsztvíz emelet is elhelyezkedhetik* s ezeknek egymással való érintkezése lehetséges, sőt nagyobb kiterjedés esetén valószínű, de egyáltalában nem szükségszerű, hanem a tektonikai viszonyok függvénye.

Bár a fenti rendszerezés egyes tételei megnyugtatóknak látszottak is, a karsztvíz-kutatásunk újabb fejlődését visszatükröző karsztvíz-izohipszás térképek (l. 2. ábra) a rendszerezés hiányosságára is rámutattak. A rendszerezésben foglalt alapelvek szemeltartásával megfelelő kiegészítés nélkül a karsztvíz-izohipszás térképeken feltüntetett meredek karsztvíz lejtők és 300 méteren felüli karsztvízszintek alig volnának értelmezhetők. Nem volnának értelmezhetők azok az összefüggések sem, melyeket a karsztvízkueminációk és az izohiéták között Kassai Ferenc kimutatott. Nehezen volna értelmezhető a karsztvíz-tükör morfológiájának az a szabályossága sem, melyre Vendel Miklós kezdeményezésére ugyancsak Kassai Ferenc mutat rá.

Ezeknek az összefüggéseknek az értelmezésére vizsgáljuk meg, mi fog történni a leszálló karszt vizével midőn a főkarsztvíz támaszkodó övének tükrét elér. A víznek már leszivárgása folyamán le kell küzdeni a sűrűlódás folytán fellépő ellenállást, mely természetesen annál nagyobb lesz, minél szűkebbek a járatok, melyben a víz mozog. A főkarsztvíz szintjét elérve, a vízoszlopnomásnak le kell győznie a főkarsztvíz hidrosztatikus nyomását, és azt az ellenállást, melyet a víz visszaszorításával szemben a karsztvíztükör alatti hézagrendszer sűrűlódása kifejt. Ez az ellenállás, ha a víz számára nem tág barlangjáratrendszerek, hanem csak vékony repedések állanak rendelkezésre, tekintélyes lehet. Ha ezt az ellenállást nem is tudjuk számszerűen kifejezni, szerepe lényegileg a beszivárgással szemben ugyanaz, mint valamely szűrőréteg ellenállása. A vízoszlopnomás, a szűrőellenállás és az átfolyó vízmennyiség közötti összefüggést



a közismert Darcy-féle törvény fejezi ki, mely szerint  $Q = k \cdot F \cdot \frac{h}{l}$ , ahol  $Q$  az átfolyó vízmennyiség  $m^3/sec$ -ban  $F$  a szűrőfelület  $m^2$ -ben,  $h$  az ellenállás folytán felhasználandó nyomómagasság, tehát vízoszlopmagasság  $m$ -ben,  $l$  a szűrőtávolság  $m$ -ben, és  $k$  = átfolyási tényezővel. A fenti egyenletből  $k = \frac{Q}{F} \cdot \frac{l}{h}$ , s miután  $\frac{Q}{F} = k \frac{h}{l} = v$ , azaz egyenlő a sebességgel. A  $k$  érték egy olyan sebesség  $m/sec$ -ban kifejezve, mely  $\frac{h}{l}$  vízszintesének felel meg. A sebesség és ezzel az átfolyó vízmennyiség tehát viszonyban áll a vízszinteséssel.



Mivel a leszálló karsztvíznek a maga útján és a főkarsztvíz-szintnek ütközve ellenállást kell legyőzni, ez az ellenállás a víz beszivárgási sebességét lefékezi s a főkarsztvíz-szint felett a karsztvíz szintjét megemeli. Ha az elszivárgás mértéke és a hozzáfolyás mértéke állandó, az emelt víztükörben stationer állapot állhat be. Mivel a vízhozáfolyás elsősorban a csapadékviszonyoktól függ, az ellenállás viszont állandó, természetes, hogy ez a felemelt víztükör a csapadékviszonyokat követve fog ingadozni, és ott lesz a legmagasabb, ahol a hozzáfolyás, esetünkben a csapadék, a legdúsabb. Nézetem szerint a magas karsztvíz-tükrök egyrésze ily módon keletkezik.

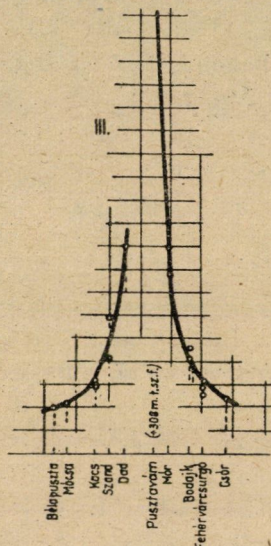
Vezessünk be most újra egy disztinktiót: az egyszerű és az összetett karszt fogalmát. Egyszerű karszt legyen az, melynek víztükrre felett magas karszt, vagy magas karsztmeleletek nem helyezkednek el, összetett karszt viszont az, mely több karsztvízemeletből, tehát vizet vezető és vizet záró rétegek váltakozásából tevődik össze. Kassai Ferenc is hangsúlyozza azt a tényt, hogy a budapesti, dorogi, tatabányai, vérteshegységi karsztvíz felszíni adatok nagyterületen csaknem állandóak, illetve az erózió bázis felé enyhén lejtősödő karsztvíztükröt adnak. Ezzel szemben, mint Szadeczky is hangsúlyozza, pl. az Ajka—Úrkúti karsztvíz tükör »eltérő képet mutat a dorogitól« nem vízszintesen fekszik, hanem meglehetősen meredek 0,025%-os lejtőket alkot. A karsztvíztérkép bakonyi kulminációja több mint 200 m-rel emelkedik a Dorog—Tokod—Tatabányai fő-karsztvíz-szint fölé. Míg a bakonyi karsztvíz szintje várhatólag erősebben ingadozik, a Dorog—Tokod—Tatabánya—Vértess—Budapesti karsztvízszint évi ingadozása az 1 méter alatt marad. Ez utóbbi terület javarésze egyszerű karszt s a rosszul szigetelt eocén mészkő sem igen alkot itt önálló magasabb karsztvíz-tároló szintet. A karszt e területen felülről vagy le van fedve, vagy pedig egész felszínen álló része szerepel egyenletesen elosztott repedéseivel nyelő felületként. A beszivárgó víz kevés ellenállásra talál, a főkarsztvíz tömegében nyomban eloszlik s a karsztvíz szintmegemelkedésére nincsen mód.

Másként áll a helyzet a Bakonyban. A bakonyi karsztvíz kulminációs területei kétségtelenül az összetett karszt típusát képviselik. Az ajkai rétegsorban a karsztosodásra hajlamos mummulinás mészkő alatt több, mint 20 m vastagságban fekszenek a vízzáró szénfedő agyagok, s a széntelepek alatt is fekvő agyagok szerepelnek vízzárókként. A vizet átbocsátó, illetve karsztosodó hippuriteszes mészkő fekjében már kevésbé karsztosodó márgás mészkő, majd vizet záró agyagos márga fekszik. Vizet záró és vezető rétegek váltakoznak a bakonyi triász-sorozatban is. A Proarcestes subtridentinusos mészkő pl. több helyen diabáztufás palás agyagokkal váltakozik. A megyehegy dolomit vizet vezet, az alsó campilli márgák szigetelnek s a kettő határán karsztforrások is fakadnak. Mindezek között a karsztvízemeletek között az összeköttetés csak a tektonikai síkokra korlátozódik. A beszivárgással szemben az ellenállás így nagyobb, s a karsztvízszint megemelkedése szükségszerűnek látszik.

Szadeczky Elemér és Kassai Ferenc a karsztvíz izophizákból adódó karsztvíz felszín morfológiáját a peremi megcsapolás hatására iparkodnak visszavezetni. A legszélső görbék a főkarsztvíz-szint magasságában haladnak. A karsztvízszint közvetlen megcsapolásának hatását Kassai a Tokodi 1926-i szept. 15-i vízszint ábrázolásával mutatja be, mely kép a Darcy-féle törvényből levezethető elméleti depressziós tölcser metszetéhez áll közel. Ugyanakkor 9 szelvényben mutatja be a középdunántúli karsztvíztopografia metszeteit. Nyomban szembetűnik, hogy ezek a parabolák nem a karsztvíztükröknek a peremek felé való megcsapolását, hanem Középhegységünk főkarsztvíz-szintjének a hegység belseje felé való megemelkedését mutatják. A legszemléltetőbb



a III. számú szelvény, mely tökéletesen tükrözi vissza egy víznyelő kút paraboláit. (3. ábra.) Ugyanezt tükrözi vissza az a megközelítő parabola, melyet a karsztvízszint emelkedésének becslésére ajánl. A vízszint megemeléseinek folyamatát szinte modellként jól tükrözi vissza egy példa, mely a Majna—Frankfurti vízművek mesterséges víznyeletésének eredményét ábrázolja. (4. ábra.) Itt a Majna vizét természetes szűrés végett a homokos altalajba elnyeletik, majd miután a homok pórusaiban bizonyos utat tett meg, megszűrve, újra kiemelik. Jól látszik az ábrán a szivattyúállomás, tehát a megcsapolás helyén a depressziós tölcser lehajló, a nyelőkutak táján a parabolikusan megemelt



3. ábra

A karsztvíztükör szelvénye

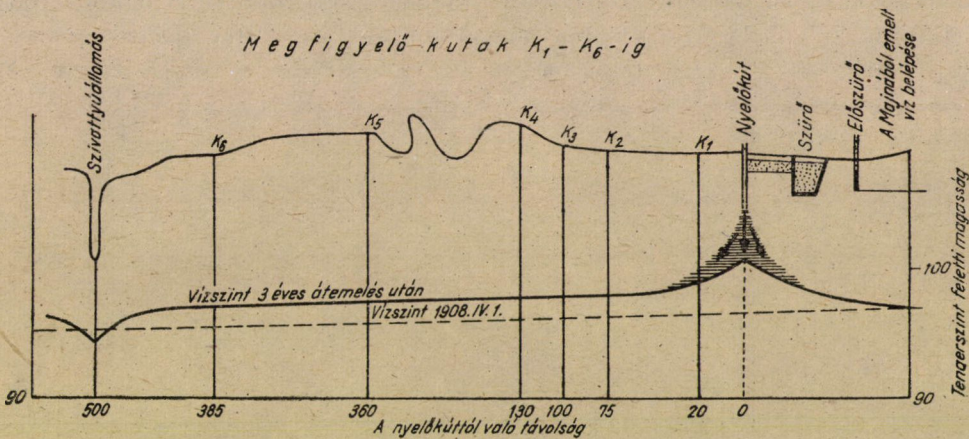
vízszint felhajló ága. Ez a megemelt vízszint véleményem szerint tökéletesen tükrözi vissza Középhegységünk karsztvízszint alakulásának modelljét, melyben a szivattyúállamos-menti depresszió a Duna és a Balaton megcsapoló hatásának, a nyelőkút alatti kulmináció viszont a karsztvíztérkép, a topográfia és az izohiéták kulminációjának felel meg. *Nézetem szerint törvegyűrt hegységeink összetett karsztjaiban a nyelőkutak törvényei érvényesülnek.* Ez egyszersemind megmagyarázza az összefüggést a karsztvízszint izohopszái által jelölt kulminációk és a legcsapadékdúsabb területeket jelző izohiéták között. A fenti megfontolások arra készítettek, hogy eddigi karsztvíz rendszerembe egy újabb tagot iktassak. *Azt az övet, mely a leszálló karsztvíznek a stagnáló főkarsztvíz szintjével való ütközésénél alakult ki, megemelt karsztvíz övének vagy az ütköző karsztvíz övének nevezném el, egyelőre, jobb híján.* Helyesnek tartanám azt is, ha Szádeczky megjelölése szerint ezt az övet a »lefékezett karsztvíz« övének neveznénk.



A megemelet karsztvíz övének szélessége a beszivárgás és az ellenállás mértékének viszonyától függ. Ezért nem találjuk meg ezt az övet a Dorog, Tokod, Tatabánya stb. környéki területen. Erre az övre jellemző, hogy vize valamennyi összefüggő hézagot kitölti, szintje nem tart nagy távolságra meghatározott piedzometrikus nívót, szintje a csapadékviszonyok és a tektonikai, illetve a beszivárgási viszonyok szerint tagolt, s a *csapadékviszonyok* és esetleg a *légnyomásviszonyok* függvényeként a főkarsztvíz-szintnél nagyobb vertikális ingadozásokat mutat. Ezeket az összefüggéseket dr. Kassai Ferenc a maga munkaterületén példás exaktsággal vizsgálja.

Meg kell itt még említenem, hogy az egyes karsztvízemeleteken belül is kialakulhatnak szabadszintű karsztvíztükrök, illetve leszálló övek is, melyek

*A majnafrankfurti városerdő mesterséges talajvízszintemelése.*



4. ábra

karsztforrásokat is táplálhatnak. Ilyenkor különösen nagy óvatossággal kell eljárni a karsztvíz izohipszák megszerkesztésénél. Példaként Veszprém környékét említem meg, ahol egymással úgyszólván tőszomszédságban lényeges magasságkülönbségekkel fakadó karsztvizeket találunk. A vízzáró rétegekkel váltakozó raibli mészkő vize a megyehegyi dolomit vizével alig függ össze, mert a megyehegyi dolomitban a víz nyílt víztükrrel helyezkedik el. Amíg a latin sorozatban a vízszint 340—350 tengerszintfeletti magasságban elérhető s belőle források is fakadnak, addig a megyehegyi dolomitban az egyik szomszédos ipartelep fúrása a karsztvízszintet csak 260 méter körüli tengerszintfeletti magasságban, 80 méteres meddő szakasz után érte el. A hegyoldalban e szintben is fakadnak karsztforrások. Még mélyebben fakadnak a vető mentén elválasztott fődolomit forrásai.

Ha már most ezek szerint hasonlítjuk össze Középhegységünk karsztstílusait, az eddigiekhez hozzátehetjük, hogy a *Mecsek, típusos összetett karszt*, melynek



vízzárórétegeit itt az idő rövisége miatt nem részletezem. A kagylós mészkőben tárolódó karsztvízszint sekélykarszt, forrásai részben *túlnyomó források*. A gömöri karszt a *leszálló karsztvíz* övet tárja fel, a felszín közvetlenül víz-teleníti, s mint az Agteleki barlang is mutatja, nyílt víztükrökkel, földalatti patakokban és nyelőkön át szállítja vizét a mélységben meghúzódó támaszkodó karsztvíz felé. Forrásai, melyek Aggtelek körül fakadnak, típusos leszálló karsztforrások, melyek természetesen nem lennének alkalmasak arra, hogy segítségükkel a karsztvíz szintjét rögzítsük.

Kétségtelen, hogy karsztvíztérképeinken a karsztvíz felszínre lépésének adatait *bizonyos szelekcióval lehet felhasználni*. Nemcsak minden parageoszinklinálisunk területét kell külön karsztegységként kezelni, hanem minden forrásvidékünkkel kapcsolatban célszerű volna megszerkeszteni a hozzátartozó profilt és külön-külön egyénileg megismerni a forrás anatómiáját és fiziológiáját.

A karsztvíz izohipszás térképek első megszerkesztése, s a döntő lépést jelentő első munkahipotézisek után most eljutottunk a részletes analízis szükségéhez, s ezen keresztül el fogunk jutni a szintézishez is, mely meg fogja adni a gyakorlati élet számos nyílt kérdésében is a választ és a megfelelő útbaigazítást.

# A KARSZTVIZEK MENNYISÉGI ÉS MINŐSÉGI VISZONYAIRÓL

PAPP FERENC

A karsztvíz mennyiségét illetően az a vélemény alakult ki, hogy rendkívüli bőőség jellemzi, minőségét illetően pedig a magasabb hőmérséklet és nagy keménység lennének sajátjai. E megállapításoknak részletadatokkal való szétbontása, igazolása, illetve kiegészítése lenne ennek az előadásnak feladata.

1. A karsztvíz mennyiségi vizsgálatakor rendelkezésre állnak a bányaművelés során megállapított adatok, továbbá a geológusok, mérnökök, geográfusok és forráskutatók megfigyeléseiből származó hozamértékek.

<i>Budai források</i>	35 000 l/p
<i>Pilisi (Dorog—Tokod)</i>	70 000 l/p
<i>Gerecse (D.-almás, Tatatóváros, Tatabánya, egyéb helyek)</i>	113 000 l/p
<i>Vértes (Zámoly)</i>	70 000 l/p
<i>Bakony</i> É-i rész	75 000 l/p
Ny-i rész	57 600 l/p
K-i és D-i rész	53 000 l/p
<i>Mecsek</i> Siklós	5 670 l/p
	770 l/p
<i>Naszály-csoport</i>	1 000 l/p
<i>Bükk</i> Eger + Tapolca	17 500 l/p
Szilvásvárad, Békkő, Garadna, Szinva, Aggtelek, Uppony	63 000 l/p

Mindezekből kitűnik, hogy Dunántúl percenként  $315,5 \text{ m}^3$ , a Dunán inneni területen pedig percenként  $64 \text{ m}^3$  karsztvíz tör fel. Kérdés, hogy a nagy tömegű víz előtörése mennyiben állandó, észlelhető-e változás, s ha igen, mely tényezők okozzák ezt.

A változást külső tényezők és belső adottságok okozzák. A külső tényezők közül az éghajlat, mégpedig a csapadék, a hőmérséklet, a légnyomás, mint további tényező a húzóóó törmelék, a lebegő alkatrészek és az emberi beavatkozás veendőö figyelembe.

A karsztvíz mennyiségét szabályozó belső adottságok közül az előfordulás helye, fekvése, a víztartó közet szerkezete, a rétegek helyzete, települése (azaz töréses v. gyűrt volta), szivornyahatás és bizonyos oldott alkatrészek jelentőöök.

Akár fedett, akár nyílt karsztvíz-előtöréssel állunk szemben, a vízhozam változik. A vízhozam-változás természetesen a nyílt karszt esetében igen nagy: a Mecsekben, a Tettye-források csoportnál 10-szeres is lehet a különbség, gyorsan következik be s ugyancsak hirtelen csökken. Ezzel ellentétben a fedett karsztnál lassú a változás. Dorog—Tokod karsztvizei 6 hónapos késéssel érzik meg a csapadék hatását.

2. Az évszak a rá jellemző hőmérséklettel ugyancsak hat. Különösen tanulságos a tél és a tavasz megfigyelése. A fagy ugyanis fékezi, sőt több helyen elfojtja a vízelőtörést. Ebből a szempontból igen tanulságos a Bükk-hegység közepén levő Garadna és Sebes források vízmennyiségének változása. A Garadna főforrásának minimuma télen van 1200 l/p, maximuma 1800 l/p. A Sebes forrás minimuma télen 100 l. percenként, de tavasszal a maximum felszökik 1500 l/p-re. Mind a Garadna, mind pedig a Sebes forrás esetében a téli fagy felengedése, a felmelegedés után is bő csapadék, s a hóolvadás is emeli a vízhozam mennyiségét.

3. A légnyomás közvetlen hatását eddig csak az óbudai Árpádforrásnál sikerült kimutatnunk. Itt kétségtelen, hogy a magas légnyomás csökkenést, az alacsony pedig növekedést von maga után. A Forráskutató Osztály más forrásokat is figyelt ebből a szempontból, de azokban nem karsztvíz lévén az uralkodó elem, azért ezt fentiekkel egyező eredményekre példaképpen nem emeljük ki.

4. A mozgó törmelék erodáló hatása is hozzájárulhat a járatok kiszélesítéséhez s így a víz előtörésének elősegítéséhez. Ha erre vonatkozólag nem is rendelkezünk közvetlen bizonyítékkal mindamelllett az a jelenség, hogy a barlangok járataiban törmelék és kavics van, alátámasztja ezt a feltevést. E helyen azonban egyben utalnunk kell arra is, hogy az ilyen törmelék egyúttal járatokat is eltorlaszolhat s így — legalább is ideiglenesen — csökkentőleg is hathat.

5. A lebegő alkatrészek alatt a finom iszap, agyag értendő, melynek járatokat kitöltő szerepe közismert. A Bükk-hegység DNY-i részén létesült egyik kutató akna feltárt vízjárataiban mintegy 160 m<sup>3</sup> iszap zárta el a víz útját, de a valóságban az iszaptömeg még jóval több, mert az odatorkoló járatok, üregek is azzal teltek.

6. Az emberi beavatkozás ugyancsak nagy mértékben hozzájárul a karsztvíz mennyiségének változásához. A bányaművelés során feltárt 33 m<sup>3</sup>/p-t is elérő vízbetörés ugyanúgy bizonyítja ezt, mint azok a víztermelésre telepített aknák, melyek iparunk támaszai. De az emberi beavatkozással nemcsak feltárni, hanem fékezni, elvezetni is lehet a karsztvizet. Itt most necsak a Dorogon kezdeményezett és 2 évtizedes bevált cementálási eljárásra gondoljunk, hanem arra is, hogy kellő megfontolás híján végzett robbantások a legkritikusabb szintben megrepszthetik a víztartó réteget s a víz az újonnan keletkezett réseken mélyebb szintekbe megszökik. Erre is vannak példák.

A karsztvíz mennyiségét szabályozó belső adottságok közül mindezek előtt

1. az előfordulás helyének vizsgálata emelendő ki. Hely alatt a fekvés értendő. Különösen szembetűnik ez, ha egy vidéken több szintben jelentkezik

a karsztvíz, mint a Bükk-hegység közepén Omassa körül. A magasabb szintből (510—550 m) fakadó sebes vízhozam az említett tényezők, a talaj hőmérséklete, csapadék szerint igen változik, percenként 100—1500 liter; ezzel ellenében a Garadna völgyében a Margit források hozama állandó, kiegyensúlyozott, a 260—300 m: vastag víztartóréteg-sorozat kiegyenlíti a csapadék okozta változásokat.

Igen érdekes pl. a Vitális Sándor által leírt sikondai fúrás esete is.

Adatai szerint	318 m-ben	80 l/p
	330 «	150 «
	375 «	300 «
	386 «	1000 «
	400 «	1500 «
	415 «	2000 «

volt a vízhozam. Ez azt jelenti, hogy a karsztvíz mennyiségének fokozása szempontjából előnyös, ha nem elégedünk meg a karsztvíz első fellépési helyén észlelt mennyiséggel, hanem mélyebbre megyünk s ekkor hatványozott bőséggel tör elő. Ez a mélyebbre való hatolás azonban nem korlátlan. Albel Ferenc igen nagy jelentőségű véleménye szerint ugyanis a karsztosodás csak egy bizonyos mélységig tartana. Szerinte Dorog—Tokod vidékén —250 m-en alul karsztosodás már nincs, tehát ott karsztvíz sem remélhető.

2. A kőzetek szerkezetének vizsgálatánál ne csak a víztartó mészkő, illetve dolomit szerkezetére gondoljunk, hanem a vizet vezető fedőrétegek szerkezetére is.

Meg kell említeni azt, hogy nemcsak a mészkő, hanem a dolomit is számottevő, komoly vízmennyiséget vezet a hasadékaiban. Különösen fontos erre gondolni a dolomitba telepített vízszűrő aknák lemélyítésénél. A dolomitban nem ritkaság a 0,5 m vastag hasadék sem, melyben pedig számottevő vízmennyiség tárolódik. A dolomitban ezeken a hasadékokon kívül a karsztvíz a hajszál-vékony repedéseken is előserken, ez azonban távolról sem olyan tömeg, amely igazán nagy vízszükséglet fedezésére elegendő lenne. E kérdés teljes tisztázására vonatkozólag Ajtay, Venkovits és Kessler megfigyelései is igen értékes felvilágosítást nyújthatnak, érdekes lenne külön részleteiben is megvitatni az erre vonatkozó megállapításokat.

Van hely, ahol a vizet tároló kőzet, így a dolomit teljesen porló-lisztes, a márga pedig agyagos. Inotán a dolomit szétporlott-lisztes kifejlődése, az egyik tárnában rövidebb szakaszon akadályozta a víz bővebb előtörését. A Ráczfürdőnél a forrásjárat tisztítása minden alkalommal 50%, sőt ennél is nagyobb vízhozamjavulást eredményezett, amikor az elagyagosodott márgát a forrásjárat elől eltakarították.

A karsztvíz előtörését befolyásolja az, hogy vajjon közvetlenül a mészkő, illetve dolomitsziklából, vagy pedig egy a mészkő, illetve dolomitrétegre települő

más kőzetből tör-e elő. Utóbbi esetben két véglet lehetséges, vagy laza üledékből, homokból, iszaphból vagy tömött kőzetből: márgából, homokkőből, esetleg valamilyen eruptív kőzetből lép ki. A laza, nagy hézagterfogatú rétegekben kisebb ellenállást kell leküzdeni a feltörő karsztvíznek, viszont a hézagok közt könnyen elszökik, tehát a víz mennyisége ilyen helyeken csekélyebb. Amennyiben a karsztvizet tartalmazó mészkő-, illetve dolomit-rétegre összeálló tömött fedőkőzet települ, úgy a víz előtörése erőteljesebb. Az utóbbira sok szomorú példa ismeretes a bányaművelés során, ilyen például a kósdí vízbetörés. A laza üledékekkel való fedésre példa az óbudai Római-fürdő forrásainak feltörése.

3. A karsztvíz előtörésére a rétegek helyzete, települése is hat. Közismert, hogy a törések mentén kifejlődött karsztos járatok, hasadékok tárolják, vezetik a vizet. Ha mélyebbre hatol le a törés, akkor melegebb víz jön elő. A karsztos járatok, hasadékok szélessége is közvetlenül befolyásolja az előtörő víz mennyiségét. Így magyarázható sokszor az az eset, amidőn szerény hozamú karsztvízforrás közelében dúshozamú látható. Így pl. a Bükkben Ómassa felett a Csikorgó völgyben találtunk gyengehozamú karsztvízforrásokat, e helytől délre a Kerek-hegy É-i oldalában pedig egy mélyreható hasadékból tör elő nagy bőséggel a Garadna.

Nemcsak a törések, hanem a rétegek gyűrt volta is számít a víz előtörésénél. Karsztvíz nem jelentkezik az antiklinálisok, dómok tetején, hanem legfeljebb a szárnyakon és méginkább a szinklinálisokban. Erre a legszebb példák éppen a főváros területén találhatók.

4. Igen érdekes a szivornyahatás kimutatása. Ez Galli László érdeme, aki a Bükkben az Ómassa körüli forrásoknál tapasztalta azt, hogy csak 140 mm után indul meg a vízszolgáztatás.

Forráskutató osztályunk két fiatal tagja, Almássy Bálint és Máray Ferenc, a tatai Nagyforrások és a Fényes-források között azt az érdekes összefüggést találták, hogy amidőn a Nagyforrások hozama bővebb volt, ugyanakkor a Fényes-források kevesebb vizet hoztak a felszínre. Ez egy lassú földalatti ringómozgás következménye lehet.

*A tatai források hozammérésének legújabb adatai*

		Nagyforrás	Fényes-források
1951.	jún. 10. ....	543 l/sec	709 l/sec
	júl. 12. ....	670 «	536 «
	szept. 6. ....	595 «	630 «
	okt. 28. ....	695 «	368 «
	nov. 25. ....	676 «	374 «
1952.	febr. 10. ....	571 «	301 «
	márc. 23. ....	462 «	410 «

Az adatok azt mutatják, hogy a két források közötti hozamának ingadozása általában ellentétes értelmű.

A népparki »Kis forrás« megfigyeléseim óta stagnál, a forrásmedence teljesen ki van száradva.

A »Nagy forrás« rendszeres napi mérése folyamathan van.

A tatai Öregtó medrében fakadó forrásokat a tó lehalászása idején, 1951. november 25-én tudtuk megfigyelni. Ezek adatai:

Horusitzky H.		
	1917.	1951. nov. 25.
A vár alatti forrás.....	10 998 l/p	4060 l/p
A tó ÉK-i partmenti forrásai	1. 498 « 2. 498 «	122 « 244 «

A vár alatti forrásnál a víz két helyen tör fel, ezek hőfoka különböző: 20,4° és 21,3° C. Hozamukat csak együtt lehetett megmérni.

5. A karsztvíz előtörésénél fontos szerepük van az oldott alkatrészeknek, elsősorban a gázoknak. Egyik legszembetűnőbb példa erre Mezőkövesd, ahol a szénsav hajtja fel a vizet, de hasonló jelenségek más forrásoknál is észlelhetők. Így a Budapesti Széchenyi-fürdő mindkét forrásánál a gázok lüktető előtörése figyelhető meg. Hasonlóképp Harkányban is. Az oldott alkatrészek fékező hatása nincs ugyan szabatosan megállapítva, de kétségtelen, hogy egy-egy forrásnak minél több oldott alkatrészt kell felhozni, annál nagyobb ellenállást kell leküzdeni. Érdekes és érdemes lenne a Margit-sziget I., III. artézikutját és a Dagály-utcai nagybőségű artézi kutat e szempontból megvizsgálni.

Előadásom másik célja röviden tájékoztatást adni karsztvizeink minőségéről. E tekintetben a karsztvizek hőmérséklete és vegyi összetétele jön számításba.

Karsztvizeink hőmérséklete mindenütt meghaladja az évi középhőmérsékletet s legalább 14–15° C melegek. Az irodalomban szereplő alacsonyabb (9–10° C) hőfokú források, véleményem szerint felszíni források, vagy legalább is felszíni vízzel nagy mértékben keveredett vízelőtörések. Viszont a 14–15° C-ot meghaladók amilyen arányban magasabb hőmérsékletűek, olyan mértékben keverednek más, jóval mélyebb szintekből előtörő hévizekkel. E tekintetben is érdekes feladat lenne a hőfokból a keveredés arányára következtetni tudni. Az Alföldön levő igen nagy hőmérsékletű forrásainknál a vizet adó kőzet, illetve a víz összetétele szabja meg azt, hogy melyiket lehet vegyes jellegű karsztvíznek tekinteni. Így pl. Mezőkövesd feltétlenül karsztvizet tartalmazó, hasonlóképpen Komló és Sikonda, viszont Hajduszoboszló, ahol kristályos palát ütöttek meg, nem.

A minőség egyik fontos meghatározója a víz kémiai összetétele. A karsztvizekkel többen is foglalkoztak s Emszt K., Szentornay, Maucha R., Sarló K., Papp Szilárd, Gedeon K. az összetételre biztos támpontot nyújtanak. Szentornay és Papp Szilárd pedig a vegyész biztonságával értelmezték az adatokat.

Közös további jellemző tulajdonságuk az, hogy változó keménységük »20« körüli, állandó keménységük pedig minimális.

Amíg a Ca, s egyes tájakon a Mg és a H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> is uralkodó alkatrész, addig a K, Na, SO<sub>3</sub> a Cl alárendelt.

A geológusok részéről az egyik itt jelenlévő, a gyógyvizek s a földtani adottságok alapján kísérte meg az összefüggéseket kimutatni, de mindezeket

	Összes szilárd maradék g/l	Ca	Cr g/l	Mg g/l	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>
Dunántúli langyos karsztvizek 0,002 .....	0,3—0,7	10—14	0,07 0,11	0,03 0,05	0,013—0,006
Dunántúli meleg karsztvizek 0,04—0,05	0,78—1,12	30—76	0,74	0,36	0,07 —0,02
Bükkhegyeségi karsztvizek 0,001 .....	0,3—0,45	10—32	0,089 0,127	0,021 0,007	0,03 —0,002
Aggteleki karsztvizek ....	0,206—0,259	10	0,006 0,009	0,002 0,012	0,01— 0,009

felülmulta Szádeczky Elemérnek »A Dunántúli Közép-hegység karsztvizének néhány problémájáról« címén megjelent tanulmánya, mely alapvető szintézise a karsztvíz összetételre vonatkozó ismereteink jelenlegi állásának.

Szádeczky Elemér a karsztvizek összetételének állandóságára és kiegyensúlyozottságára mutatott rá. Eszerint az összes szilárd maradék átlag 0,5 g/l, ebből 0,07—0,11 g/l a Ca s 0,03—0,05 g/l a Mg; a H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> uralkodik, a Cl és SO<sub>4</sub> csekély. E megállapításai a Dunántúli karsztvizekre vonatkozólag helytállóak. Helyes más összehasonlítása is, amit a Bükk-hegységi és aggteleki, kevésbé telített karsztvizekre vonatkozólag tett, ahol az átl. szilárd maradék jóval kisebb, mint a dunántúli karsztvizeké s a Mg meunysége is feltűnően kisebb.

Magam csak a H<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> és K meghatározásának szükségességére és fontosságára hívnám fel a figyelmet. Ezeknek értéke eruptív kőzetek, vagy kristályos palák mélységben való közelségére utal.

A karsztvizek állapotának további fontos jellemzője a nyomás. Ezért fontos a feltörés *magasságának* állandó figyelése. Egy-egy kérdéses karsztvíz erejének mértéke ez, csökkenése a bányaművelés helyén némi megnyugvást, a víztermelő helyeken pedig aggodalmat okoz. Bárhol is legyen azonban az a karsztvíz előtörési hely, állandó, gondos figyelése nem hiábavaló munka. Néhány erre vonatkozó példa :

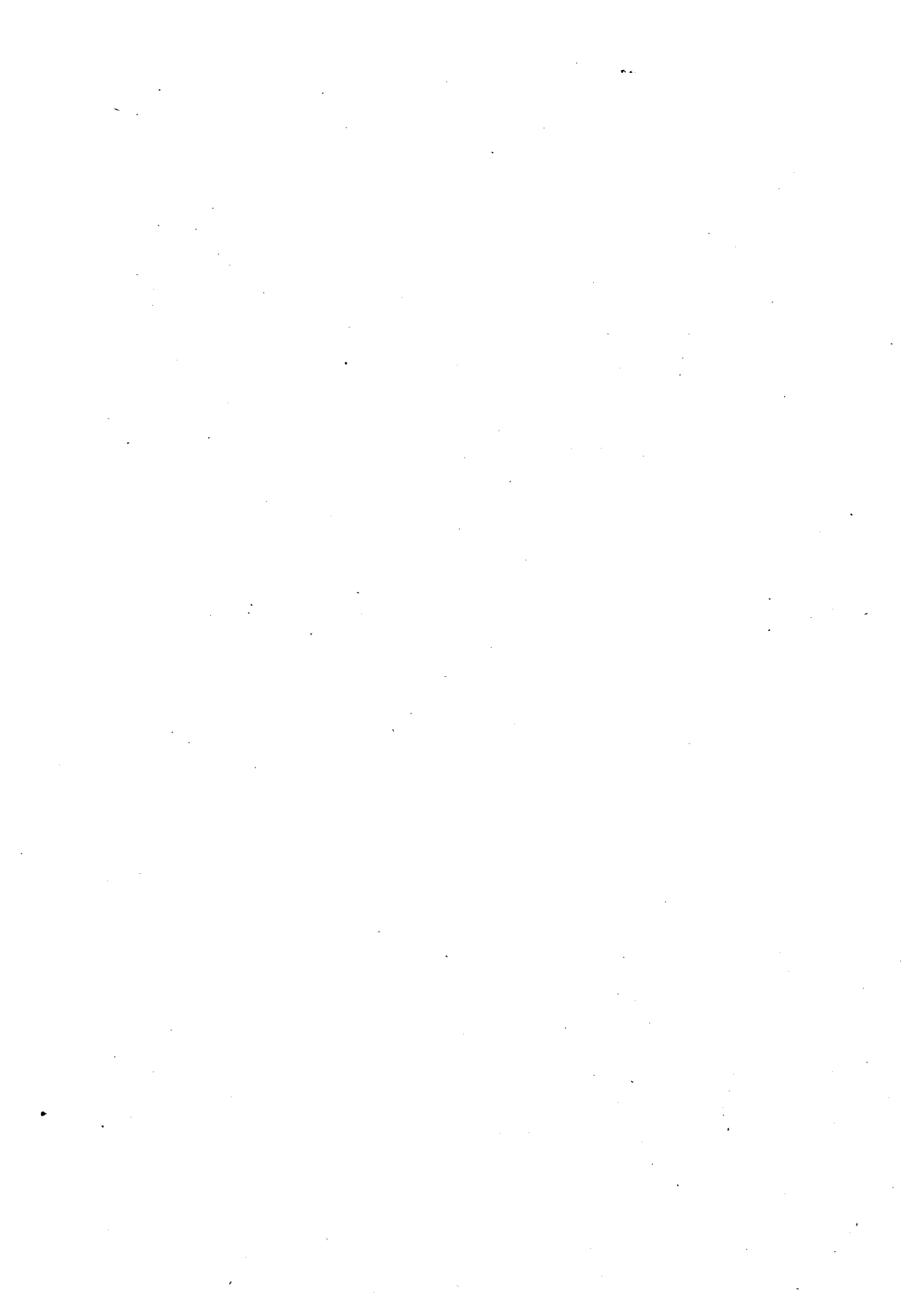
Budapesten :	1934	<i>jelenleg</i>
Margitszigeti I. sz. fúrás ....	+ 6,40	— 1,20
Juventus art. kút fúrása ....	+ 0,60	+ 0,00
Attila « « « .....	+ 0,40	— 0,10
	1947	<i>jelenleg</i>
Erzsébet Sósfürdő.....	+ 3,16 m	+ 2,8 m
Sikonda .....	+ 4,00	+ 0,0

Ezek kirívóbb esetek, több példát is lehetne felsorolni. A nem tisztán karsztvíz előtörésekből is megállapítható, hogy a megfigyelések kezdete óta csökkenés észlelhető.

Mint láttuk, a karsztvizek mennyiségi és minőségi állapotára vonatkozólag már becses adatok birtokában vagyunk, de ezeket mindamellet még nem tartjuk elegendőnek. Akiknek a karsztvíz kárt, veszélyt, vagy akiknek előnyt, hasznot jelent, közös érdeke, hogy ne szorványos, ötletszerű adatok, hanem rendszeres megfigyelések alapján szerzett értékekkel számolhassanak. Helyes lenne, ha a mostani ankét megszervezné a karsztvíz mennyiségi és minőségi vizsgálatát országos viszonylatban, úgy ahogy az E. M. a karsztos gyógyvizekkel tette, de e vizsgálatok további növelését kellene javasolni, hasonlóképpen erősíteni kellene a Vízirajzi Kutató Intézet Forráskutató Osztályát, mely eddig is példás munkát végzett. E két intézmény azonban tervszerűen csak a felszínre tört karsztvízzel foglalkozott. Több helyen, több alkalommal felmerült az a terv, hogy a bányaművelés során feltárt karsztvizeket is rendszeresen figyeljék. A Bányászati Kutató Intézet lenne erre a leghivatottabb, e munkájába fiatal megfigyelő munkatársakat és az adatokat kiértékelő idősebb, tapasztalt kartársakat vonhatna be.

Meg kell állapítani, hogy mekkora a karsztvíz készletünkből előtörő vízmennyiség, ez azonban csak rendszeres mennyiségi és minőségi vizsgálat alapján lehetséges.





# ÚJABB MEGFIGYELÉSEK A KARSZTVÍZKÉRDÉSSEL KAPCSOLATBAN

VENKOVITS ISTVÁN

Magyarországon a karsztvízkérdéssel kétféle szempont szerint foglalkoznak: a víznyerés és vízelhárítás szempontjából.

Mindkét szempont a földalatti vizek útjainak, elhelyezkedésének megismerésére törekszik, mindkettő a bő vízáadó helyeket igyekszik kifürkészni, de ellentétes céllal.

Mivel a vizek elhelyezkedése, áramlása, mennyisége, minősége erősen függ a vizet tároló kőzet földtani kifejlődésétől, térszíni helyzetétől, szerkezeti adottságaitól, az egyöntetűség miatt javaslom, hogy a jövőben a karsztvízkérdéssel foglalkozó kartársak előadásaikban, írásaikban legalább egyszer pontosan jelöljék meg, hogy milyen földtani korú kőzethez kapcsolt és milyen térszíni elhelyezkedésű karsztvízről beszélnek. Különböző földtani időszakhoz és korhoz tartozó mészkövek, vagy dolomitok esetében jelöljék meg, hogy a szóbanforgó réteggösszlet hogyan viszonylik a terület általános nyugalmi vízszintjéhez. Összegezve tehát azt javaslom, hogy az egyszerűnek látszó és mégis bonyolult »karsztvíz« elnevezés helyett földtani elnevezést használjanak térbeli adattal kiegészítve.

A Bakonyban több éven keresztül folytatott hidrogeológiai megfigyelések során, azt tapasztaltuk, hogy a vizsgált vizek kémiai összetételében nincs meg az a jól körvonalazható következetesség, mint azt a kőzetek minősége alapján reméltük, hanem különböző zavarok mutatkoztak. Ezek a zavarok elsősorban a biztosan karsztos kőzetekből származó vizeknél tűntek fel, mert a karsztvizek kémiai összetételét eddigi ismereteink alapján határozott kémiai értékek között mozgónak véltük. A dorogi szénbányában végzett rendszeres vízvizsgálatunk is alátámasztotta a karsztvíz alaptípus megállapított értékeit. Meglepetésként ért, mikor a földtanilag különböző korú karsztos kőzetek vizei között lényeges eltéréseket találtunk.

A közel 600, azonos módszerrel, végzett helyszíni vízvizsgálat eredménye még feldolgozás alatt áll, de az már most közölhető, hogy a különböző területről származó, térszínileg más helyzetű, de földtanilag azonos korú mészkő- és dolomitképződményekből származó vizek között jelentős kémiai különbségek vannak. Ugyanez áll az azonos térszíni helyzetű, de különböző

korú mészkő- és dolomitrétegek vizeire is. Ezeket az eltéréseket a földtani megfigyelések segítségével minden esetben »magyarázni« kell. Bizonyos fokig ez lehetséges is. Nagyobb a baj azonban, mikor nem karsztos kőzetekből eredő vizek esetében kapunk meglehetősen típusos karsztvíz összetételt. Ezek a kőzetek teljesen függetlenek a karsztvizektől, s vizüket nem lehet karsztos kőzetek vizeinek feltöréseivel, vagy másfajta vízáradással kapcsolatba hozni. Ilyen rendellenesség a löszaljai vizektől kezdve a permii vörös homokkő vizeiig minden képződményben előfordulhat. Miocén, vagy pannon vékony ábráziós kavicsok alól szivárgó vizek különösen gyakran mutatnak karsztvíz összetételt. E képződmények rendszerint a felszín közelében találhatók.

Ezekből a megfigyelésekből, valamint a barlangi csöpögő vizek (melyektől a felszín csak pár méterre van) kémiai összetételéből nem következtethettünk a lezivárgó vizek egyszerű oldótevékenységére, részben a lezivárgás rövid időtartama, részben — főleg kvarckavicsok esetén — az oldási alany hiánya miatt. Így jutottunk arra a gondolatra, hogy megvizsgáljuk a talajon átszivárgó csapadékvizek változását még a talajban, illetve a talajból való kilépése és a kőzetbe való belépése között. Egyszerű berendezés segítségével karsztos mészköveket borító talajokból 30, illetve 60 cm-es vastag, henger alakú részeket vágunk ki. Zárt, szénsavmentes térben 8 óra alatt  $1\frac{1}{2}$  l mennyiségű szénsavmentes desztillált vizet permeteztünk a talajmintára. A talaj alatti szűrőn lecsöpögő vizet a szokásos módszerekkel megelemeztük. Ugyanazzal a talajmintával a kísérletet 24 óra múlva megismételtük. Az eredmény annyira meglepő volt, hogy a jövőben a vizek kémiai összetételénél a talaj szerepét is figyelembe kell vennünk, melyből a normál csapadékviszonyok idején a koncentrált talajoldatok gravitációs úton kerülnek be a mészkövek és egyéb kőzetek vízháztartásába. Szükségesnek tartjuk, hogy hasonló kísérletekkel a talaj szerepének vizsgálatát szélesebb alapokra helyezzük. A vizsgálatokat elsősorban a karsztos kőzeteket fedő talajokra kell kiterjeszteni, de célszerű, összehasonlítás végett más kőzetek talajainak hatását is megvizsgálni.

A sok elemzés lehetővé tette a karsztos kőzeteken átszivárgó vizek oldási határának megvonását is. A barlangok és mesterséges feltárások ma látható függőleges vízjárataiban mindenütt cseppkő-kiválásokkal találkozunk. A triász mészkő és dolomit nyugalmi szintű vize mész—szénsav egyensúlyban van. Mészagresszió csak főtörések közelében, fiatal vulkánikus területeken gyakori, egyébként a mezozoós alaphegységben ritka. A jelenkori szénsavtartalmú csapadék oldóképessége vízzel telt hasadékok esetében általában 7 m-ig, szélesebb hasadékokban pedig, feltéve, hogy a víz a hasadéknak csak az egyik falán csurog le, 60—70 m-ig terjed.

Ez a megfigyelés látszólag ellentmond Albel kartársunk megfigyeléseinek, de dorogi viszonylatban az üregeket nem felszíni karsztosodás, hanem elsősorban a tektonika, másodsorban a területen működött termák vízalatti

korrozója hozta létre. Tehát az erózióbázis szintjében ható kémiai és mechanikai barlangképző tényező a felszíni vizek agressziója nélkül is eredményesen működhetett. A fiatalkori mozgások hatására megemelkedett terület lehűlt vizeiből megindult ásványkiválás pedig megfigyelhetően bekövetkezett.

A karsztos kőzetek erózióbázisán kifejlődött nagyobb mérvű üregesedés természetes dialektikus folyamat, mert a területre lehulló vízmaximumok a hegységperemi vízmegcsapolásokon sokáig nem vezetődhetnek el, ezért a vízszint parabolikusan megemelkedik. Ez az oszcilláció igen jelentős mechanikai barlangképző tényező. Hogy ma a nagyobb barlangokat nem az erózióbázison találjuk, azt későbbi tektonizmusra vezetjük vissza.

A bemutatásban javasolt karsztvízelvezetések földtani és térszíni megjelölésének keresztülviteléhez mindenesetre szükség van megbízható, jól elkülönített vízmegfigyelésekre. Ismeretes, hogy az egymástól vizet rekesztő képződményekkel elválasztott karsztos kőzetek vízei vetők mentén és mesterséges perforálásokon át egymással összefüggésben vannak. De ha a mezozoós karszt vízének nyugalmi szintje egy-egy kérdéses területen ismert, úgy nem okoz nehézséget az erre támaszkodó fiatalabb karsztos kőzetek vizeinek mennyisége, megjelenési formájára, függőleges áramlására helyes következtetést adni. A triász képződmények a felszíntől többszáz m vastagságig víztartó kőzetnek számítanak, bennük a vizeknek egy szerkezeti rendszeren belül szabad áramlása lehetséges, így az általános orográfiai és földtani medencék peremei felé ezek áramlásban vannak. Egy ilyen áramlásban levő rendszer a reá támaszkodó vizekre nézve nyelő természetű. A nyelés mértéke függ a mélybe vezető mesterséges, vagy természetes lehetőségek méretétől, az eláramlás sebességétől, s az elnyelt víz utánpótlásától. Ezek együttesen alakítják ki a depressziókat, melyek már nem simulnak szükségképpen az alaphegység vizeinek parabolikus felületéhez, hanem önálló vízdomborzatot mutatnak, melyben a horizontális áramlás mellett a vertikális áramlás mértéke is jelentős szerepet játszik.

Barlangkutatás során először Dorogon figyeltünk fel azokra a hasadékbarlangokra, melyek hosszú mészkővágatok tömör kőzetei után egyszerre folyosószerűen bukkannak fel. A bányavágatok több helyen tártak fel ilyen hasadékbarlangokat. E barlangok iránya közel ÉD-i, a barlangok falát termális ásványkiválások borítják. Az ásványok kiválásai víz alatt történtek. A víztelepedés oka későbbi kiemelkedés. A Dachsteinmészkő hasadékainak a +130-as szint alatti részein a langyos víz ma is észlelhető. A kiemelkedés során a szembenálló falrészletek egymástól elmozdultak, de nem záródtak össze. Az elemző geomechanika magyarázatát adja az ez irányokban levő hasadékok nyitottságának. (Schmidt E. Róbert; A geomechanika alapjai. Bányászati és Kohászati Lapok 1948 III. 8). Ezt a tényt a dorogi vízbetörések néhány esete is igazolja, ugyanis a Tokodaltáró-i részekben a nagy vízmennyiségű betörések ilyen irányokhoz kötöttek és ilyen vízbetörések esetében volt nagyobb távolságra is kimutatható a vízbetörések következtében előállt átmeneti vízszintcsökkenés. A geomechanikai

módszer továbbfejlesztésével s a jelenlegi tektonikai kép segítségével fel kell kutatnunk ez irányokhoz kötött, jelenleg talán elrejtett üregeket, hogy a vízbetörés valószínű helyét már jóelőre megjelölhessük. A Dunántúli Középhegységben ez az irány több barlangunkban felismerhető. Vízkutató fúrásainknál ma már céltudatosan keressük ezeket az irányokat, mert ez irányokban mélyreható nagy szerkezeti vonalakat vélünk, melyek a fő törési irányokhoz képest viszonylagosan jobban nyitottak.

# A KARSZTVÍZ ELLENI VÉDEKEZÉS JELENLEGI ÁLLÁSA ÉS MEGOLDÁSRA VÁRÓ PROBLÉMÁI

VIGH FERENC

A karsztvíz elleni védekezés évtizedek óta foglalkoztatja szakköreinket úgy tudományos, mint gyakorlati vonatkozásban. Ezen idő alatt a vízveszély elleni védekezés nagy fejlődésen ment keresztül, különösen a Schmidt-féle cementálás bevezetése óta. A kérdést azonban mégsem tekinthetjük teljesen megoldottnak, mert a mélység felé haladva a védekezés mindig újabb nehézségekkel kerül szembe.

Ötéves tervünk a széntermelés hatalmas arányú fejlesztését írja elő és a súlypont a karsztvíz által veszélyeztetett jó minőségű szénmedencékre esik. Minél jobban fokozzuk termelésünket, annál mélyebbre kell a karsztvíznívó alá hatolni és annál sürgetőbb a függő kérdések megoldása és a védekezés tökéletesítése.

Mivel a tapasztalat szerint a karsztvízveszély a hegyképződéssel kapcsolatos elmozdulások folytán keletkezett vetőkkel és az azok mentén a mészkőben bekövetkezett karsztosodással kapcsolatos, rendkívül fontos érdeke a tervszerű bányavezetésnek és a vízveszély elleni védekezésnek, hogy az alaphegység tagozódását még a feltárás megkezdése előtt minden eszközzel kikutassa és térképezze, mert az alaphegység tagozódásának ismerete egyben a vízjáratok helyzetét is tisztázza.

A vízveszély elleni védekezés szempontjából ezért bányászatunk legfontosabb problémája a vízjáratok bonyolult hálózatának a felkutatása, mert ez képezi alapját úgy a preventív, mint a tényleges védekezésnek. A feladat kétféle módon: direkt és indirekt úton oldható meg. Bár vannak reményre jogosító kezdeményezések a karsztvíz helyének geofizikai mérésekkel való közvetlen meghatározására, azonban annak kikísérletezése és gyakorlati alkalmazása még hosszabb időt igényel. A Bányászati Kutató Intézet ezért a közvetett módszer alkalmazásával végezte a karsztvízjáratok bonyolult hálózatának a felderítését. A közvetett módszer szerint az alaphegység tagozódását a hegyszerkezeti megfigyelésekből és a lemélyített fúrások adataiból állapítja meg és a határozatlan vetők pontos helyzetét külszíni szeizmikus mérésekkel tervezi meghatározni, illetve ellenőrizni. A hegyszerkezeti térképeken az alaphegység és széntelep közötti védőréteg vastagsága  $m/atm$ -ban kifejezve külön színezéssel

van feltüntetve. A felvételt a Bányászati Kutató Intézet a Földtani Intézettel és a szénmedence bányamérnökeivel szoros együttműködésben, munkaközösségben végezte. Eddig a dorogi és az ajkai szénmedence átnézeti és részletes hegyszerkezeti térképei készültek el, melyek közül egy-egy példányt bemutat azzal a hozzáfűzéssel, hogy mivel Ajkán a fedűben és fekűben is előfordul mészkő, a védőréteg változását úgy a fedű, mint a fekűre vonatkozólag kellett elkészíteni.

A dorogi hegyszerkezeti térképek kiértékelése azt mutatta, hogy a vízbetörések 80%-a közvetlen a vetődések mentén következett be, 16%-a pedig a vetők töredezett zónájára esik és csak 4%-nál nem volt megállapítható a vetődéssel való összefüggés. Ez a megállapítás teljes mértékben igazolja, hogy a vetődések és vízbetörések között a legszorosabb összefüggés áll fenn, vagyis helyes utat követünk, amikor a vízjáratok bonyolult hálózatát közvetett úton, vagyis a vetődések meghatározása által állapítjuk meg. Az átnézeti térképek a medencében uralkodó vetőrendszerekről, azok összefüggéseiről és a védőréteg alakulásáról nyújtanak felvilágosítást, a részletes tektonikai térképek pedig a tervezés és a feltáráshoz, valamint a preventív védekezéshez szükséges adatokat tartalmazzák.

A vízveszély elleni védekezésnél a második döntő jelentőségű tényező a védőréteg alakulása. A védőréteg védőhatásának elbírálásánál nem az abszolút vastagság, hanem annak a hidrosztatikai nyomáshoz viszonyított értéke a mértékadó, minél nagyobb ez a viszonyszám, annál kisebb a vízbetörés esélye. A térképek kiértékelése azt mutatja, hogy a védőréteggel szemben támasztott eddigi 1,5–2 m/atm igényt csökkenteni lehet és művelhetőség szempontjából a biztonsági tényező alsó határát 0,5–1 m/atm-ban lehet megállapítani. A kiértékelés még számos értékes következtetést szolgáltatott, amelyekre az idő rövidsége miatt ez alkalommal nem térhetek ki, de a térképekhez csatolt tanulmányban részletesen fel vannak sorolva. A kiértékelt adatok alapján megállapítottuk az alapvető és irányadó szempontokat, amelyeknek a karsztvízveszélyes bányák tervezésénél és feltárásnál a lehetőséghez képest érvényesülniök kell és ismerítettük a preventív és tényleges védekezésnél felmerülő problémák megoldási lehetőségeit. A védőréteggel kiegészített hegyszerkezeti térképek feltüntetik a veszélyes szelvényeket, ami lehetővé teszi, hogy a feltárás a veszélyességi sorrendben történjen, másrészt alapot szolgáltatnak a védőpillérek kitűzéséhez és a preventív cementáláshoz.

Az ajkai szénmedence hegyszerkezeti és védőrétegviszonyainak felvétele 1951-ben nyert befejezést és jelenleg annak feldolgozása van folyamatban. Ezzel kapcsolatban Ajkán foglalkozni kell az alkalmazandó művelési rendszerrel is, mert Ajkán a vízveszély és az alkalmazandó fejtési rendszer között szoros összefüggés áll fenn. Tatabányán jelenleg a hegyszerkezeti és védőréteg viszonyok felvétele van folyamatban, melyet követni fog annak feldolgozása, amelyben különösen a peremi területeken alkalmazandó fejtési móddal szintén foglalkozni kell, mert a védőréteg elvékonyodása komoly veszélyt rejt magában.

Hasonló felvételre és feldolgozásra vár a többi karsztvízveszélyes szénmedence, így a pillisi, nagynémetegyházai, oroszlányi, pusztavámi, balinkai, dudari és várpalotai medencék is. Hangsúlyozni kívánom, hogy a hegyszerkezeti felvétellel és annak feldolgozásával a karsztvízkérdés megoldását nem tekintjük lezártnak, mert a hegyszerkezet kivizsgálása a bányászatnak úgyszólván állandó feladatát képezi, amelyet sohasem mondhatunk véglegesen befejezettnek, mert minden újabb feltárás új szempontokat és elképzeléseket vethet fel. Először a vízveszélyt befolyásoló döntő tényezőket kell minden medencében kivizsgálni és csak azután kerülhet sor a kisebb jelentőségű részletek vizsgálatára és feldolgozására. Sokat várunk a különböző geofizikai mérésektől, úgy a kis távhatású új vízmeghatározó készülékektől, mint a szeizmikus módszerrel végzendő hegyszerkezeti megállapításoktól, mert a karsztvízkutatás a geofizikai kutató eszközök alkalmazását a vízjáratok bonyolult hálózatának felkutatásánál nem nélkülözheti.

Karsztvízelzárás terén Tatabányán végeztünk kutató munkát dolomitos jellegű karsztosodás mellett. Dolomitnál ugyanis a vetőmenti repedések szűk szelvénye miatt a cementálás akciórádiusza igen kicsi és a vízfelfojtásnál a beadagolt homok tömeghatására nem lehet számítani, emiatt a hidrosztatikai túlnyomást még zagyszivattyúval kell fokozni, hogy az iszap minél nagyobb távolságra hatoljon a repedésekbe. A vízaramlás fojtására víznél kisebb fajsúlyú polietilén műanyagból készült különböző átmérőjű golyókkal kísérleteztünk eredményesen. Az eljárással eddig 3 vízbetörést zártunk el, köztük egy 5 m<sup>3</sup>-es betörést, igen csekély visszamaradó vízfolyással. A részletekről Kálmán kartárs fog beszámolni.

A dolomitos jellegű karsztosodás a szénbányászaton kívül bauxitbányászatunkat is erősen érinti. A Maszobal felkérésére tanulmányoztuk az iszka-szentgyörgyi bauxitbánya hidrológiai viszonyait és védekezésül a lecsapoló eljárás alkalmazását javasoltuk. Hasonló a helyzet Nyirádon, Halimbán pedig az ajkai viszonyokhoz hasonlóan kettős vízveszéllyel, a triász dolomit és eocén-mész kőből betörő karsztvízzel kell számolni. A karsztvízveszély jelentőségét tehát még a bauxitbányászat is növeli, minek következtében a kérdés megoldása bányászatunk és népgazdaságunk széles területére van kihatással.

A megoldásra váró feladatok részben sürgősen megoldandók, aktuálisak, másrészt hosszabb időt igénylő folyamatos, perspektívikus munkák. Az aktuális feladatok közül fontossági és sürgősségi szempontból először a geofizikai mérések szükségességével foglalkozom.

A tektonikai felvétellel kapcsolatban ugyanis jelentkeztek olyan vetők, melyeknek helyzetét a szórványos fúrásokból nem lehetett pontosan megállapítani. A térképen mégis jelöltük a várható és jellemző szerkezetet oly módon, hogy a határozatlan vetőket szaggatott vonallal megkülönböztetve tüntettük fel. A feltételezett vetők pontos helyzetét még szeizmikus mérésekkel kell meghatározni, illetve ellenőrizni. A szeizmikus mérések földtani szerkezetek fel-



vételére általában alkalmasnak bizonyultak, olyan helyen, ahol az alaphegység és a fedőrétegek vezetőképessége között olyan különbség áll fenn, amely jól észlelhető reflexió keletkezését biztosítja. Dorogi viszonylatban ez kétségtelenül fennáll. A tektonikai felvétel eredménye ugyanis csak akkor tekinthető teljes értékűnek, ha a határozatlan vetők helyzetét szeizmikus mérésekkel ellenőrizhetjük és annak eredményével a térképeket kiegészíthetjük. A szeizmikus mérés az alkalmazott közvetett eljárás befejező részét képezi, így annak elmaradása a tektonikai felvétel értékét csökkentené, mert a határozatlan vetők helyzetének pontos megállapítása nélkül, a vetők tekintélyes részénél a preventív védekezés bizonytalanná válna. A preventív cementálás nagy jelentősége, de a helyes tervezés és feltárás érdeke is feltétlenül megkívánja a szeizmikus ellenőrző mérések elvégzését, mert enélkül a karsztvízveszély elleni védekezés nem fejlődhet jelentőségéhez mérten, és a vízbetörések által okozott üzembizavarakat és elfulladásokat nem lehet kielégítő mértékben megelőzni. A szénbányászat térvfeladatának teljesítése érdekében igen fontosnak tartanám, hogy az Akadémiai Bizottság határozatilag kimondaná, hogy a Geofizikai Intézet intenzív bekapcsolódását a karsztvízveszély elleni védekezésbe feltétlenül szükségesnek tartja.

Külszíni szeizmikus mérésekkel csak a nagy vetőket lehet meghatározni, további komoly segítséget jelentene a kilátásba helyezett víz, illetve vetőmeghatározó geofizikai műszer, esetleg a szeizmikus refrakciós módszer földalatti kikísérletezése, mert ezáltal az üzemvezetők egy műszerhez jutnának amellyel feltárás közben a kisebb vetőket és a veszélyes szelvényeket előre meghatározhatnák. A kis vetők meghatározására ugyanis épp olyan szükség van, mint a fővetőkére, mert a kisvetők a vetőkereszteződések által a fővetőkkel összeköttetésben állnak és a fővetők vizét a vágatokba bevezethetik. Örömmel vesszük tudomásul, hogy a soproni geofizikai munkaközösség a kísérletek végrehajtását programmjába vette.

A geofizikai mérésekkel kiegészített tektonikai térképek alapját képezik a preventív védekezésnek. A preventív cementálás előnye az, hogy nyugvó vízben hajtható végre és emiatt teljes eredményre lehet számítani, megelőzi a vízbetöréseket, miáltal kiküszöböli a vízbetörések által okozott üzembizavarakat és az esetleges elfulladásokat. A tektonikai felvétel csak az esetben jelenthet fejlődést a védekezés tökéletesítésében, ha azt a preventív védekezés szolgálatába állítjuk és a vízbetörés lehetőségét ezáltal csökkentjük. A preventív cementálás bevezetése tehát aktuális, mielőbb megvalósítandó feladat. Kétségtelen, hogy a preventív cementálás kezdetben nagy áldozatot kíván, azonban a befektetés többszörösen megtérül a zavartalan üzemmenetben. Vannak esetek, amikor a preventív cementálás szükségessége előrelátható és annak elmulasztása súlyos üzembizavarak előidézője lehet. Ilyen esetekben fontos, hogy az üzemek megfelelő hitelkerettel rendelkezzenek a feltétlenül szükséges preventív cementálások elvégzésére. E tekintetben tehát felsőbb rendelkezésre van szükség, egyrészt

a szükséges preventív cementálás elvégzésére, másrészt a szükséges hitelkeret biztosítására vonatkozólag.

A preventív cementálással szemben a tényleges védekezés a megtörtént vízbetörések utólagos cementálására irányul. A cementálás bevezetése óta a dorogi medencében végzett cementálások eredményét kiértékelve, annak eredménye azt mutatta, hogy legkedvezőtlenebb az eredmény az áramló vízben való cementálásnál, pedig a cementálások túlnyomó része áramló vízben történik. Egy igen fontos és megoldásra váró probléma tehát az áramlás fojtásának tökéletesítése. Áramló vízben a vízelzárást homokadagolással kezdik és a cementadagolás csak akkor veszi kezdetét, amikor a beiszapolt homok tömeghatása a vízáramlást legalább részben elfojtotta. Ha ez nem sikerül, akkor az ereszkemezőt részben víz alá eresztik és a vízbetörés elfojtását kedvezőbb áramlási viszonyok mellett duzzasztott vízben megismétlik. Lényegesen nehezebb a helyzet dolomitos jellegű karsztosodás esetében, ahol a keskeny repedések miatt a cementálás akciórádusza igen kicsi és a beiszapolt homok tömeghatása emiatt nem érvényesülhet. Itt víznél kisebb fajsúlyú, megfelelő átmérőjű poli-etilén golyók adagolásával kísérleteztünk, melyeket a víz a kifolyás irányába magával ragad és a keskeny repedéseket elzárja. Az eljárással már határozott eredményt sikerült elérni, amely a kérdés megoldását előbbre vitte, természetesen a kísérleteket még tovább kell folytatni. Egy más irányú bányászati megoldás a gátolás, amellyel kedvező körülmények között a cementálás sikere érdekében nyugvó vizet lehet létesíteni, az egész bánya elfulladására nélkül. A vízáramlás fojtásának tökéletesítése érdekében ettől függetlenül szívesen vesszünk minden tanácsot, legyen az más irányú is, amely a kérdés megoldását elősegíti.

Dolomitos jellegű karsztosodás esetében a vetőmenti vízbetörések elzárásánál a tatabányai kísérletek eredményei hasznosíthatók. Nyílt kérdés marad a dolomit kataklázos szerkezetéből eredő rendszertelenül szétszórt csoportos kis vízbetörések elzárásának kérdése, mert a finom repedések nem biztosítanak olyan nyelőképeséget, hogy cementes homokkal cementálni lehetne. Véleményünk szerint a csoportos kis betörések ellen csak magasnyomású cementtej-injekcióval lehetne preventív védekezni, ha a körülmények rövid fúrólyukak földalatti mélyítését megengedik. Egyébként a víz emelésére kell berendezkedni, mely esetben az iszapolás lehetőségét kell körülményes facsatornázással biztosítani. A csoportos kis betörések elleni védekezés igen nehéz feladat, éppen ezért szívesen fogadunk a bizottságtól tanácsokat, mert a csoportos kis betörések együttesen tekintélyes vízmennyiséget is eredményezhetnek, melyek a művelésnél, különösen az iszapolásnál okozhatnak nagy nehézségeket.

A hosszabb időt igénylő, de mielőbb folyamatba helyezendő perspektívikus feladatok közül elsősorban az ajkai eocénmészke lecsapolásának kérdését vetem tel.

Egyes esetekben, mint pl. Ajkán és Halimbán kétirányú karsztvízveszéllyel kell megküzdeni, nevezetesen: a széntelepes összlet, illetve bauxit fekvését képező dolomithól és a fedüben levő eocénmészkeből származó vízzel. A kettő

közül a fedüvíz a veszedelmesebb, de nem az állandó hozzáfolyás mennyisége miatt, — mely nem elviselhetetlen — hanem azért, mert lökésszerűen jelentkezik, amikor a bányában nagy rombolást visz végbe és mennyisége — ha rövid időre is — de veszélyesen nagy és kiszámíthatatlan. A veszély csökkentése céljából behatóan kell foglalkozni az eocén mészkő lecsapolásának kérdésével, mert lecsapolás esetén csak az állandó hozzáfolyással kell számolni, a veszedelmes lökések pedig elmaradnának. A lecsapolás kérdése szorosan összefügg az alkalmazandó fejtési rendszerrel is, mert a nagy üzemkoncentrációt biztosító széleshomlokú, omlasztásos fejtési módot Padragon csak lecsapolás esetén lehet megnyugtatóan alkalmazni. A lecsapolás kérdésének beható megvizsgálását tehát nemcsak a vízveszély elleni védekezés, hanem a korszerű fejtési rendszer előfeltételeinek biztosítása is megkívánja. Mivel az ajkai ipartelepnek egyébként is nagy mennyiségű vízre van szüksége, a két érdek összekapcsolható és a víznyerést a fedüvízek lecsapolásával kell biztosítani. Igen fontosnak tartanám ezért, hogy az Akadémiai Bizottság kimondaná, hogy az eocénmészkő lecsapolásának beható tanulmányozását szükségesnek tartja és annak keresztülvitelére egy szűkebb bizottság alakítását javasolja, melynek jelentését az akadémiai karsztvízbizottság egy széleskörű ankét keretében fogja majd megvitatni.

Karsztvízveszélyes területen lényegesen több fúrásra van szükség, mint más szénmedencében, mert a legfontosabb követelmény a tektonikai és védőréteg-viszonyok előzetes tisztázása. Itt részletekbe menő, sűrűbb kutatásra van szükség, melynek alapján az alaphegység szerkezetét kétségen kívül meg lehet állapítani. E tekintetben a viszonyok az ajkai medencében igen kedvezőtlenek, mert a padragi és Jolán-aknai területen pl. 2,4 fúrás esik egy km<sup>2</sup>-re. Ilyen körülmények között a kettős vízveszéllyel szemben nem lehet a küzdelmet eredményesen felvenni, mert az üzem a jó és a balszerencse veszélyes játékának van kitéve. Legfontosabb teendő tehát a fúrások sűrítése és ajánlatosnak tartanám erre az illetékes felsőbb szervek figyelmét felhívni és a műszaki vezetést a tervezésben és a vízveszély elleni védekezésben ezáltal támogatni. Igen fontos feladat továbbá a triász dolomit karsztvízszintjének megállapítása is, mely az ajkai medencében eddig még ismeretlen, enélkül pedig ismeretlen a védőrétegre gyakorolt nyomás és a védőréteg viszonyozása is. Mindaddig, amíg ez megállapítást nem nyer, az eocénmészkő vízszintjét kell a triász dolomit karsztvízszintjének tekinteni. Vízveszélyes bányászatnál ez a helyzet nem tartható fenn huzamosan, ezért a legközelebbi fúrásoknál a felső vizek kizárásával a triász dolomitha is be kell fúrni és a karsztvízszintet megállapítani.

A vízveszéllyel szemben eddig a cementálás bizonyult a leghatékonyabb védekezési eljárásnak. Az eljárás maga igen költséges, de még mindig lényegesen olcsóbb, mint a vízemelés, nem szólva arról, hogy az elfulladt aknák szénvagyona cementálás nélkül mindörökké elveszett volna. A cementálás költségének kb. 50%-át a fúrási költség képezi. Eddig túlnyomó részben utólagosan, vagyis a vízbetörés bekövetkezése után cementáltak és preventív cementálást csak

jelentéktelen mértékben alkalmaztak. A védekezés tökéletesítése érdekében a jövőben a súlypontot a preventív cementálásra kell áthelyezni, ami azt jelenti, hogy a fúrások száma még növekedni fog, holott épp a fúrás képezi jelenleg a bányászat legszűkebb keresztmetszetét. A bányászat jövője és különösen a védekezés tökéletesítése érdekében tehát fúrási-kapacitásunkat a legerőteljesebben növelni kell, nemcsak mennyiségi, hanem minőségi vonalon is, így elsősorban a teljesítőképesség vonalán. Korszerű, nagyteljesítményű fúróberendezésekkel a cementálás költsége lényegesen csökkenthető.

Végül rá kell mutatnom a kutatás vonalán fennálló erős szakkáderhiányra, amely távolról sem áll arányban az elvégzendő feladatok jelentőségével, ami a komoly kutatást úgyszólván teljesen lehetetlenné teszi. A Bányászati Kutató Intézetben mindössze két kutatómérnök foglalkozik a karsztvízkutatás- és karsztvízelzárással, valamint az úszóhomok és egyéb fedűvizek által okozott nehézségek leküzdésének kérdésével. Ezidőszereint öt helyen folyik kutatómunka, melyet a Földtani Intézettel együttműködve, másrészt idősebb bányamérnökök megbízásával végzünk, természetesen nem a téma jelentőségének, hanem a kutatólétszámnak megfelelő mértékben. Ha e téren komolyabb és gyorsabb eredményekre törekszünk, akkor az első teendő a kutatólétszám megfelelő növelése. E tekintetben elsősorban nagy gyakorlattal rendelkező olyan bányamérnökök jöhetnek számításba, akik a karsztvíz elleni védekezésben speciális ismeretekkel rendelkeznek és önálló kutató munkára alkalmasak. A számításba jövő, magasabb klasszisú szakőrök más, igen fontos és felelősségteljes pozíciót töltenek be, tehát fel kell kutatni és igénybe kell venni azokat a szakőröket, akik nincsenek ilyen fontos beosztásban, de az említett feltételeknek egyébként megfelelnek.

A karsztvízveszély elleni védekezés kifejezetten bányászati feladat, amely annyira összefonódik a bányaműveléssel, hogy csak a művelési szempontok figyelembevételével oldható meg helyesen. A karsztvíz-specialisták felállítják a vízvédelem szempontjából fontos feltételeket, a művelési szakemberek a művelés gazdaságossági feltételeit és a kétféle szempont egyesítéséből állapítható meg az összes érdekeket kielégítő helyes gyakorlati megoldás. A karsztvízvédelemi osztálynak tehát szoros együttműködésben kell dolgoznia a bányaművelési osztállyal és ez csak a Bányászati Kutató Intézet keretében valósítható meg. Ez természetesen nem jelenti, de nem is jelentheti a probléma teljes kisajátítását, mert a bányászatnak másirányú támogatásra is szüksége van, így elsősorban földtani és geofizikai támogatásra. A karsztvízkérdés helyes megoldását tehát a Bányászati Kutató Intézetnek a Földtani Intézettel és Geofizikai Intézettel való szoros együttműködése biztosítja a legmegfelelőbbben.

Előadottakban igyekeztem röviden vázolni a karsztvíz elleni védekezés jelenlegi állását és a megoldásra váró problémákat és kérem az igen tisztelt Akadémiai Bizottság tagjait és meghívott szakértőit, hogy a felvetett kérdések megoldásában tanácsaikkal bennünket támogatni szíveskedjenek.



# A KARSZTVÍZJÁRATOK KIALAKULÁSÁNAK GEOMECHANIKÁJA

SCHMIDT ELÉGIUSZ RÓBERT

Karsztvízveszéllyel küzdő bányáink feltárásaiból tulajdonképpen már régtől fogva sejteni lehetett a karsztvízbetörések és az ú. n. »vetők« közötti kapcsolatot. A rendszeres és kiterjedt megfigyelések hiánya azonban sokáig nem tette lehetővé az általános törvényszerűségek felismerését. Megnehezítette ezt a vizet befogadó és tároló karsztos kőzetek, a rideg mészkő és dolomit általános töredezettsége, repedezettsége, az egyes dolomitfajták (raibli), mint mondani szokás, kataklázos, szivacszerű szerkezete, továbbá az a körülmény, hogy az ú. n. vetők és feltolódási síkok is, mint ismeretes, tulajdonképpen tektonikailag összetört zónák, pászták és végül mivel a szóbanforgó bányavidékek hegyszerkezete sem volt és részben még ma sincsen maradéktalanul feldolgozva, nem hogy regionálisan kiértékelve.

Csak a geomechanikai vizsgálatok révén vált először kétséget kizáró módon felismerhetővé az a szoros összefüggés; sőt szabályszerűség, amely egyrészt a hegyképző erők, másrészt a hegyszerkezet és ezzel együtt a barlang- és karsztvízjáratok között fennáll.

A fent vázolt ok és okozati összefüggés felismerése révén azonban lehetőségessé vált a helyi tapasztalatok és megfigyelések természetes, logikus rendezése, kiértékelése és az így nyert képből nem csak az általános tanulságok levonása, hanem egyben mindjárt azoknak a tudatos, a preventív vízvédelemre való felhasználása is.

Hogy a karsztvízjáratok kialakulásában rejlő törvényszerűségeket nyomom követhessük és megérthessük, a Kárpátok és a Dinaridák övezte kratogén jellegű magyar közbenső tömeg, vagyis a Tisia fejlődéstörténetéből kell kiindulnunk. Helyesebben azokból az igénybevételekből, amelyek hegyszerkezeti kialakulásához vezettek.

A Tisia már a paleozoós hegyképződések során konszolidálódott. Az alpkárpáti hegyképződést mintegy bevezető általános kéreghúzások, vagyis a kárpáti és dinári geoszinklinális ágak képződése idején ez a merev kéregrész lényegileg meridionális irányban ható húzófeszültségnek volt kitéve. Ennek az igénybevételnek és a Tisia merev, konszolidált voltának megfelelően a közbenső tömegben átlós (ÉK—DNy és erre merőleges) kéregszakadások, törések



keletkeztek, majd — valószínűleg a korábban kialakult szerkezetből kifolyólag a kisebb ellenállást képviselő irányban, vagyis — az erőteljesebben kifejtett ÉK—DNy-i törések mentén árkos süllyedés alakult ki, mint az eljövendő Dunántúli Magyar Középhegység egykori kratoszinklinális, üledékgyűjtő vályúja.

Az alp-kárpáti orogenezis kezdetén, tehát a kréta második felében a Tisiát körülölelő orogeoszinklinálisokból egyfelől a Tátra- és Fáttra-öv, másrészt a Délerdélyi Havasok gyűrődtek fel. Vagyis maga a Tisia lényegileg balra ható forgatónyomatéknak volt alávetve. Ennek az igénybevételnek eredményeként benne egyrészt a hatóerők irányában, másrészt azokra közel merőlegesen, de balra kissé elforgatva, hatalmas kéregtörések keletkeztek, kialakultak a karsztvíz-geológiai szempontból is jól ismert ÉK—DNy irányú ú. n. hossz- vagy Balaton-irányú törések és az erre merőleges ÉNy—DK irányú ú. n. haránt törések. (1. ábra)



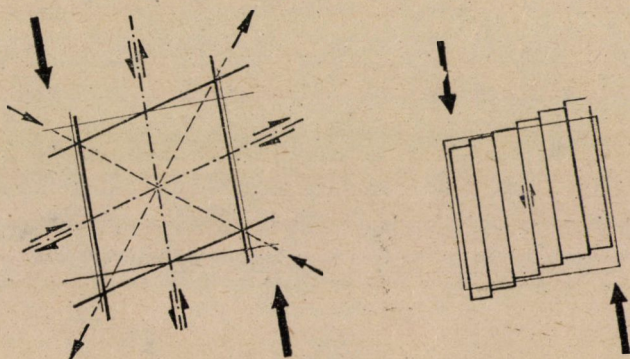
1. ábra

Tekintettel azonban arra, hogy a forgatóigénybevétellel kapcsolatban járulékosan az egyik irányban, mégpedig nagyjából a hossztörésekre haránt nyomás, míg erre többé-kevésbé keresztirányban húzás lép fel, a két irány tektonikai szempontból nem egyenrangú (2. ábra). A vázolt erőhatás következménye volt ugyanis, hogy a hossztörések mentén a mezozoós kratoszinklinálisok anyaga tömörült, gyengén meggyűrődött és aszimmetrikusan, kétoldalasan, a régi partok felé felpikkelyeződött (3. ábra), míg a haránttörések mentén mintegy széthúzódott (4. ábra). Ehhez képest a Dunántúli Magyar Középhegységben az ÉK—DNy-i törések és diszlokációs irányok mentén többnyire felpikkelyeződésekkel (lásd Litéri-törés, Gánti-törés, stb.) találkozunk, míg az ÉNy—DK-i irányú törésvonalak mentén széthúzással, árkos süllyedésekkel (lásd pl. Soly mári völgy, Ördögárok völgye, Móri árok, stb.). Az utóbbiak mentén tagolódik fel egyébként az egész Dunántúli Középhegységünk is (Keszthelyi Szigethegységre, Bakonyra, Vértesre, Gerecse—Budai hegységre) és ezek mentén mutatnak



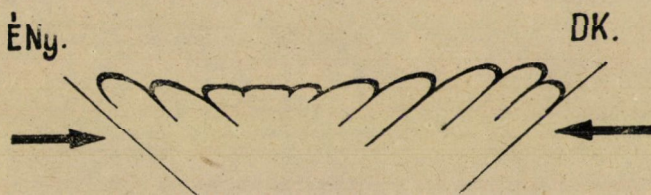
széthúzásos (diszjunktívus) jelenségeket az ajkai, tatai, stb. szénbánya területeink is.

Természetes tehát, hogy a karsztosodásra hajlamos rideg mészkövekben és dolomitokban ezek a párosan megjelenő és összetartozó, de különböző jellegű



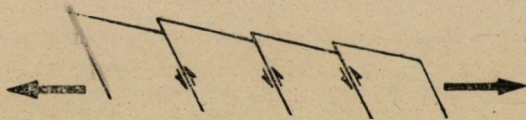
2. ábra

diszlokációs irányok, különösen a barlangképződés és az ú. n. karsztvízjáratok kifejlődése szempontjából is döntő szerephez jutottak. Különösen a nagyobb, tágasabb karsztvíz- és barlangjáratok elsősorban ezek mentén alakultak ki,



3. ábra

mégpedig a karsztvíztükör szintjében mozgó, részben talán még szénsavas víz oldó, de főleg mechanikailag bontó hatására. Bizonyítja ezt ismert nagyobb barlangjainknak az említett tektonikai irányokból összetevődő jellegzetes,



4. ábra

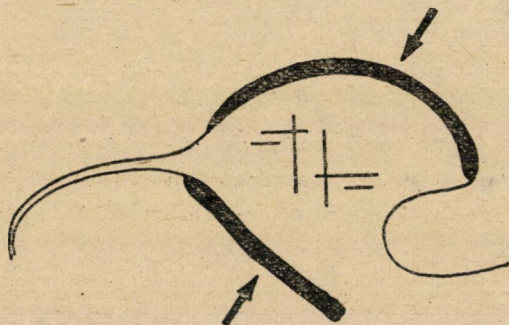
rácsos alaprajza (lásd Ferenc-hegyi barlang, Pálvölgyi barlang, stb). Fentiekből azonban magától értetődő az is, hogy e két tektonikai irány közül a széthúzásos jellegű, tehát az ú. n. haránt törések általában jobban kedveztek a vízjáratok kifejlődésének. Annál is inkább, mivel ebben a középhegységeinket keresztező



irányban az erózióbázis is többnyire közelebb és mélyebben fekszik, ami a karsztvíz lefolyásának nagyobb mozgási energiát, vagyis sebességet ad.

Az előadottakból tehát önként következik, hogy veszélyesebb vízjáratokkal általában a haránttörések mentén lehet és kell számolni. Ez tökéletesen meg is egyezik azzal a tapasztalati képpel, amelyet karsztvízhidrogeológusaink (Szentés, Venkovits, stb.) és a karsztvíz ellen küzdő bányamérnökeink (Vigh, Ajtai, Kassai, stb.) pl. a dorogi bányavidékkel kapcsolatban eddig nyújtottak.

Ha a fenti geomechanikai felismerések nagy általánosságban helytállóak és alapvetőek is, gyakorlati karsztvízelhárítási szempontból még távolról sem teljesek. Tudjuk ugyanis, hogy a mezozoós kratoszinklinálisból feltorlaszolt Dunántúli Középhegység kialakításában térben és időben más, regionális és lokális hegyképző erőknek is fontos szerepük volt. Így mindenekelőtt a zömében az oligocén-miocén határán ÉK—DNy-i irányban működött hegyképző erőknek, amelyek az oroszinklinálisokból egyrészt ÉK-en a Kárpáti flis övet és DNy-on



5. ábra

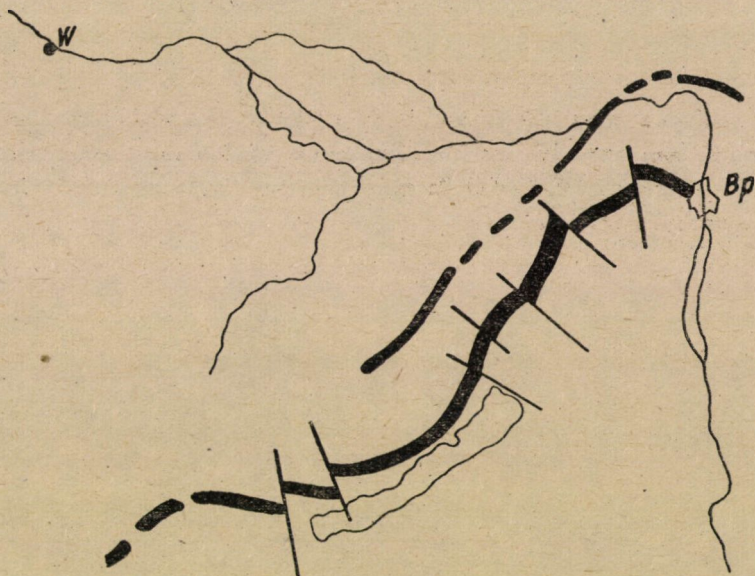
a Dinaridákat gyúrték fel, másrészt a közrefogott magyar közbenső tömegben az É—D és K—Ny irányú törésrendszereket, mint főcsúsztatató síkokat hozták létre (5. ábra). Középhegységeinkben helyenként ezek is kedveztek a karsztvízjáratok kialakulásának.

Tudjuk azonkívül, hogy a korábban említett regionális erőhatások mellett helyenként és járulékosan lokálisak is működtek. Így a vázolt krétakori főigénybevétel mellett helyenként különböző irányú hajlító igénybevételt is szenvedtek középhegységünk egyes szakaszai. Ilyen igénybevételre utaló csapásirányváltozásról számol be Szentés (6. ábra) és Szalai (Bányászati Lapok 1951. 10. sz.) a Bakonyból és a Budai hegységből.\* A forgatónyomaték következtében az egyes pásztnak horizontális irányú, parkettaszerű, de egyenetlen mozgása (2. ábra) is járhatott — a még nem egészen merev anyagban — bizonyos mértékig

\* A két szerző részben ellentétes felfogása nem elvi ellentmondás, hanem arra utal, hogy a Budai hegységben a hegyszerkezeti viszonyok még nincsenek eléggé tisztázva. A magam részéről inkább úgyvélem, hogy a Dunazug hegységben nem a mezozoós kratoszinklinális a Dunántúli középhegység (6. ábra), hanem csak a harántpásztnak (2. ábra) csapásiránya változott meg, azáltal, hogy az egyes pásztnak széthúzódvá ÉK-felé megbillentek. (4. ábra).



hajlítói igénybevétellel. Ennek az igénybevételnek a következményeképp a külső övekben húzás, a belső övekben nyomás lép fel. A külső övekben levő haránttörések tehát tágulni, szétnyílni fognak, mint pl. a dorogi-medencében, ahol Vigh F. szerint a haránttörések DK felé ollószerűen szétnyílnak. Ugyanez azonban nemcsak vízszintes, hanem függőleges irányban is bekövetkezik, ott ahol a rétegek kihajlása vertikális irányban történt, mint pl. a Nagy-Gete és a Magos-hegy közötti szénmedencében, ahol a harmadkori hegyképző erők

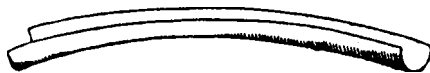


6. ábra

hatására a triász kori medencefenék az óharmadkori üledékekkel együtt É—D-i irányban vápa, K—Ny-i irányban pedig nyeregalakúra deformálódott (7. ábra), úgy hogy szét is szakadt és árkos süllyedések keletkeztek benne.

Vízbetörések szempontjából különösen veszélyesek azok a helyek, ahol az ÉNy—DK irányú széthúzó jellegű haránttörések az egyéb irányú töréseket metszik. Jó példák erre a budai és a tatai hévízforrások, a mohai, a csóri, az inotai források, stb. A két vető vagy feltolódási sík metszési vonalában, mint tektonikailag különösen összemorzolt és meglazított zónában ilyenkor könnyen alakulhatott ki az egykori karsztvíznívó felett a napszintről lefelé mélyülő függőleges barlangjárat, amiben többek között a centripetális és centrifugális erők összjátékaképp a spirálmozgást végző leszálló vízáramnak is fontos szerep juthatott. De ilyen helyeken alakulnak ki előszeretettel az alulról felfelé harapódzó zombolyok is, amelyek — amennyiben azok a terület süllyedésével a karsztvízszint alá kerültek — nagy veszélyt rejthetnek magukban a bányászat számára.

Összefoglalva tehát a rendelkezésre álló idő rövideje miatt csak vázlatosan elmondottakat, leszögezhetjük, hogy bár a geomechanikai vizsgálatok révén már eddig is igen fontos és alapvető elvi megállapításokhoz jutottunk, a karsztvízveszély-elhárítás gyakorlati szempontjából nézve mégis nagy szükség van a további rendszeres hidrogeológiai, hidrológiai, tektonikai és az azokat



7. ábra

kiegészítő geofizikai megfigyelésekre, hogy a lokális, de a vízbetörés szempontjából semmivel sem veszélytelenebb esetekre is ki lehessen geomechanikailag is dolgozni a törvényszerűségeket és ezzel a preventív, a megelőző vízvédelmet eredményesen megszervezni.

# A TRIÁSZ-DOLOMIT HIDROLÓGIAI VISZONYAI, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A VÍZNYERÉSRE ÉS VÍZLEADÁSRA

AJTAY ZOLTÁN

Hazai bányászatunk igen erős fejlődése sok olyan hidrológiai problémát hozott felszínre, mely vagy egyáltalán nem, vagy csak részben képezte vizsgálat tárgyát a múltban. Így a hidrológiai kérdések szénbányászati szempontból legfontosabb részei, kevés kivételtől eltekintve, a dachsteini triaszmészkövel kapcsolatos vizsgálatokra szorítkoztak. E téren igen komoly eredményeket értek el, úgy a kiértékelés, mint a vizbetörések elleni védekezés terén.

A különféle korú dolomit, mint kőzet, a dunántúli középhegység felépítésében igen jelentős részt vesz. Eocén, paleocén és krétaszeneink jelentős része, bauxitércünk csaknem 80%-a dolomit fekével bir, előbbieik változó fekévastagsággal, utóbbi minden fekévőréteg közbetelepülése nélkül fekszik a dolomit alapkőzeten. Az elmúlt évtizedek sok gyakorlati adatot szolgáltatottak a különféle dolomitok hidrológiai megismerése szempontjából hasznos célt vélek tehát szolgálni, ha ezirányú megfigyeléseimet, kísérleteimet a közösség rendelkezésére bocsátom.

## 1. *A dolomit mint kőzet*

A dolomitok igen kiterjedt előfordulással bírnak a Dunántúli Középhegységben; ez a Budapest—Duna vonaltól kiindulva délnyugat felé egészen a déli Bakonyig követhető. E területen a dachsteini triaszmészkö és dolomit felszíni kiterjedését mintegy 1260 km<sup>2</sup>-re tehetjük. Papp Ferenc dr. a Pilis—Gerecse—Vértes hegység triaszdolomit területét 490 km<sup>2</sup>-re becsüli. Ha e kőzetek vastagsági adatait vizsgáljuk, úgy azt a Bakonyban id. Lócy Lajos 200—3400m, Gerecsében dr. Vigh Gyula 1000—1100 m, a Pilis—Budai hegységben dr. Vendl Aladár 1175 m-re becsülik. Ha mint kőzetet vizsgáljuk a triaszdolomitot, már csak egyszerű vizsgálattal is megállapíthatjuk, hogy igen kevés kivétellel erősen repedezett kataklázos felépítésű, változó pórustérfogattal, ritkán alkot kompakt padokat. Utóbbi rendszerint a kémiai összetételben fennálló különbségekre vezethető vissza. Ugyanis a szabályos kémiai összetételű dolomit ritkán alkot ép padokat, (nem kataklázos szövetűt), míg a magnéziumkarbonát csökkenése szövetetani elváltozást okoz s ez esetben a dolomit a dachsteini mészkőhöz

hasonló szövetet mutat. Így tehát óvatosan kell eljárunk, amikor a triász-dolomit megállapítását egyszerű makroszkópos úton végezzük. Fenti megállapítást a következőkben leírt különféle területeken és mélységekben végzett bányászati munkálatoknál tett megfigyeléseimre alapítom.

Ezek a következők :

Kis-Gellérthegyben,  
 Pilisszentiván, István-aknai műveletekben,  
 Pilisszentiván, Hungária lejtősakna-műveletekben,  
 Pilisszentiván, községi vízműnél,  
 Nagykovácsi altárónál, (1000 m-t meghaladó hosszában)  
 Magyar Bauxitbánya Rt. nyirádi vízműnél,  
 Magyar Bauxitbánya Rt. alsóperepusztai dolomit előfordulásánál,  
 Inotai Karsztvízműnél stb.

Az előbb említett igen nagy kiterjedésű területeken, mintegy 35 000 m<sup>3</sup>, azaz kb 7000 m normálszelvényű bányaváratnak megfelelő térfogatú vágathálózat nyert kihajtást. E vágatok a dolomitestben különféle mélységben, egyes helyeken 220 m-ig terjedően lettek kihajtva. Ezen igen kiterjedt és nagy területet felölelő bányászati munkálatoknál a triász-dolomitot csaknem minden alkalommal, kevés kivétellel, kataklázos szövetűnek, és változó pórustérfogatúnak, karsztüregektől teljesen mentesnek találtam. Előadódott azonban, mint pl. a nyirádi vizaknánál is, ahol igen tág határok között váltakozó magnézium-karbonát tartalmat konstatáltunk az egyes triász-dolomitpadoknál, ami nemcsak kémiai úton, hanem már az egyszerű makroszkópos vizsgálattal is megállapítható volt.

## 2. A triász-dolomitok hidrológiai viszonyai

Karszt-hidrológiai szempontból a triász-dolomitok viselkedését a következőnek tapasztaltam :

A karsztvízszint elhelyezkedése, függően a rétegtani és geográfiai fekvéstől, azonos a triász dachsteini mészkőben levő karsztvízszinttel. Amíg a triász dachsteini mészkövet, illetve annak víztároló üregeit egy összefüggő vízcsatorna rendszernek kell tekintenünk, mely csak akkor jelent a karsztvízszint alatti bányászati műveletekre veszélyt, ha a víztárolókat megnyitjuk, addig a triász-dolomitok szövettani okokból szivacsszerkezetűnek tekinthetők vízleadás szempontjából, s így a bányászati munkálatokra sem jelentenek olyan veszélyt, mint amilyent a dachsteini triász-mészkő rendszerint nagy kiterjedésű és nagy térfogatú karsztosodott üregei képeznek. Ugyanis a karsztosodott triász-mészkő igen tetemes víztömegeknek hirtelen leadására képes. Összehasonlításképpen alábbiakban mellékelem a hazai triász-dolomit, ill. triász-dachsteini mészkő-

területeken bányászati munkálatokba betört maximális vízmennyiségek összehasonlító táblázatát, melyből kitűnik, hogy a szivacs szerkezetű dolomit korántsem képes leadni oly mennyiségű vizet, mint amilyent a dachsteini mészkő karsztüregéből kaphatunk.

*A vízbetörések adatai*

Sorszám	Időpontja	Helye	Szintje ± m	A betört víz m <sup>3</sup> /min.
<i>Dolomitból.</i>				
1	1934. VII. 27.	Hungária akna	Pilissztiván + 55,10	3,50
2	1939. VIII. 30.	Erzsébet «	« + 3,30	5,30
<i>Dachsteini mészkőből.</i>				
1	1898. IV. 24.	Erzsébet-akna	Tokod	24,—
2	1898. IX. 27.	»A« akna	« + 82,—	26,—
3	1925. II. 15.	Vakakna	« + 84,—	42,—
4	1927. IX. 20.	Augusztá-akna	Dorog + 18,—	43,50
5	1927. XII. 10.	V. Ereszke	Tokod + 102,—	10,—
6	1932. VII. 16.	VI. akna	Dorog + 28,—	66,—
7	1936. XII. 25.	— « — S mező	« — 101,—	10,—
8	1937. III. 27.	Tokod-altáró I/a	eresz. + 101,—	16,—
9	1930.	— « — V.	« + 102,—	26,—
10	1939. VIII. 30.	Erzsébet-akna	Pilissztiván — 8,—	12,—
11	1941. IX. 17.	Reimann-akna Dorog	«F« mező (20 m <sup>3</sup> ) — 86,—	(min. max.) 40,—
12	1942. II. 9.	Tokod-altáró	IV. ereszke + 113,—	80,—
13	1948. II. 5.	VI. akna Dorog	— 61,—	40,—

Fentiekből is kitűnik, hogy míg a triász-dolomitközvetnél eddig a vízbetörés maximális mennyisége 5,30 m<sup>3</sup>/min. volt, addig a dachsteini mészkőből betört vízmennyiség 10—80 m<sup>3</sup>/min. (lökésszerűen max. 180 m<sup>3</sup>/min.) értékek között ingadozott. Ezt igazolják egyébként a dorogi XII. akna vízbetörései is, ahol 55 helyről 14,30 m<sup>3</sup>/min. vízmennyiséget kaptak s egy vízbetörés maximális mennyisége sem haladta meg a 3.—m<sup>3</sup>/min.-t. Újabban e megállapítást a padragi aknában 1948. I. 24-én ± 0 szinten betört 4.30 m<sup>3</sup>/min. vízmennyiség is igazolja. Egyébként itt az időközben lefúrt I. számú cementálófúrás 19 m fekértéget után a norikumi földolomit fekértéget ért s abban 57 m-t haladt anélkül, hogy karsztüregget ért volna. Sósavazással a kb. 23 m<sup>2</sup> szabad fúrólyukfelületen sikerült a vízelnyelést 1 m<sup>3</sup>/min. mennyiségig növelni. A jól záró fúrólyukban a karsztvízszintet (mely nem a valódi) + 116 m-nek konstatálták. Itt ugyanis, minden valószínűség szerint a tektonikai körülmények folytán, a fedővizeken át van összeköttetés a bányával, ami a közlekedőedények elve alapján ki egyenlítődik, s így a fúrólyukban nem érheti el az ajkai szénmedence karsztvízszintjét.



### 3. A triasz-dolomit viselkedése mint fekükőzet

Hosszas megfigyelés adataiból megállapíthatóan, a triasz-dolomitot, mint fekükőzetet, lényegesen kedvezőbb felépítésűnek kell tekintenünk vízbetörés szempontjából a dachsteini triaszmészkönnél, mint azt az eddigi gyakorlat is megmutatta. Ugyanis a triasz-dolomitközeten fekvő, lényegesen kisebb zárórétegvastagsági értékkel rendelkező településnél is, már nagyobb biztonsággal számolhatunk, mint a triasz-mészko fekvével rendelkező településeknél. Ugyanis utóbbinál 1,50—2 m/atm.-kénti fekuréteg az a gyakorlati érték, mely a vízveszéllyel szemben kellő biztonságot nyújt, addig a dolomitnál ennek az értéknek alig a felével, 0,50—1 m/atm.-kénti fekuréteg-vastagsággal is biztosítottnak láthatjuk vízbetörés ellen bányászatunkat. Ennek okát abban látom, hogy a kataklázos szövetű triasz-dolomittestnek a fekuréteggel érintkező részén a feküanyagok a triasz-dolomit szövetét-kitöltik, a víznek ezen történő áthatolását megnehezítik és így ennek folyamánaképpen lényegesen lecsökkentik a művelés alkalmával fellépő vízbetörés veszélyét. Ellentétben áll a dachsteini triaszmészko, ahol az eddigi gyakorlat szerint csakis abban az esetben számíthatunk a vízbetörés veszélyének kiküszöbölésére, ha az előbb említett maximális fekurétegvastagság ki van fejlődve, vagy pedig a fekü-mészko nem karsztosodott. (Nincsenek húzott, ill. nyomott zónák.)

Előbbiekben elmondottakra példaképen hozom fel a pilisi Szt. István-akna + 80-as szintjén folyó műveleteket, ahol a fekuréteg vastagsága igen sok helyen alig éri el a 2—4 m-t, ami atm.-ként alig 0,50 m-nek felel meg. E mezőben még nyílt ráfutásnál sem kaptunk 100—400 p. liternél nagyobb vízhozáfolyást. Előbb mondottakkal szemben állanak a kimutatásban felvett triasz dachsteini mészkőterületeken fakadt vízbetörések értékei, melyek bizony igen sok esetben az aknaüreg elfulladását okozták. Megállapíthatjuk, hogy aránylag kis fekuréteg vastagság triasz-dolomit területen már lényegesebb mélységben is biztosítja a művelési lehetőséget, de természetesen ily településnél kerülni kell a nagy alapterületű fejtéseknek a létesítését, s lehetőség szerint a fejtések folyamatos iszapolását (tömedékelését) kell biztosítani, a fekurétegek fokozottabb igénybevételének kiküszöbölése végett. A tektonikai viszonyok kellő kiértékelése igen fontos körülmény a védőpillérek kijelölése szempontjából. Az előzőkben elmondottak igen lényegesek a nóríkumi földolomit fekvével bíró bauxit-előfordulásaink leművelhetése szempontjából is. Mint ismeretes a bauxittestnek rendszerint a felső része, de minden esetben a feküpadja, a mai technikai módszerek szerint feldolgozásra nem alkalmas, úgynevezett agyagos bauxitból áll, s ez tölti ki a dolomit alapkőzet egyenlenségét (denudált felületét.) Az igen finom kolloidális bauxitos anyag több méterre behatol a szivacsosszerkezetű triasz-dolomit testbe úgy, hogy a fekuréteg vastagságának megállapításánál a feküdolomit egy részét is mint biztonsági védőréteget hozzászámíthatjuk az agyagos bauxittesthez. Egyébként véleményem szerint ugyanazon fekü-

réteg-vastagsági értékek vonatkoznak a bauxitra is, mint a paleocén szenekre. Művelésénél azonban itt is szem előtt tartandó lehetőleg külön mezőknek a létesítése, esetleges elfulladás esetére. A fejtésmód megválasztásánál különös gond fordítandó itt is a kisméretű fejtések telepítésére a fekéoldalon. Ha om-lasztásos fejtésmóddal történik a bauxittest leművelése, úgy csakis az utolsó szeletek lefejtése okozhat nehézséget az esetleges vízbetörések miatt.

#### 4. Víztermelési lehetőségek dolomitnál

A trisz-dolomitoknak szövettani felépítése (pórustérfogata), továbbá a vízbetörések körülményeinek megfigyelése arra a megállapításra vezetett, hogy triasz-dolomitból a karsztvízszint közelében minden karsztüreg megtöltése nélkül lehetőség van gyakorlatilag előre megállapítható vízmennyiséget adó vízállomás létesítésére. Egyébként a triasz-dolomit területeken is a karszt-vízhozamra befolyással van a csapadékvíz, utóbbi gyűjtőterületének nagysága, annak domborzati viszonyai. A kataklázos szövetű (szivacsosszerkezetű) triasz-dolomitokban, közel a vízszinthez, de annak alatta megfelelő dolomitfelület képes állandóan egy bizonyos vízmennyiséget leadni, ami egy vízmű létesítésének alapfeltétele. Ennek igazolásául a pilisszentiváni István-aknában kísérleti állomást létesítettünk azon célból, hogy az ép dolomittestben különféle nyomásnál víznyelési kísérletet végezhesünk. Ezzel a természet által adott pozitív értékeknek megfelelő negatív értékeket kaptunk, melyekből következtetést vonhatunk le a triasz-dolomitoknak a karsztvízszint alatti vízleadására, mélység és területegységre vonatkoztatva. A kísérletek által adott eredmények a következők:

0,25 atm. ....	11 l/min.
0,50 « .....	23 «
0,75 « .....	34 «
1,— « .....	43 «

Eszámadatokból is megállapítható, hogy a vízmennyiség növekedése lineárisnak tekinthető, amiből viszont igen fontos gyakorlati következtetést vonhatunk le a karsztvízszint alatti triaszdolomit-feküvel bíró területen végzett bányászati munkálatokra is. Természetesen a triaszdolomit-feküvel bíró területen is érvényes azon megállapítás, hogy a tektonikai viszonyok gondosan kiértékelendők, mivel lehetőség van vetődések megütésénél azok törmelékanyagának a kiürülésére és ezzel nagyobb felület megnyitására, ami viszont lineárisan nagyobb vízmennyiség fakasztásához vezet. A tervcím alapján dolomitközvetben készült karsztvíznyerő állomások az alább leírt kivitelben készültek. Így a következőkben a pilisszentiváni községi karsztvíznyerő állomást ismertetem.

Pilisszentiván község közepén a főútvonal mellett helyeztük el a kör-szelvényű karsztvízaknákat. A térszínből kiindulva dolomittestben hatoltunk le egészen a karsztvízszintig, ahol csaknem teljesen azonos szintben, az István-aknai szinttel (+ 134,25 m) azaz + 134,80 m-ben állapítottuk meg a karszt-



vízszintet. Közvetlenül a karsztvízszintben telepítettük a szivattyúkamrát és a szivattyúállomás megépítése után folytattuk a karsztvízszint alá a mélyítést. A 0,5 m<sup>3</sup>/min. teljesítményű szivattyú állandó üzembentartásával sikerült mintegy 4 m-re lehatolni a vízszint alá, s itt mintegy 30 m<sup>3</sup>-t kitevő folyosó térfogatot kiképezni víznyerő galériának. A vízhozzáfolyás kb. napi 1000 m<sup>3</sup> vízteljesítménynek felel meg, —2 m mély depressziós tölcsernél. Az egész földalatti térség kiképzésénél a legcsekélyebb karsztüregtet sem találtunk, mindössze szemmel láthatóan megállapítható volt a triasz-dolomit repedezett, szivacszerű (kataklázos) volta, ami magyarázatát adja a vízhozzáfolyás előbb vázolt viszonyainak. A vízszint országos süllyedésével a vízgalériát mintegy 4 m-el süllyeszteni kellett 1951-ben. (A vízmű 1949-ben készült.) A Dunántúlon is egyik nagy ipartelepünkkel kapcsolatosan telepített karsztvízmű munkálatai befejezéshez közelednek. Az itt felmerült vízszükséglet 12 m<sup>3</sup>/min. vízmennyiségből — 18 m-re a karsztvízszint alatt — nóríkumi földolomittestben kihajtott 140 m hosszú normálszelvényű vízgalériából eddig mintegy 7 m<sup>3</sup>/min. vízfakasztást értünk el.

A víz feltárása alkalmával karsztüregtet nem érintettek. Mindössze több vetőrendszer által szabdalts dolomittörmelékkel kitöltött szakaszt harántoltak át, ahol lényegesebb vízhozzáfolyást kaptak. Általában a dolomittest — figyelemmel szivacsos szövetére — állandó vízleadást biztosít.

Hasonló kivitelű, de kisebb méretű vízmű készült a pilisszentiváni István-aknán, a nyirádi bauxitbányánál, s kivitelezés alatt áll jelenleg is több egység. A pilisszentiváni karsztvíz kémiai összetétele a következő ;

Összes keménység.....	25,34 N°
Változó keménység.....	14,64 N°
Állandó keménység.....	10,70 N°
SO.....	89,7 mg/l
SiO <sub>2</sub> .....	26,2 "
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	1,6 "
CaO.....	149,3 "
MgO.....	83,2 "
A víz hőmérséklete: pilisszentiváni vízaknában	11,1° C
« István «	11,8° C

A fenti víznyerési megoldással igen jó minőségű és gazdaságos víznyerési mód biztosítható a dunántúli középhegység sok területén, s ezen megoldásoknál nem áll fenn az a lehetőség, mint a dachsteini triasz-mészko előfordulásnál, hogy a lemélyített fúrással nem érünk el karsztvízüreget vagy repedést, mivel a triasz-dolomit szivacszerű szerkezete feltétlenül biztosítja megfelelő felület kiképzésénél a szükséges vízhozzáfolyást.

Egyébként a Földtani Főosztályon dr. Vitális Sándor főosztályvezető a különféle dolomit előfordulásaink pórusterfogatának országos viszonylatban történő felvételét tette folyamatba, s Venkovics István eddig a következő területek dolomitjait vizsgálta meg :

*Dolomit-pórustérfogatok*

Keszthelyi hegység.

Filikán dülő. Földolomit. Hasadozott, de tömött szövetű. A repedések zártak	16%
Bicsérdi csárdával szemközi kőfejtő. Raibli dolomit. Erősen kataklázos szövetű	21%
Filikán csemete-kert. Földolomit. Felszíni karsztosodástól átluggatott példány	26%
Bicsérdi csárda 2. sz. kőfejtő. Breccsás szerkezetű dolomit.....	41%
Filikán csemete-kerttől É-ra 200 m-re. Raibli dolomit kőfejtőből. Erősen porló részlethől egy épen maradt részlet.....	15%
Filikán dülő fenyeséből. Földolomit. Felszíni karsztosodástól átluggatva.....	18%
Filikán csemete-kert. Szálban álló az atmoszferiliáktól megdolgozott dolomit-szirt.	
Hévíz, Dobogó-major melletti kőfejtő. Kagylós és algás, lyukacsos alsó raibli dolomit .....	65%
Balatonederics. Garga-helyi dolomit kőfejtő. Raibli dolomit, típusosan kataklázos szerkezet .....	10%
Szobakő barlang előtti sziklacsoportból. Földolomit alsó részéből. Kissé préselt, erősen lyukacsos, széteső, de nem élesszélű romboéder formákra, hanem változatos, lemezes darabokra .....	23%
Márványhegy. Földolomit? Felszíni karsztosodástól kimart lyukacsok.....	18%
Márványhegy teteje. Földolomit. Mikro alga-lyukacsok a szövetben, a felszínen karsztos lyukak .....	27%
Márványhegyi kőfejtő. Breccsás dolomit .....	55%
Cserez-hegyi kőfejtő. Raibli dolomit, Kataklázos szerkezet, helyenként fekete csikos kőzetbetelepüléssel. (Felső-raibli.) Kővület-lyukacsok miatt szivacszerű .....	30%
Pető-hegyi világosszürke, kissé sárgásbarnába hajló árnyalattal, bitumenes Sándor-hegyi dolomit. Repedezett, a repedezettség mentén kezdődő felszíni karsztosodás.....	24%
Nemesvita. Sűrűszemű (kristályos) pados, fehér dolomit. (Alsó raibli.).....	16%
Kigyóvölgyi feltárás. A kőfejtő alján egy kissé gömbölyűre kopott lejtőtörmelék-darab. a pados bitumenes Sándor-hegyi dolomitból.....	6%
Balatonarács Koloska-völgyi földolomit közvetlenül a Felső-forrás feletti letérésből...	12%
Füzfői földolomit. A gyártelep felett levő Nyergeshegyről, breccsás, erősen kataklázos jellegű dolomit .....	40%
Hidegkút és Veszprémfajsz között Nagysomhegyről. Anisusi (Megye-hegyi) dolomit...	20%

Az előbb elmondottak gyakorlati szempontból azért bírnak fontossággal, mert következtetéseket vonhatunk le a karsztvízszint alatt folyó bányászati műveleteink irányítására, ami nemcsak a szénbányászatunknál, hanem a bauxitbányászatunknál is igen fontos körülmény.

5. *Vízvédelmi s tömítési módozatok dolomitzózetnél*

A vízvédelmi és tömítési módozatok megállapítása a triaszt-dolomit zózetnél lényegesen más követelményeket támaszt a vezetéssel szemben, mint a triasz dachsteini mészkőnél. Utóbbinál megfelelő feküregvastagság, vízvédelmi pillérek kijelölése nagyobb vetőrendszereknél, s a karsztüregeknek külszíni mélyfúrásokkal való felkutatása, illetve az azokba történő nagyméretű preventív cementálási munkálatok jó tömítési lehetőséget nyújtanak, habár nem minden esetben biztonságosak. Ezzel szemben a triasz-dolomitzózetnél ily természetű tömítési megoldás egészen kis lehetőséget nyújt nagyobb hatású vizelzárási munkálatok végzésére, azonban lényegesen kisebb feküregvastagsággal nagyobb biztonságot tudunk elérni műveleteink vízvédelme szempontjá-

ból, a már elmondottak alapján. Megfigyeléseim szerint azonban vékonyabb feküretegeknél kerülni kell a nagyméretű fejtések telepítését (frontfejtések), azok gondos tömedékelését kell eszközölni, hogy mielőtt még a fedő, illetve feküreteg nyomásba, illetve duzzadásba jönné, a tömedékeléssel tehermentesítést nyerjenek. E körülményt nemcsak a paleocén-krétaszénbányászatnál tartom fontosnak, hanem igen lényeges körülmény a bauxitbányászat szempontjából is, ahol sokkal kisebb fekürettel rendelkező települést kell leművelni, s a feküreteget mindössze kisebb vastagságú agyagos bauxitréteg, valamint az ahhoz csatlakozó bauxitos agyaggal átszótt triasz-dolomit alkotják.

A triasz-dolomitzózet tömítését az előadottak alapján tehát eredményesen nagyobb területre kihatóan nem eszközölhetjük egymástól nagyobb távolságra telepített külszíni cementáló fúrásokkal azon okból, mivel a szivacsos szövétű triasz-dolomit testben még nagy nyomás mellett is tömítés nem végezhető. Éppen ezért meggondolás tárgyává kell tegyük, hogy ily területeken vízvédelmi cementálást nem célszerűbb-e a *bányából a fedőrétegben kihajtott folyósórendszerből végezni, az erre a célra szerkesztett magasnyomású cementáló-szivattyú segítségével.* Ezen eljárással ugyanis lehetőség van úgynevezett cementált kéreg képzésére az ásványi település alatt. S hogy mily távolságra szükséges telepíteni az ily természetű cementáló fúrólukát, azt a gyakorlat van hivatva eldönteni. Ezen eljárással egyébként sok értékes települést tehetünk leművelhetővé. Főképpen vonatkoztatjuk ezt az eljárást a bauxittelépüléseink leművelésére, melynél a karsztvízszint alatt már jelenkezni fog a vízhozzáfolyás lényeges növekedése, ami viszont a bányászatot erősen megdrágítja és esetleg lehetlenné is teszi.

Előadásom anyagában felvetett hidrológiai megállapítás az elmúlt 2 év alatt gyakorlatilag is beigazolást nyert s a földolomittestben lévő karsztvízszintnek ismeretében konkrét feladatként oldhatók meg az ipari víz biztosítására szükséges vízállomások létesítése, de nem utolsó sorban községi vízművek létesítése is.

#### IRODALOM

- Schmidt Sándor* : Az esztergomi szénmedence ismertetése. B. K. L. 1920.  
*Dr. Schmidt Sándor* Az esztergomi szénmedence bányászatának ismertetése. 1932.  
*Papp Ferenc dr* : Dunántúl karsztvizei és a feltárás lehetősége Budapesten. 1942.  
*Dr. Kassai Ferenc* : Paleocén szénbányászatunk a karsztvíz és a védekezés módjai. 1948.  
*Venkovics István* : Dolomit pórusterfogatok. (Kézirat, 1951).

# KARSTVÍZBETÖRÉS ELZÁRÁSA DOLOMIT-ALAPKÖZET ESETÉBEN

KÁLMÁN MIKSA

A dolomit-alapkőzet karsztosodása mellett keletkező vízbetörések leküzdése nagyfontosságú kérdése szénbányászatunknak és a jövőben, amikor a művelés alatt álló szénmedencéinkben mindinkább a túlnyomórészt dolomit-alapkőzetre települt és kellő vízvédőréteggel nem rendelkező területek leművelésére kerül sor, e vízveszélyes területeknek a termelésbe való bekapcsolása következtében a vízbetörések ellen való hatásos védekezés fontossága mindinkább növekedni fog. Dolomitos jellegű karsztosodással állunk szemben többek között Tatabányán, a dorogi medencében a XII. aknai és sárisápi területen, Padragon is túlsúlyban vannak a dolomitos-alapkőzetek és a németegyházi feltárandó szénmedence alapkőzete is dolomit.

Dolomitos jellegű alapkőzet mellett az eddig szerzett tapasztalatok alapján nincsenek nyitott kavernák, amilyenek pl. a dorogi medencében a dachsteini mészkőben előfordulnak és amelyek több esetben a bányák elfuladását okozták. Ezért a védekezés módjai és problémái is eltérnek a mészkő karsztosodásából eredő vízbetörésektől. A védekezést azonban itt is a dr. Schmidt Sándor által bevezetett mélyfúrású eljárással, de a megfelelő módosítás mellett kell végezni.

Tatabánya jelenleg mintegy 30 m<sup>3</sup>/perc karsztvizet emel. E vízmennyiségnek mintegy 90%-át 14 vízbetörés adja, amelyek nagysága 7.5 m<sup>3</sup>/perc és 0.7 m<sup>3</sup>/perc között változik, míg 10%-át számos kisebb vízbetörésre lehet visszavezetni. A Bányászati Kutató Intézet egyik súlyponti feladatának tűzte ki a tatabányai vízbetörések megbízható elzárásának megoldását : az itt folytatott nagyüzemi kísérletek általában a dolomitos jellegű karsztvízbetörések elzárására vonatkozó irányelvek lefektetését teszik lehetővé.

A karsztvízszint Tatabányán +139.0 m. A legnagyobb vízbetörést 1951-ben a VI-os aknában a +109-es szintben kapták 7.5 m<sup>3</sup>/perc mennyiségben. Az egyes aknaüzemek 20—50 m<sup>3</sup>/perc teljesítményű vízemelőtelepekkel vannak felszerelve a vízveszélyes területek megtámadásából várható vízmennyiségnek megfelelően. Ezért Tatabányán eddig a várható vízbetörések a szivattyútelepekkel leküzdhetők voltak. A mindinkább súlyosabbá váló vízemelési költségek és a vízbetöréses területek szénvagyonának lefejtése érdekében a megoldandó

feladat a vízbetöréseknek megbízható eltömítésére, elcementálására irányul: e munkát minden esetben szivattyúzás alatt álló, vagyis a betörési pont felé *áramló karsztvíz* mellett kell végezni. E munkálatoknál a cementfelhasználás csak akkor indokolt, amikor a víz áramlását már sikerült megszüntetni. Ennek megfelelően a munkálatok sorrendje a következő:

1. A fúróluk és a vízbetörés közt — ahol szükséges — sósavazással megfelelő összeköttetés létesítése.

2. A vízáramlásnak megszüntetése a karsztvízjáratoknak iszapolás által homokkal való kitöltése, vagy más eltömítési mód alkalmazása mellett.

3. A megszünt vízáramlásnál cementnek a homokiszaphoz szakaszosan való adagolása minél kevesebb víz felhasználása mellett, kezdetben ha lehet gravitációs úton, később, ha a fúróluk fulladozni kezd, megfelelő szivattyúnyomás mellett.

4. A befejező cementálás a megfelelő fajsúlyú, tiszta cementtejjel szivattyúnyomás mellett.

A Tatabányán 1930—1942 között 12 fúrólukkal cement felhasználása nélkül végzett vízelzárási munkálatok után 1949-ben újra megindított nagyüzemi vízelzárási kísérletek 4 fúróluk felhasználásával kerültek kivitelre.

Az *első nagyüzemi kísérlet* céljaira a 731. sz. fúróluk lett lemélyítve a Sikkvölgyi aknában a + 73 m-ben egy sikló kihajtásánál fakasztott 0.9 m<sup>3</sup>/perc vízbetörés elzárása céljából. A vízbetörést 1937-ben sikerült elzárni, de 1943-ban ismeretlen okból a víz ismét jelentkezett. A régi mennyiségben folyt most több ponton, amelyeket nem lehetett bukógátba terelni és emiatt az elzárási munkák alatt a vízmennyiségváltozások nem voltak megfigyelhetők. A fúróluk a vízbetöréstől 12 m-re, a régebbi vízelzáró fúróluktól 9 m-re került a + 242.2 m külszíni szintmagasságra. A széntelep fekéjében itt 5.5 m agyagpala van, mely a dolomit-alapkőzetre települt. A vízbetörést a közeli 60 m nagyságú vető vízjárata okozta: a fővetőnek kisebb elővetőjét vágta át a sikló. A dolomit a vető hatására erősen összetöredezett; a vetőzónát alkotó 7.4 m összetöredezett dolomit áthatolása után tömörebb szövetű dolomit következik. A végleges fúróluk-béléselő 93/102 mm, melynek sarúja fölött 1 m hosszúságban a csőfalat az ép dolomithoz forró fagyúban kifőzött aszbesztzsinórral tömítettük. Ennek az volt a rendeltetése, hogy a szükséges sósavazás ne a béléselő mögött a töredezett zónában találjon utat, mert ez esetben az iszapolás alatt a fúrólukba kerülő homok rövid úton a bányába jutna, hanem az a cél, hogy a sósavazás csak a legalsóbb repedéssel találjon kommunikációt, hogy így a fővető, illetve a fővízjárat eltömítésére nagyobb valószínűség legyen. A csősarú 1.5 m-re volt az ép dolomitba ültetve. Alatta 7.1 m volt a kisebb átmérővel, csövezés nélkül lefűrt szakasz.

A fúróluk mélysége 185.1 m

A víz elemzési adatai: Változó keménység 21.1°Né, Cl tartalom = 9.0 mg/l. A fúróluk víznyelőképesége az aszbesztzsinór tömítés elhelyezése után 40 l/perc

volt. 1.570 liter ipari sósav felhasználásával a víznyelőképeséget 1.000 liter/percre lehetett fokozni. A fúrólukon  $70 \text{ m}^3$  0-2 mm szemmagyságú homokot lehetett beiszapolni 35—70% iszapsűrűség mellett. Ezek szerint a homokiszap fajsúlyának figyelembevételével a repedések kitöltése gravitáció mellett  $13\text{--}17 \text{ kg/cm}^2$  túlnyomás mellett történt. Az iszapoláshoz a közelben + 255.3 m-ben levő víztartály adta a vizet 200 mm átmérőjű csövön. A sósavazás 2.5%-os hígítású sósavval történt, amit 10 lit perc adagolás mellett adtunk le a fúrólukon. Az iszapolás alatt a bányában a kifolyó vízmennyiség változása nem volt jól megfigyelhető és ezért az iszapolás addig folyt, amíg a fúróluk el nem dugult. A fúróluk kimosása után csak a befejező cementálás volt elvégezhető, kezdetben  $0.5 \text{ m}^4$  perc teljesítményű sűrített levegő meghajtású Worthington-szivattyúval, később az Intézet által megrendelt elektromos zagyszivattyúval. Utóbbi  $0.5 \text{ m}^3$ /perc teljesítményű 6 atm. nyomás mellett. Összesen 135 q cement került felhasználásra; a cementtej fajsúlya 1.2—1.6 volt. A vízmennyiség az iszapolás és cementálások után 120 lit/perc-re csökkent. Valószínű, hogy a megmaradt víz nem az alapkőzetből származó triászvíz, hanem az eocén mészkőből lecsapolt víz. Megállapításához több összehasonlító vízvizsgálásra volna szükség.

A 93/102 mm-es béléscövet a fúrólukban hagytuk, hogy az esetben, ha az évek folyamán a cementálás ellenére a vízbetörés ismét jelentkezne — pl. az alapkőzet biztonsági pillérének lefejtése következtében — ne legyen szükség új fúróluk lemélyítésére.

Az elért 800 l perc vízelzárás a Sikvölgyi aknai vízemelési viszonyok alapján 30 fillér  $\text{m}^3$  percenkénti vízemelési költséggel számolva évente 126.000-Ft — főleg áramköltségben jelentkező — megtakarításnak felel meg. A ráfordított kiadás 160.000-Ft volt, vagyis az összes költség 16 hónap alatt megtért.

A második nagyüzemi kísérlet a 761. sz. fúróluk felhasználásával történt, melynek célja a XIV-es aknában az I. délkelet bányamezőben a + 37.5 m szintmagasságban kihajtott —7 szint 2. osztóvágatából telepített  $240 \text{ m}^2$  alapterületű 2.5 m magas fejtésből, annak beiszapolása után 17 nap elteltével betört víz elzárására irányult. A szomszédos nyitott fejtésben a vízbetörést nagyobb nyomás fellépése előzte meg, mely az ácsolatokat 18 m hosszú szakaszon összetörte. Nagyobb talpduzzadás nem volt. A víz szagtalan és tiszta volt. Elemzési adatai a következők: változó keménység =  $23.4^\circ \text{Né}$ , állandó keménység  $1.7^\circ \text{Né}$ , Cl tartalom =  $7.0 \text{ mg/l}$ , hőfok =  $8.0 \text{ C}^\circ$ .

A víz a fejtésbe két ponton tört be, az egyik az iszapgáttól 9 m-re, a másik ettől 21 m-re a vájatvégnél. Az előbbi  $2 \text{ m}^3$ /perc, az utóbbi  $3 \text{ m}^3$ /perc nagyságot ért el. A fejtés közelében lemélyített Crealius-talpfúrások szerint a fejtés talpában 11.5—12 m vastag szürke agyagréteg van, amely a dolomit-alaphegységre települt. Mint megállapítható, az 1.2 m/atm. fektérteget nem biztosított védelmet a karsztvíz betörése ellen. A fejtésben vetődést nem állapítottak meg és az üzem vezetőségének az volt a felfogása, hogy a két vízbetörés között a széntelep csapásiránya vető nélkül  $45^\circ$  alatt elfordult. Ezért valószínűnek látszott, hogy

a fejtésen kívül a vízbetörés közelében telepített fúrólyuk vízelzárási célokra alkalmas lesz. A fúrólyuk a nagyobb vízbetörésektől 14 m távolságra a fejtés fölött haladó alapközléltől 7 m távolságra került. A széntelep vastagság 33 m, alatta 11.6 m szürke agyagpala van, mely a dolomit alaphegységre települt. 9.4 m töredezett dolomit után, amelybe 2.3 m agyagkitöltés van beágyazva 5.4 m kemény dolomit következik két meszes agyagpad közbeágyazásával, amelyek 0.5 és 0.2 m vastagok. A kemény dolomitot egy vetőlap választja el az alsó igen töredezett dolomittól, amelyben 8.4 m-re haladt a fúrás. A 123/138 mm-es végleges béléscsővet a kemény dolomitba ültettük le és, mivel itt nem volt áramló víz, a csősarut cementbe lehetett helyezni. A fúrólyuk teljes mélysége 245 m.

A vető fölött levő kemény dolomitból, valamint az alatta levő repedezett dolomitból vett minták elemzési adatai az alábbiak:

	Kemény dolomit	Repedezett dolomit
Savban oldhatatlan ...	0,8%	1,7%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	1,0%	1,2%
CaO .....	2,7%	2,1%
CaCO <sub>3</sub> .....	17,5%	—
CaMg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .....	78,0%	94,5%

A fúrólyuk kezdetben alig néhány percliter vizet nyelt; miután 3.930 l 2.5%-os hígítású sósavat vezetünk be a fúrólyuk fenekére, 1.700 percliter víznyelőképességet sikerült elérnünk. Ekkor iszapolást végeztünk, de csak 5 m<sup>3</sup> 0—2 mm szemnagyságú homokot fogadott be a fúrólyuk és ezután a fúrólyukfenék eldugult. Kimosatás és újabb, most már 4%-os hígítású sósavazás után került sor a második iszapolásra, de ismét csak 5 m<sup>3</sup> 0—2 mm-es homok volt, a dolomitrepedésekbe adható, mert a fúrólyuk ismét eldugult. A további kísérleteket igen finomszemű homokkal (lőszből leválasztva) lehetett volna folytatni de ilyen anyag nem volt a közelben található. Ezért a fúrólyukcsőfalnak robbantás útján való megnyitását kíséreltük meg abban a feltevésben, hogy a béléscsővezetett alapkőzetszakaszok alkalmasabbak lesznek a sósavazással való repedés megnyitás után végzendő iszapolás céljaira. A robbantást 2 helyen végeztük, az elsőt kemény dolomitban, a két vékonyabb meszes agyagpad fölött, a másodikat az alapkőzetperemnél a töredezett dolomitban. Azonban az így két helyen megnyitott csőfalán át végzett sósavazás sem járt megfelelő eredménnyel. Az első robbantást követő sósavazás hatása a bányában kiömlő vízben csak egész kis mértékben volt kimutatható: a sósavazással létesült összeköttetés tehát nem a vízbetöréshez, hanem más vízjáratához vezetett. A második robbantás után végzett sósavazás végén a sósav Cl tartalma a vízbetörésből vett minta Cl tartalmában 100%-osan kimutatható volt, tehát a vízbetöréssel az összeköttetés megvolt. A sorra következő iszapolás alkalmával csak 1—1 m<sup>3</sup> homokot lehetett a repedésekbe juttatni minden vízelzárási eredmény nélkül.

Befejezésül 70 q cement felhasználásával a fúrólyukat szivattyúnyomás mellett beadott cementtejjel elcementáltuk.

E fúrólyuknál végzett sósavazások alatt összesen 26.000 l sósavat használtunk fel. E rendkívüli sósavmennyiség egymagában bizonyítja, hogy a dolomitban igen nehéz feladat a vízbetöréshez vezető vízjáratok szelvényének megfelelő méretű tágítása. Ahhoz tehát, hogy eredményesen lehessen iszapolni és cementálni, rendkívül fontos, hogy a fúrólyukat az alapkőzet oly helyére telepítsük, ahol a vízjáratokkal az összeköttetés már jórészt minden beavatkozás nélkül is megvan.

Ez eredménytelenül végződött kísérleten okulva, a *harmadik kísérleti fúrólyukat* (786. sz.), amelyet ugyanezen két vízbetörés elzárása céljából mélyítettünk le, a két vízbetörés közé a beiszapolt fejtésbe telepítettük, a nagyobbik vízbetöréstől 6 m-re, a kisebbiktől 16 m-re. A fúrólyuk külszíni kótája + 245.0 m. Az átfúrt széntelep-vastagság 41 m. A fejtés talpában ebből 10 m vastag égőpala van, ez alatt 0,4 m vastag alumíniumhidroxidos pad (huszárzsinór) ez alatt 1,8 m vastag szürke agyagréteg van, mely a dolomit alapkőzetre települt. A fejtés talpában tehát valójában 1,2 m/atm. védőréteg van, amelynek túlnyomó része égőpala.

A fúrólyuk mélyítése a fejtés talpa alatt vízöblítés nélkül száraz fúrással történt és az ide vélegesen beépítendő 180/191 mm-es. fúrócsövek számára a fúrás 172 mm-es vésővel végeztük. Amint a véső elérte a dolomitot, abban 20 cm-t bővítővésővel lefúrártunk és e bővítésbe ültettük be a 180/191-es csőszakart, mely önsúlyánál fogva süllyedt a helyére és jól beszorult az átfúrt rétegekbe. Ez fontos volt azért, mert feltételezhető volt, hogy a béléscsőfal mögött a csőzárás tökéletes lesz és ezen az úton az iszapolás alatt nem állhat be kommunikáció a vízbetöréssel.

A dolomitba tovább fúrva 3 m mélységben egy 10 cm-es repedést lehetett a fúróvéső eséséből megállapítani; a repedés alatt a dolomit változatlan minőségben folytatódott. E repedés bizonyára vetőt jelent és, ha a környező Craelius fúrások adatait vizsgáljuk, valószínű is, hogy itt egy 7 m-es elvetési magasságú vető emeli fel a vájatvégnél a széntelepet. Nincs tehát inflexió csapásvonal változás. Vastag széntelegeknél vető jelenlétének a megállapítása oly esetben, ahol szintjelző meddő beágyazások — mint ez esetben is — hiányoznak és a vetődés nem járt minőségváltozással, nem könnyű feladat. A repedés alatt mindössze 45 cm-t haladt tovább a fúrás. A dolomit főbb elemzési adatai a következők:  $\text{CaMg}/\text{CO}_3/2 = 90,4\%$ ,  $\text{CaCO}_3 = 5,4\%$ .

A fúrólyuk mélysége 223,1 m.

A vízbetörést e 10 cm nyílású repedésre, illetve vetőmenti vízjáratra lehet visszavezetni. A fúrólyuk víznyelőképessége a repedés megütése után legalább 4 m<sup>3</sup>/perc volt; pontosabban nem lehetett megállapítani, mert csak ennyi volt a csővezeték vízszolgáltatása. A helyszínen tárolt 50 m<sup>3</sup> homok felhasználásával lehetett az első iszapolást végezni, mely mintegy 2 atm. víz-



tartánnyomás mellett történt; előbb  $35 \text{ m}^3 0-2 \text{ mm}$ , később  $15 \text{ m}^3 0-5 \text{ mm}$  szemmagyságú homok került beiszapolásra. Itt meg kell jegyezni, hogy a vízbetörés körzete víz alatt állott és a  $+ 37,5$  szinten levő fejtési vágatot szivattyúzási zsomponak használták fel; ennek folytán a vízmennyiségben a munkálatok folyamán előállott változások nem voltak pontosan mérhetőek, mindössze a szivattyúzási időből és a zsomp vízszintváltozásából lehetett a vízmennyiség változásra utólag következtetni.

Az iszapolás alatt a zsompban a víz lényegesen emelkedett és a víz színe mindinkább iszapos lett. Amikor a homok elfogyott és emiatt az iszapolás megszűnt, a bányában az iszapolás előtti állapot állott helyre, vagyis az iszapolás következtében a vízjáratok nem változtak, tehát a beadott homok a feküretegek repedésein át a bányába, illetve a zsompha jutott. A további iszapolás ezek szerint nem járhat eredménnyel mindaddig, amíg a homoknak a bányába való jutását meg nem akadályozzuk. Oly anyagot kerestünk, melynek fajsúlya 1,0-nál kisebb, tehát a vízen úszik, kellő ellenállást fejt ki az iszaposzlop nyomással szemben és nem forgácsolódik. Erre a célra a polietilén műanyagból fröccsöntéssel készült megfelelő átmérőjű golyók felhasználását tartottuk célravezetőnek. A polietilén fajsúlya 0,93 és egy  $30 \text{ mm } \varnothing$ -jű, két lemez közé beszorított polietilén golyó nyomáspróba szerint  $220 \text{ kg}$  nyomásnál kezdett belapulni és még  $800 \text{ kg}$  nyomás mellett is csak néhány helyen megrepedezett ellipszoid formát mutatott. Mivel a karsztvíz elzárásnál a hazai viszonyok alapján legfeljebb  $20-30 \text{ kg/cm}^2$  nyomással lehet a fúróluk fenekén távozó golyóknál számolni, e golyók belapulás nélkül lesznek minden esetben használhatók, tehát a célnak tökéletesen meg fognak felelni.

A polietilén golyók könnyen faraghatók, ennél fogva úgy a fekürepedések, mint a dolomit- vagy mészkőrepedések falába jól beszorulnak. Ha ilyen golyó kerül a homokiszapolás alatt a fúrólukba, az örvénylő iszapáram szívóhatása a golyót magával ragadja és a fúróluk fenekén levő repedésen át a víznél kisebb fajsúlyánál fogva az a legkisebb vízoszloppenállás felé, vagyis a vízbetörési pont felé sodródik; útközben beszorul a repedés falába, ahol ezáltal szelvényzsűkítés áll be, ott az iszaphól a homok egy része leülepedik, a mindinkább csökkenő szelvényű repedés teljesen eltömődik és ily módon a vízbetörés fokozatosan megszűnik. Ha ez bekövetkezett, a további iszapolást cement felhasználása mellett kell végezni mindaddig, míg a repedés-hálózat teljesen megtelik cementes homokkal. A befejező munka a szivattyúnyomás mellett s tiszta cementtejjel végzendő fúróluk cementálás.

Gyakorlatilag a vízelzárás akkor sikerülhet, ha megfelelő átmérőjű polietilén golyók kerülnek felhasználásra. Toricelli képlete alapján végzett számítás szerint a  $3 \text{ m}^3/\text{perc}$  vízbetörést  $17 \text{ cm}^2$ , a  $2 \text{ m}^3/\text{perc}$  vízbetörést  $11,3 \text{ cm}^2$  szelvényű vízjáratokra, illetve repedésekre lehet visszavezetni. A  $10 \text{ cm}$ -es repedésre és a kiszámított repedésszelvényekre tekintettel  $30$ ,  $25$  és  $15 \text{ mm } \varnothing$ -jű polietilén golyók kerültek felhasználásra. Az első felhasználásnál  $70 \text{ m}^3$  homok

beiszapolása közben 6 db 30 mm, 11 db 25 mm és 20 db 15 mm  $\varnothing$ -jú polietilén golyó jutott a fúrólukba. Az iszapolás alatt a bányában a víz nem emelkedett, hanem csökkent, a víz színe tiszta maradt. A két nappal később a szivattyúteljesítmény alapján az üzem által végzett vízmérésnél kitűnt, hogy annak mennyisége  $3 \text{ m}^3/\text{perc}$ -cel csökkent, vagyis a fúróluktól 6 m-re levő vízbetörést teljesen sikerült elzárni. Mivel a fúróluk nyelőképessége változatlan maradt, a további homok-szállítások után végzett iszapolások cement felhasználásával történtek mindaddig, míg a fúrólukkal összeköttetésben levő repedéshálózat teljes kitöltése, illetve elcementálása bekövetkezett.

Végeredményben a fúrólukon  $440 \text{ m}^3$  homok és  $170 \text{ q}$  cement jutott a repedésekbe és az összesen felhasznált polietilén golyók száma: 6 db 30 mm, 11 db 25 mm és 75 db 15 mm  $\varnothing$ -jú volt. Az utolsó iszapolások alatt a  $2 \text{ m}^3/\text{perces}$  vízbetörés az üzemi adatok szerint  $1,6 \text{ m}^3/\text{perccel}$  csökkent.

Ezt a jelenséget a következőképp lehet magyarázni. A fejtés kezdetén levő talpfúrás szerint az alapkőzet-szint  $+ 20,0 \text{ m}$ , a 786. sz. fúróluknál  $+ 25,4 \text{ m}$ . A két pont közt levő  $2 \text{ m}^3/\text{perc}$  vízbetörés e kb. 5 m vető mentén tört fel. E vető és a  $3 \text{ m}^3/\text{perc}$  vízbetörést előidézett vető — mely utóbbi az alapkőzetet  $+ 25,4 \text{ m}$ -ről  $+ 32,4 \text{ m}$ -re vetette fel — egy a két vetőt metsző harántvető által volt összeköttetésben, melyen át a fúrólukon beadott tömedékanyag a  $2 \text{ m}^3/\text{perces}$  vetőhöz jutott. A fúrólukon keresztül végzett iszapolások és elcementálások hatására az előbbi adatok alapján összesen  $4,6 \text{ m}^3/\text{perc}$  karsztvizet sikerült elzárni.

A XIV-es aknáknál a vízemelési költségek percenként  $50 \text{ fillér}/\text{m}^3$  körül vannak. Ha óvatosan csak  $40 \text{ fillér}/\text{m}^3$  percenkénti vízemelési költségmegtakarítással számolunk, évente  $960.000$ . — Ft megtakarítás áll elő, mely túlnyomórészt az áramköltségekben jelentkezik. A 761. és 786. sz. fúróluknál összesen  $600.000 \text{ Ft}$  költség merült fel, így kitűnik, hogy az összes karsztvízelzárási költségek 7 hónap alatt megtérültek.

A negyedik nagyüzemi kísérlet céljaira a 809. sz. mélyfúrás került lemélyítésre a Sikvölgyi akna II. nyugati siklóján, 1948-ban, a  $+ 78 \text{ m}$  szinten, egy kb. 8 m-es vető közelében kihajtott fejtésben feltört  $1,4 \text{ m}^3/\text{perc}$  karsztvíz elzárása céljából.

A betörés előtt mintegy 40 cm-es talpduzzadás volt a fejtési folyosóban megfigyelhető, más rendellenes jelenség nem volt. A vető mentén a lefejtett hosszúság  $27 \text{ m}$ . A fúróluk a levetett részbe a vízbetörési ponttól 7 m-re került; a vetőlaptól  $3,5 \text{ m}$ -re volt a víz feltörésének a pontja, vagyis a fúróluk a  $+ 78 \text{ m}$ -es szinten mérve, a vetőtől  $10,5 \text{ m}$ -re került. A beiszapolt fejtés talpában a fúróluk  $4,5 \text{ m}$  barna agyagot,  $4,2 \text{ m}$  összetöredezett agyagos szenes palát fúrt át, mely alatt egy vékony meszes agyagzsinór van, amely a dolomit alaphegységre települt. A dolomit felső  $2 \text{ m}$  szakasza erősen összetöredezett, alatta keményebb dolomit van, amelyben  $4,5 \text{ m}$ -nél egy repedést lehetett megállapítani abból, hogy az öblítővíz itt elszökött; a továbbfúrásnál a repedés eltömődött. A repe-

dés alatt 3,7 m-t haladt a fúrás változatlan minőségű dolomitban. A fúróluk mélysége 168,5 m. A dolomit elemzési adatai a következők:

SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nyomokban, CaO = 31,8%, MgO = 18,3%, SO<sub>3</sub> = 1,3%, CO<sub>2</sub> = 44,2%. Az anyag 88,3%-a Ca,Mg/CO<sub>3</sub>/<sub>2</sub> és 8,6% CaCO<sub>3</sub>.

A végleges béléscsősarú a keményebb dolomit felső peremébe lett leültetve. Az eltömődött alapkőzet-repedés 200 l sósav felhasználásával ismét megnyílt. A vetőlapnak 27 m hosszban a fejtés következtében való szabaddátétele miatt az iszapolási és cementálási munkáknál fokozott óvatosságra volt szükség. A repedésszelvény a számítás szerint mintegy 10 cm<sup>2</sup>. Az iszapolásoknál 15 és 10 mm Ø-ű polietilén golyók kerültek felhasználásra. Eddig 129 m<sup>3</sup> homok átlag 48%-os iszapsűrűségben, 0-5 mm szem nagyságban került le a fúrólukon és közben 114 db 15 mm, 863 db 10 mm Ø-ű polietilén golyót, mintegy 1,200 db 3,5 mm vastag cca. 3 mm hosszú polietilén öntőcsaphenger darabokat és 300 g 2 mm-nél durvább szem nagyságú nyers polietilént használtunk fel. Ezek hatására a vízmennyiség 0,8 m<sup>3</sup>/perc-cel csökkent. A további munkálatokat a késedelmes homokszállítás hátráltatta.

A fúróluknál végeztük el, a csőfalnak az alapkőzethez saválló módon való rögzítése céljából, műanyag felhasználásával lefolytatott laboratóriumi kísérletek nagyüzemi kipróbálását. Az eredmény nem volt megfelelő, mivel a fenolgyanta alapanyagú gyantacementnél a szilárdulási idő túl lassú volt és azért nem érte el a kellő időben a megkívánt szilárdságot; amellet a gyantacementnek a fúrólukcsőfal mögé juttatásához használt nyomás a szükségesnél nagyobb volt, mert a gyantacement a dolomitrepedésekben eltűnt. A laboratóriumi kísérletek így még kiegészítésre szorulnak. A kérdés megoldása fontos, főleg olyan fúrólukaknál, ahol nincs az alapkőzet fölött vízvédőréteg.

### Összefoglalás

A Tatabányán dolomit alapkőzet mellett régebben végzett, valamint az ismerttetett újabb karsztvízelzárási kísérletek szerint egy fúrólukon 50—440 m<sup>3</sup> homokot lehet az alapkőzet-repedésekbe juttatni. Ilyen mennyiségek tárolása szükséges ahhoz, hogy a vízbetörés elzárását, valamint ezt követően a vízbetöréssel összekötött vízjáratok elcementálását kellő eredménnyel el lehessen végezni.

Mivel áramló víz mellett a karsztvízbetörés elzárási munkáinál a bányászati termelés nem szünetel, a munkálatokat úgy kell végezni, hogy azok a termelést ne gátolják. E feltételt csak a külszínről az alapkőzetbe lemélyített fúrólukkal lehet teljesíteni. A tatabányai terepviszonyok mellett a karsztvízszint fölött mintegy 100 m fúróluk mélység áll rendelkezésre és ezért lehetséges az iszapolást minden gépi felszerelés nélkül 10 atm.-nál nagyobb nyomás

mellett végezni az iszapfajsúlynak megfelelően és ez a karsztvízelzárás akció\_rádiusát egymagában lényegesen növeli; az agyszivattyúval az akció\_rádius további növelése biztosítható. A mélyfúrás csak az esetben fog céljának megfelelni, ha azt úgy telepítik, hogy átvágja a vízbetörést tápláló vető-vízjáratot. E vetők felvétele ép ezért elsőrendű fontosságú. A vetőfelvételt el kell végezni a feltárás és fejtési előkészítés alatt, mindazon területeken, ahol a vízbetörés valószínűségével számolni kell és ki kell egészíteni a fejtésben a legalsó fejtési szinten megállapítható vetők adataival. Tatabányán az égőpalában lévő alumíniumhidroxidos padok helyzetváltozása, valamint a széntelep-padok minőségi változása adhatnak támpontot a vetők jelenlétére, ha más meddő beágyazások nem volnának megállapíthatók. Ajánlatos a vízbetörés közelében talpfúrásokkal is ellenőrizni az alapkőzet-perem szintmagasságát.

A vízbetörés helyének megbízható bányaméréssel való meghatározása a következő fontos követelmény. A bányamérést gondos külszíni kapcsolóméréssel kell összekötni, hogy a lemélyítendő fúróluk kitűzése megbízható legyen. A fúróluk függőleges irányának betartását biztosítani kell.

A vízbetörés áramlása az esetben, ha a repedés szelvénye ezt lehetővé teszi, a fúrólukon iszapolás közben beadott polietilén golyók felhasználásával megszüntethető. Szűkebb repedésnyílások esetén a megfelelő alakban és nagyságban felhasznált polietilén biztosítani fogja az áramlás megszüntetését. Utóbbi irányban még kutatást kell végezni.



# A KARSZTVÍZVESZÉLY ELLENI VÉDEKEZÉS VÉDŐRÉTEG NÉLKÜLI TERÜLETEN

SZÉKELY LAJOS

Ismeretes, hogy a karsztvízveszély a középdunántúli szénmedencék egyik megoldandó sarkalatos problémája, melynek sikerétől függ e szénmedencék sorsa.

Ezen túlmenően, nemcsak az ott előforduló jóminőségű szénnek gazdasági életünk vérkeringésében való felhasználása szempontjából, hanem szociális és életbiztonsági érdekből is súlyponti feladatként kell kezelni e kérdést. T. i. míg egyrésztől népgazdaságunk nem nélkülözheti e kalorikus és tarifális szempontból kedvezően értékelendő szénterületek termelését, másrésztől nem közömbös, hogy a szóbanforgó medencékben a bányaművelés mily rendszer szerint folyik s a dolgozók életbiztonsága 100%-osan garantálható-e, ezen túlmenően egészségvédelmük mily módon nyer megoldást tekintettel a vizes munkahelyekre.

Az eocén-medencékben hatalmas területen közvetlenül a triázmészköre települt a paleocén széntelep. Így az ily területen folyó bányászatnak fel kell mérnie a helyzetadta követelményt, s összehasonlíthatatlanul mostohább viszonyok között kell a fekete gyémántot kitermelni, mint a szerencésebb földtani adottságok következtében, ha víz ellen védelmet nyújtó ú. n. védőréteggel takart területen lenne folytatható.

Mielőtt e kérdés mélyebb taglalásába bocsátkoznánk, a közvetlenül triázmészköre települt széntelepben folytatott bányászat megfigyeléseit, tapasztalatait óhajtom röviden ismertetni.

A mészkő felülete helyenként nagyobb táblákban ép, zárt, síma tapintású másutt kisebb körzetben is zavart, repedezett, kiálló rögök gyakoriak. Míg, előbbi esetben rendszerint a széntelep fekvése nyugodt, kifejlődése táblás, utóbbiban gyakori a lencseszerű település, változó telepvastagság s a telep rétegződése sem oly határozott, mint első esetben.

A mészkő felületét a bányász természetesen nem szívesen bontja meg és arra szükség ritkán van a művelésnél, azonban ha sor kerül rá, helyenként az épnek látszó mészkő felületéről is kiderül, hogy az repedésekkel átjárt s a síma lap álfelület. Itt-ott megjelenik a víz, ha nem is betörésszerűen, s csordogálása akadályt jelent, mert a fejtés tömedékelése előtt csöbe kell teregni és állandó elvezetéséről gondoskodni, nehogy az iszaptömedéket kimossa. Másutt a művele

tek folyamán az eredeti egyensúlyi helyzet megbomlása súlyosabb következményekkel jár. Az épnek látszó mészkőfelületet (bunda) feltörve, betörésszerűen jelenik meg a víz, a támadt nyílástól és állandó vízszinttől való szintkülönbségtől függő nagyobb mennyiségben.

Mivel a cél végeredményben a szén lefejtése, a művelés folyamán a mészkő felülete szabadabbá válik, hol kisebb, hol nagyobb nyitott felületen.

A vízbetörés — ha figyelmen kívül hagyjuk a rendelkezésre álló szivattyútelep teljesítményét — különösen akkor veszélyes, ha szénen keresztül következik be, mert míg a mészkőből betört primér víz tisztán folyik, a szénen áttörő víz a szén apróra töri, magával sodorja, a szivattyú szívóberendezéseit eliszapolja.

Ugyanez a veszély áll fenn megfelelő méretű, falazott csorga hiányában, mert a víz az útjába eső szén magával sodorja, alámosza az ácsolatok támfáit, s törést idéz elő.

Nem véletlen, hogy ezen veszély elleni védekezés a tokodi bányászatban fejlődött ki leginkább, mivel az előfeltételek ott vannak meg a triázmészkőre közvetlenül települt széntelep következtében. *Hosmann Béla*, majd *Schnetzer János* bányamérnökök, abból az elvből kiindulva, hogy vízveszély szempontjából ily területen közömbös, vajjon mészkőben, vagy közvetlen felületén hajtják-e ki a főfeltáró vágatokat, javasolták azok mészkőben való kiképzését. Elgondolásuk szerint a gátolással való vízelzárás is sikeresebb mészkőben, mint szénben.

Míg a tokodi körzetben így az évtizedek alatti +131 m tengerszint feletti magasságban állandósult víztükör helyi süllyesztésének módzatai nyertek alkalmazást, más elgondolás szerint (*Stégl-Schmidt*) a víztükör az egész medencében lesüllyesztendő. Utóbbi lehetetlensége később nyilvánvalóvá vált, így a törekvés csupán előbbi megoldás felé irányul.

A védőréteg nélküli területen folyó bányászat két művelési rendszer szerint alakult ki:

1. vízszint helyi lesüllyesztése,
2. a széntelep fedőjében való előkészítés és szivattyútelep berendezése után a telep leművelése.

Első eljárás szerint folyt a tokodi I., V., újabban XXI. sz. ereszkék mezejében a bányászat. Lényege a feltáró folyosók mészkőben való kiképzése.

Feltárás közben a vizet fokozatosan csapoljuk meg, mikor is a széntelep lefejtése közben már vízbetörés nincs. A feltáró ereszke a nyugalmi vízszinten hajtott alagútból nyer kihajtást. A mészkő a vízszint alatt nyirkossá válik anélkül, hogy számottevő repedést észlelnénk. A hajszálrepedésekből víz folyik ki, melynek mennyisége a mélység felé haladva folytonosan nő. Közben depressziós tér alakul ki, a mészkő csatornahálózatának magasabb szakasza kiszárad, míg a betáplálás szerepét a mélyebben kiképzett csatornarepedések veszik át. Némelykor nyomás alatt álló víz jelzi egy barlangrendszer bővebb csatornájának

közelségét. Ilyenkor előfúrással kell megcsapolni a vizet, hogy romboló hatását csökkentsük. A mélyebb szint felé haladva az ereszké felső szakasza fokozatosan szárad ki, jelezve a depressziós tér felső alkotóinak helyzetét, míg a főkiömlő nyílás mélyebb szintre helyeződik át.

A csatornarendszer, ill. érhálózat nem függ össze s határozott vízjáratirány-  
nak megállapítása előre kiszámíthatatlan a kivételes esetektől eltekintve. Erre az I. ereszke +67 m szinti alapközlének kihajtása alkalmával számos példát láttunk. Így az ereszkében megütött kaverna, amellett, hogy fokozatosan csökkent vízmennyisége, több helyről nyert utánpótlást, mert észrevehető vízhozam csökkenése különböző távolságban és irányban lévő repedések feltárása után következett be.

Érdekes megfigyelés, hogy míg az I. ereszkei mélyszinti alapvágat által képezett depressziós tér dőlés irányában a felette lévő területen teljes egészében kialakult, tehát elvileg cca 60 m volt a vízszint süllyedése, az e szintről mélyített segédereszke szénben hajtott műveletei a cca 70 m távolságban lévő fővető mentén több vízbetörést produkáltak, jelezvén, hogy a lecsapolás hatása e vetőre nem terjedt ki.

A megelőző védekezést szolgálja a megfelelően méretezett szivattyútelep. Ha ez nincs kellően felszerelve az emelendő vízmennyiségnek megfelelően, bekövetkezik a mező elúszása, mely a vágatok pusztulása következtében az újrainvitást rendkívüli módon megnehezíti. A szivattyútelep akkor tekinthető kellően méretezettnek, ha a várható vízmennyiség kétszeresét képes emelni. A szivattyútelep elhelyezésénél főkövetelmény, hogy legalább 2 m-rel képezzük ki az alapköze talpszintje felett, mert így tartalékszomp gyanánt az egész alapköze térfogata rendelkezésünkre áll.

A megelőző védekezés eszközei között kell felsorolnunk a gátakat, gátajtókat. Tapasztalat szerint a fedőben, vagy szénben kiképezett gátajtók, gátak nem üzembiztosak, s a víz gyakran megkerüli a gátszéket. A mészkőben készített gátszék megbízható és gyorsan helyreállítható. Jó tapasztalatot szerezünk bauxit-cementből készült gátakkal.

A második rendszer szerint a főfeltárás fedőben készítendő el, és a szivattyútelep felszerelése után akkor harántolunk a telepbe, mikor már megfelelő méretű zompok rendelkezésre állanak.

Előbbi rendszerrel szemben főhátránya, hogy a művelendő terület lecsapolatlan, úgyhogy vízbetörések szempontjából a veszély állandóan fennáll. Előnye a kiprovokált víz emelésének átmeneti elmaradása. Ha tekintetbe vesszük, hogy nagyobb vízbetörés esetén e rendszernél a mezőt a cementálás bekövetkeztéig víz alá kell eresztetni, a cementálás eredményessége érdekében, majd újrainvitni, valamint viselni kell a kedvezőtlen nyomásviszonyok következtében aránytalanul növekvő termelési költségeket, az előbb említett hátrány nagyrészt kiegyenlítődik.



Megelőző védelmet szolgál azon alapvető elv, hogy a feltárandó bányamezők önállóan elzárható részekre legyenek oszthatók, vízbetörések esetén való elkülönítés és azok hatásának csökkentése érdekében.

Vigh Ferenc a különböző mélységekből gazdaságosan emelhető vízmennyiségekre diagrammot szerkesztett, melyből rátekintéssel leolvasható, mily szénmennyiséget kell termelni a mezőben, hogy a vízemelés elviselhető legyen. Így pl. 100 m mélységből 9 m<sup>3</sup>/min. vizet emelhetünk napi 17 w. termelés mellett, vagy 26 m<sup>3</sup>/min-t napi 30 vagon termelésnél. Nagyobb mélységnél, pl. 200 m-ből 5 m<sup>3</sup>/min vízemelés rentábilis 17 w., vagy 13 m<sup>3</sup>/min vízemelés 30 w. napi termelésnél. (—70 m szintnél, alagútrendszerünk mellett.)

Mivel a bányászat magasabban fekvő telepek kimerülése folytán mindinkább nagyobb mélység felé terelődik, a jövő szempontjából megvizsgálandó, hogy a fokozódó hidrosztatikai nyomás következtében nem kell-e oly nagy vízmennyiségekkel számolni, melyek a bányászatot eleve lehetetlenné teszik. E kérdésre igyekszik megnyugtató választ adni *Albel Ferenc* erre vonatkozó tanulmányában, mely elgondolást azonban fenntartással kell fogadni. T. i. szerinte a —200 m szint alatti mélységben a Dachstein-mész-kőben vízjáratok alig vannak, mert a lefelé gravitáló csapadékvizek áramlása az útjukba eső kőzetek anyagával a karsztosodott repedéseket betömítette.

*Schmidt Sándor* két évtizeddel ezelőtt némileg hasonló elméletet állított fel, mely szerint a karsztosodás a mészkőfelület alatt cca 15—20 m-ig terjed.

Nem látom bizonyítottnak a felállított tételt alábbiak miatt :

1. Az elgondolás alapjául szolgáló fúrások nagyrészt —200 m szint felett cementálási célzattal vetőkre, vízbetörési helyekre telepítették, melyeket bányászattal tártak fel. Mivel a bányászat a tetemes védőréteggel rendelkező VIII. és Erzsébet-aknai területek kivételével a —200 m szint felett folyt Dorogon, úgyhogy előbbi adottságból kifolyólag vízbetörések nem történtek, s vetődéseket és vízbetörési helyeket nem kellett elcementálni, az e szint alatti fúrások legnagyobb része szénfúrás.

2. A fúrások mészkőbe való hatolásának hossza a —200 m szint feletti magasságig lefúrt lyukakban 56 m, e szint alatt pedig 18,9 m. Így utóbbiak kisebb mélységig hatoltak a mészkőbe s kevesebb eshetőség van ezeknél a repedések feltárására. Érdekes összehasonlítási alapul szolgálna, ha minden fúrásnál a mészkőfelülettől mért, ugyanazon mélységben lévő repedéseket állítanánk szembe.

3. A cementáló fúrások nyelőképességét sósavazással növelték, ami a nem cementálási céllal mélyített fúrásokban elmaradt.

4. A kisebb mélységig fúrt lyukak tekintélyes %-a a rendkívül karsztosodott VI. aknai szenterületre esik s az itteni eredmények nem a tengerszint alatti mélységgel, hanem ennek a területnek karsztosodásával függnek össze. A területek karsztosodási foka tapasztalat szerint ugyanazon mélységben is különböző. Így pl. a közvetlen szomszédos tokodi IV., IV/a, IV/b, vagy I. sz.

ereszkékben cca 50—80 m mélységben folytattunk bányászatot, merőben eltérő mészkőfelület mellett. De más példát is felsorolhatnánk, mint pl. a dorogi VI. és I. aknai, vagy X. aknai területeket. Viszont a VI. akna —60 m szint körüli bányászata összehasonlíthatatlanul kedvezőtlenebb tektonikai viszonyokat mutatott ki, mint a IV/a ereszkei mező, ahol a veszélyes vízszint alatt 30—40 m-rel folytattunk bányászatot.

5. A —200 m szint alatt folytatott bányászat jelenleg kedvező vastagságú védőréteggel takart területen folyik, ami a vízbetörések elkerülésének fő oka. Így tehát ily mélységben várható vízveszély felmérésére gyakorlati támpontunk nincs.

6. A fúrások között szerepelnek a XII. aknai cementáló fúrások is, melyekbe aránylag kevés tömítőanyag volt bepréselhető, jeléül a karsztosodás csekély fokának, holott ezen terület vízemelése éppen érhálózatból táplálkozó, kisebb-nagyobb forrásokból oly nagy mennyiségű volt ( $14 \text{ m}^3/\text{min.}$ ), hogy a bányászat rentabilitását veszélyeztette. A bányászat szempontjából pedig végeredményben nem az átharántolható kavernák száma, hanem a várható vízmennyiség a döntő.

7. A fúrások pontszerűen vizsgálják meg a föld kérgét s így megnyugtató következtetést szóbanforgó nagy horderejű kérdésben pusztán fúrások alapján nem lehet levonni.

Végül röviden fel kell említenem, hogy a lecsapoló eljárásnál csak a lecsapoló vágatokban vizes a folyosó, míg a szénfejtés időszakában már száraz munkahelyeken dolgozhatunk. A lecsapoló vágatok kihajtásának időtartama rövidebb a fejtéseknél és kevesebb munkaerőt foglalkoztat. Így a reumás megbetegedésekre kevesebb alkalom van, mintha művelés folyamán állandóan vízben kellene dolgoznunk.

Nem hagyható figyelmen kívül a dolgozók biztonságérzete, amely első eljárásnál tökéletes, mert a mészkőben a víz jelenléte előfúrással megállapítható s ha már megcsapoltuk, betörésre nem kell számítanunk. Utóbbi esetben pedig a vízbetörés veszélye a lefejtés teljes időtartama alatt fennáll, nemcsak előhajtás közben, hanem már kihajtott vágatokban is, messze a vājvég mögött.

Teljes tárgyilagossággal meg kell állapítanunk, hogy a védőréteg nélküli területen folyó bányászat még meglepetésekkel szolgálhat és számos megfigyelésre van szükség a tökéletes megoldás érdekében.



# KARSZTVÍZNÍVÓ JELENTŐSÉGE ÉS AZ EZZEL KAPCSOLATOS PROBLÉMÁK

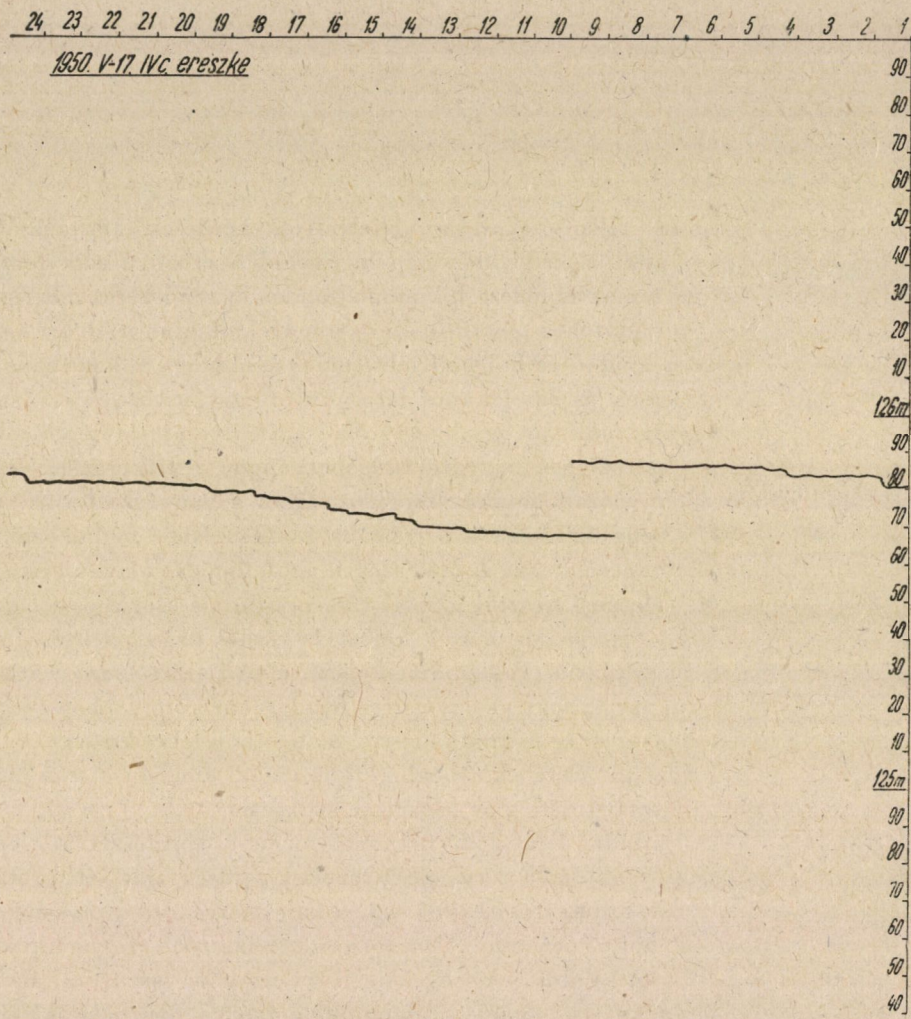
KASSAI FERENC

Egy bányauzem telepítésekor a víztelenítési kérdések tisztázásához szükséges különleges adatok kellő időben a legkritikább esetben állnak rendelkezésünkre. A bányauzemek fejlődése folyamán gondos és rendszeres megfigyelésekkel azonban olyan adatokra tehetünk szert, amelyek alapján nyilvánvalóvá válik, hogyan, milyen módon és hol kell felkészülni a minden pillanatban bekövetkező vízbetörések és ezzel kapcsolatos nehézségek leküzdésére. Ismeretes az, hogy a bányászatnak van egy bizonytalansági tényezője és ez a bizonytalansági tényező az esetek igen nagy többségében éppen a vízkérdések körül kulminál. Sajnos, a bányászati munkák megkezdésekor a bányászati vízkérdésekkel részletesen és behatóan csak a legkritikább esetben lehet foglalkozni. A bányák vízkérdésével kapcsolatosan ez a kérdés állandó fejlődés alatt áll és egy-egy bányauzem egész életén keresztül időről-időre revízió alá szorul és a bánya fejlődésével lépést kell tartson. Ma már a karsztvíz-kérdés nagy jelentőségénél fogva nem egy-egy bányauzem problémáját képezi, éppen ezért szoros együttműködésre kell áttérni azért, hogy az egyes rész-feladatokat könnyebben tudjuk felmérni, továbbá a szoros együttműködéssel biztosítani lehessen egy egész szénmedence bányauzemi életének meghosszabbítását, amelyet talán más-különben a vízveszély miatt esetleg be is kellene szüntetni.

A természetben minden lejátszódó folyamat bizonyos természeti törvényszerűség szerint megy végbe és a természeti törvényszerűség alatt éli a maga életét a karsztvíz is. Sok mindent ismerünk már a karsztvízről, de sajnos messze vagyunk még attól, hogy pontosan ismernénk a lejátszódó folyamatokat, a karsztvíz életével kapcsolatos jelenségeket, hogy azokból leszűrt általános érvényű következtetéseket tudományos alapon feldolgozva hasznosítani tudnánk. A karsztvízkérdés nagy komplexumában egy mozaik szerepét tölti be a vízszintmagasságok konstatálása és a vízszintingadozások rendszeres mérése. A természeti törvényszerűségek megismerésének — szerény véleményem szerint — azonban ez az egyik alapja. A vízszintmagasságok és vízszintingadozások ismeretével adott esetekben hozzájárulhatunk a természeti jelenségek rögzítéséhez, továbbá ezeknek az ismeretében lehet megkísérelni a karsztvíz életébe való beavatkozás lehetőségét. Ugyanis ha a karsztvíz életének szabá-

lyozási lehetőségét ismerjük, a nagy kérdés megoldása részben már biztosítva is lehet.

Hidrológiai, hidrogeológiai vizsgálatokra külföldön már igen nagy súlyt fektetnek. Sajnos hazai viszonylatban ezen kérdések nagy jelentőségét még nem



1. ábra

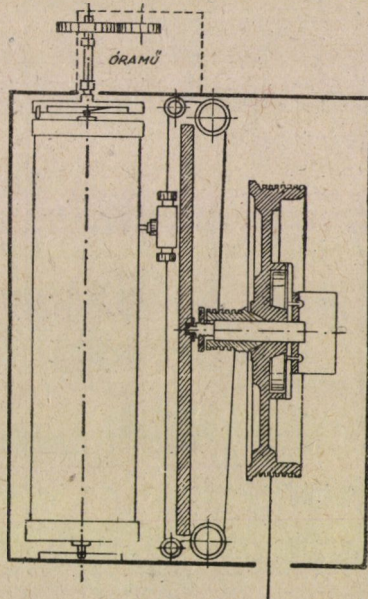
éreztek át, mert a gyakorlati kivitelnél számos kívánnivalót állapíthatunk meg. Rá kell mutatnunk arra, hogy ezeknél a vizsgálatoknál nem is olyan drága műszerek, hanem egyszerű eszközök és mindenekelőtt a feltétel nélküli rendszeres munka szükséges ahhoz, hogy a kérdést előbbre lehessen vinni és így a haladó



tudomány szolgálatában állva a fejlődést biztosítani és az egyes problémák megoldásakor a gyakorlat embereinek segítségét és támogatást adni a mindennapi munkájukban.

Hosszú ideig sokan voltak azon a véleményen, hogy a karsztvíz nyugalmi nívója állandó. Itt rá kell mutatni arra, hogy az esztergomi szénmedence bányászai érezték át elsőnek e kérdések fontosságát és jelentőségét és már 1893-ban napijelentések igazolják a naponkénti egyszeri vízmérés bevezetésének és rögzítésének tényét.

*Tökoldi vízszintregisztráló készülék*



2. ábra

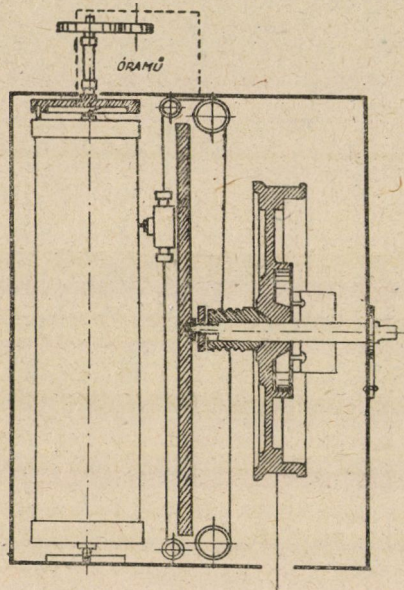
zítésének tényét. 1930-tól a vízszintingadozásokat regisztráló szerkezetek segítségével végezték.

Az első regisztráló műszerek kétségkívül értékes adatokat szolgáltatottak, azonban a bemutatott diagrammon is látható, hogy a kívánt cél elérésére nem voltak megfelelő érzékenységek. (Lásd az 1-es és 2-es sz. ábrát.) Ellenrúgós megoldással növeltük a műszer érzékenységét, azonban nagyobb süllyedés vagy emelkedés esetén állandó kezelést igényelt a műszer. (Lásd a 3-as és 4-es sz. ábrát.) A műszer e hátrányai dacára is kedvező eredményeket értünk el és a felvett diagrammok már folytonos lefolyást mutatnak. 1913 január 1-től a vízszintingadozásokról grafikus ábrázolás is történt és tulajdonképpen ekkor vált ismeretessé az, hogy a karsztvíz, vagy bányászati kifejezéssel élve, triász-víz nyugalmi szintje nem jelent abszolút nyugalmi állapotot, mert a vízszint állandó ingadozásban van.



E megfigyelések eredménye vezetett arra, hogy vizsgálat alá vegyük a csapadéknak, továbbá az egyes vízbetöréseknek és víztelenítéseknek hatásai milyen szerepet játszanak a karsztvíztükör magasságának kialakításában. A felvett karsztvízszint-diagramm alapján teljes határozottsággal megállapítható, hogy a nagyobb vízbetörések az esztergomi szénmedencébe a karsztvíz szintjét kivétel nélkül minden egyes esetben befolyásolták, függetlenül attól, hogy ugyanazon vagy különböző vető mentén történt-e a vízbetörés. A dia-

*Ellenrugós vízszintregisztráló készülék*



3. ábra

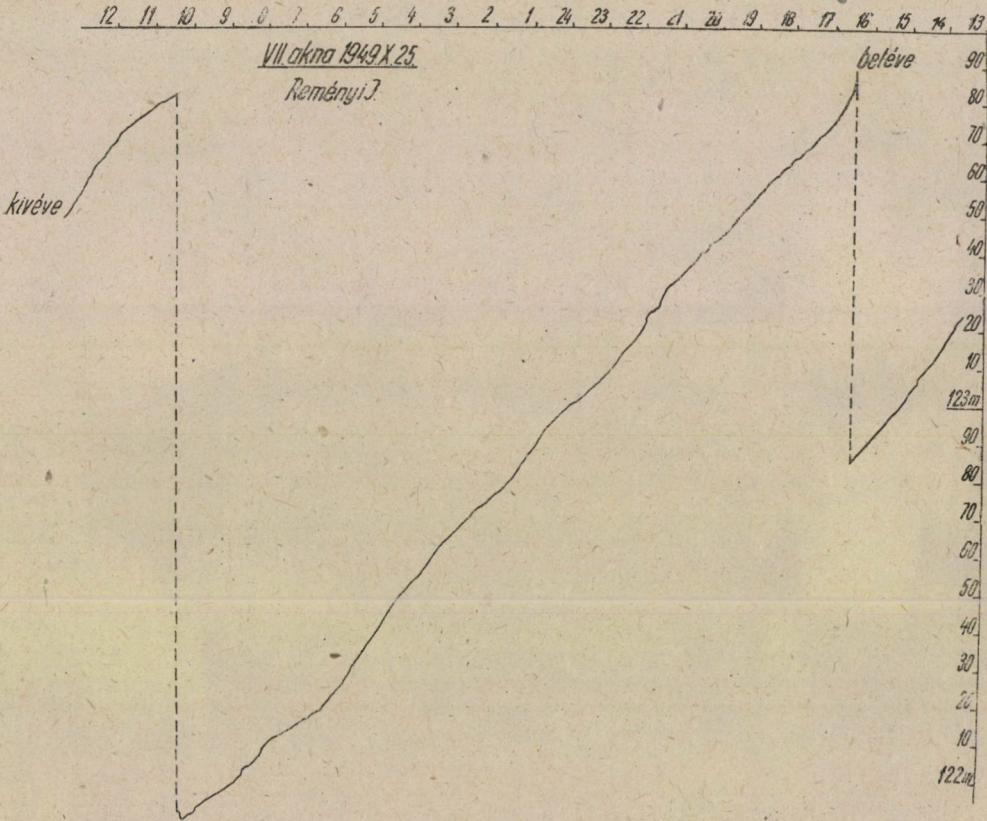
grammból azonban az is látható és külön is rá kell mutatnunk arra, hogy a víznívó méréseknek igen komoly tényezője az egyéni lelkiismeretességen alapuló pontosság és a kényelemszeretet. Vannak el nem fogadható részei és hiányai ennek a diagrammnak, amelyeket sajnos pótolni és korrigálni már nem lehet. Komoly hibákra, téves következtetésekre vezethet a durva mérési hibákat magukban foglaló adatok kiértékelése, amelyek tudományos szempontból nem felelnek meg. Sohasem lehet eléggé hangsúlyozni azt, hogy a vízszint-méréseket egy helyen és alkalmyszerűen végezni nem lehet, hanem csakis állandó és rendszeres, lehetőleg megfelelő érzékenységű és üzembiztos regisztrálóműszerekkel történhetik a komoly munka.

Ma már, a legújabb műszerünkkel  $\pm 1$  mm pontossággal tudjuk regisztrálni a karsztvízszint változásokat, nagyobb süllyedést és emelkedést az automatikus váltókapcsolással ugyancsak érzékelni és regisztrálni tudunk. (Lásd az 5. és 6.



ábrát.) Ez a műszer az eddigi tapasztalataink alapján teljes mértékben megfelel az előírt követelményeknek ugyannyira, hogy limnigráfok fejlődését tekintve, a legmodernebb műszerek közé sorolható.

Pontosan és egyformán beállított regisztrálóműszerekkel nemcsak távolsági, hanem időbeni ismeretekre is szert tehetünk és így a víznívóingadozás mikéntjére már pontos képet kaphatunk. A probléma: hazai viszonylatban

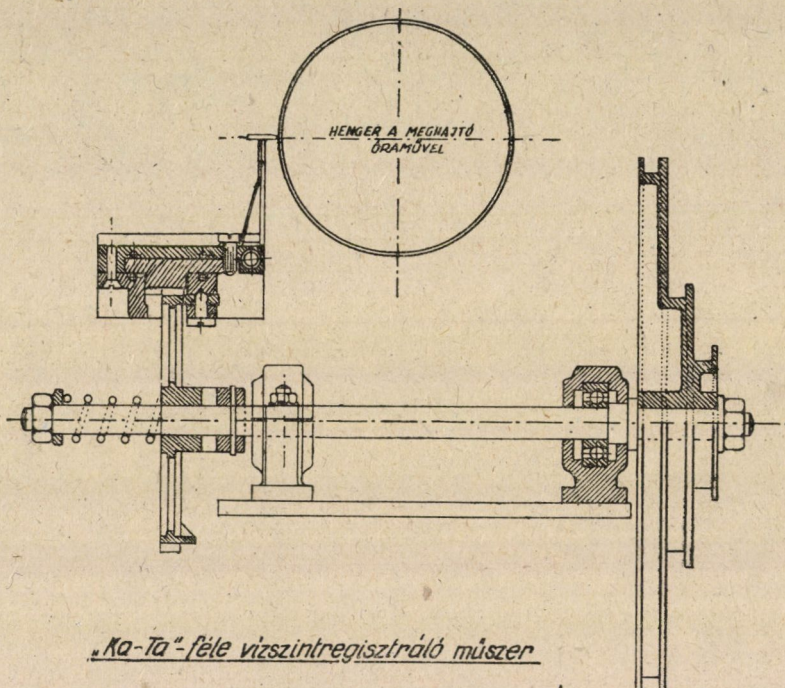


4. ábra

előállítani üzembiztos óraszerkezetet és megfelelő minőségű regisztráló papírt, mert igen gyakran előfordul, hogy a nagy pára képződés miatt a papír megduzzad és a regisztrálás nem történhetik rendesen. Talán nem lesz érdektelen, ha bemutatjuk ama megfigyelésünkről készült diagrammot, amely egy közelben levő beömlés esetén regisztrálta a víznívó ingadozását; (lásd a 7. ábrát) vagy a XII-es és IX-es aknák víznívójának ingadozását feltüntető diagrammunkat, (lásd a 8-as sz. ábrát) amely mutatja, hogy a beadott tömítőanyag-mennyiség



hatására az aknák víznívója jobban emelkedett, mint tisztavíz beadásakor a nyeletési próbák alkalmával. Természetesen általános következtetéseket e diagrammból levonni nem lehet még, azonban talán nem tűnik utópisztikusnak, ha azt mondjuk, hogy ami érvényes plusz értelemben, az bizonyos koefficiensek bevonásával negatív értelemben is érvényes lesz. Szerény véleményünk szerint fel kell vetnünk eme bizonyos koefficienseknek szerepét, illetve meg-



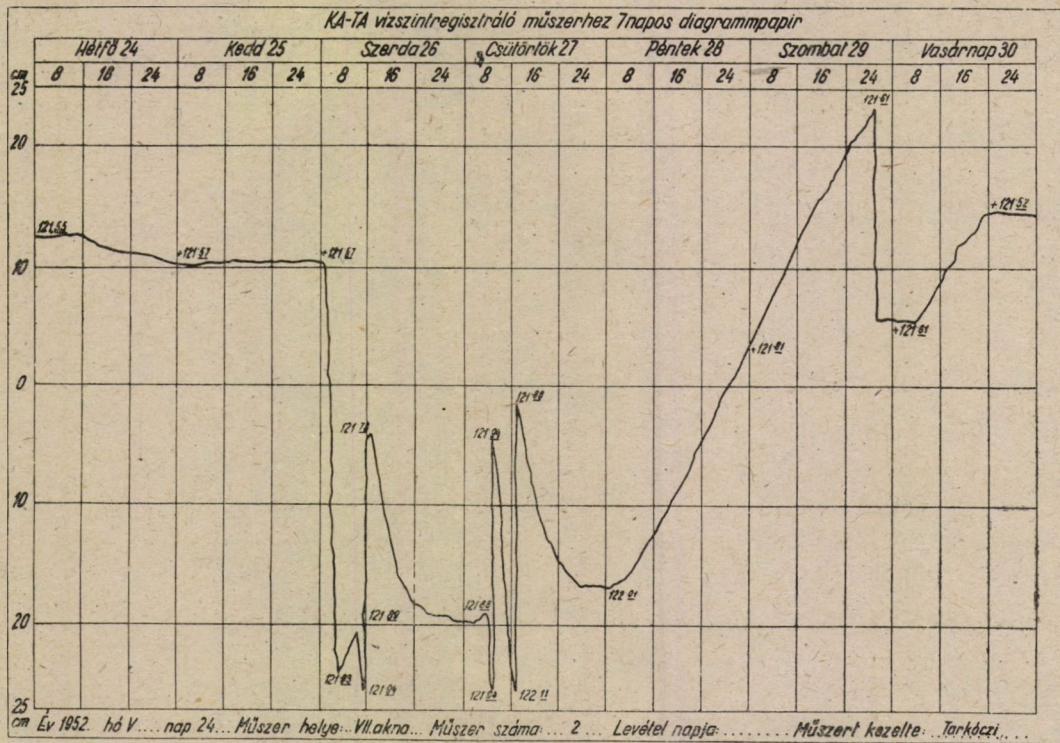
„Ka-Ta”-féle vízszintregisztráló műszer

5. ábra

határozásának szükségességét, mert a bányák víztelenítési kérdéseinek vizsgálatánál ezeknek igen nagy szerepe van. Ajánlatosnak tartanók egy-egy szénmedencében minél több vízmérőállomás rendszeresítését és a sok apró adat összegyűjtésével és feldolgozásával válik csak lehetővé az említett koefficienseknek meghatározása és a megoldásra váró kérdések fokozatos tisztázása.

Lehetőséget kell találnunk arra, hogy a jövőben felállítandó regisztráló mérőállomásokat az új országos szintezési alap-pont-hálózatba kapcsoljuk be, mert depressziós tölcserék kialakulásakor a csapadékhatások vizsgálatakor stb. esetleg nagy területen és több megfigyelőállomáson szükséges a vizsgálatokat elvégezni és hogy összehasonlító számításokat végezhessünk, az adatokat közös alap-pontra kell vonatkoztatni. A pontos vízszintismeretekén kívül az idő és

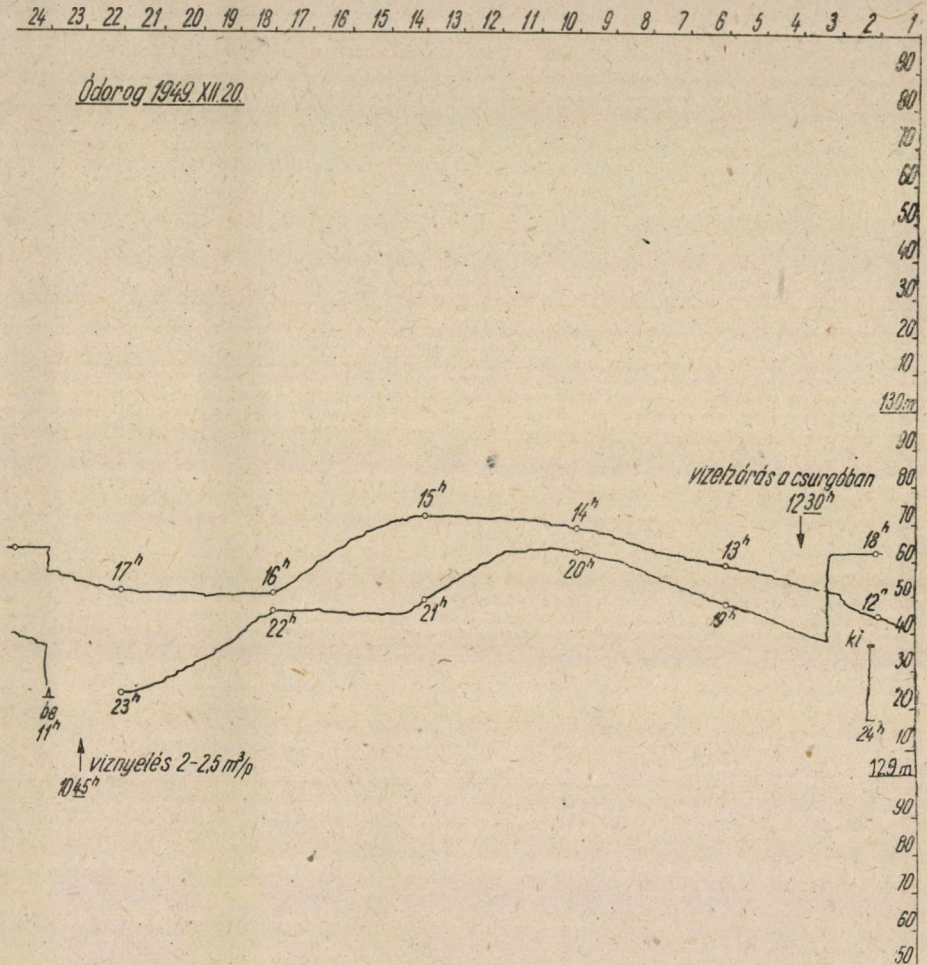




6. ábra



vízhozam, a hőmérséklet, a kémiai összetétel és egyéb jellegzetesség, mint a szín, iszaptartalom, szag, stb. vizsgálata ugyancsak szükséges. Szerény véleményünk szerint, amíg az egész ország területén regisztráló vízszintmérő-hálózat

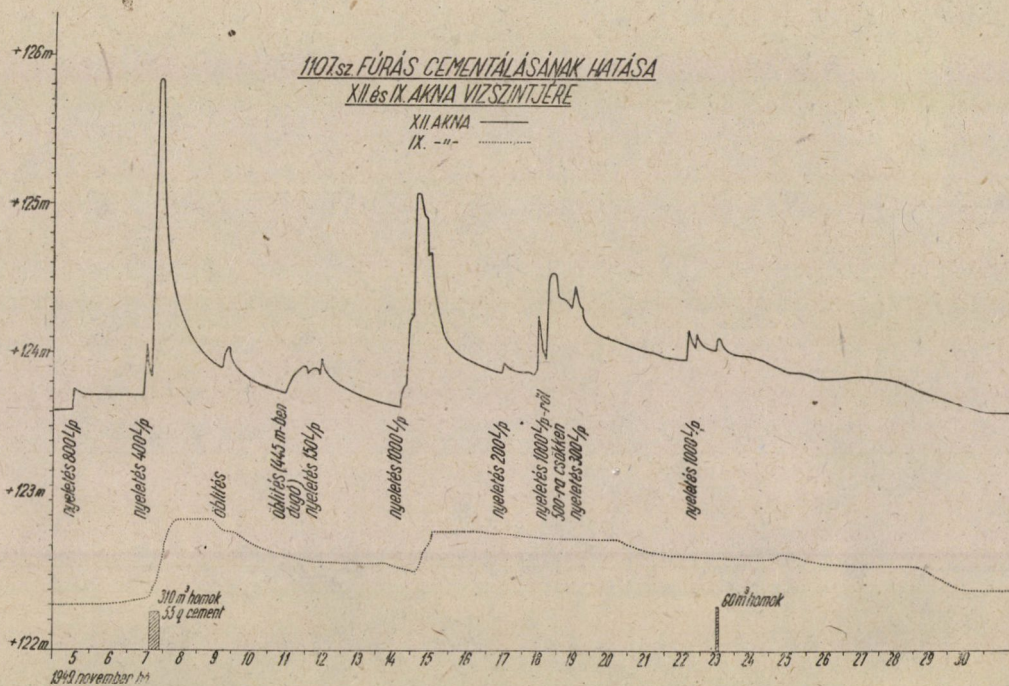


7. ábra

kiépitve nem lesz, addig is mind a tudományos, mind a gyakorlati élet számára igen érdekes és értékes összefüggéseket lehet megállapítani akkor, ha évenként két méréssel az összes vízelőfordulásokat azonos időben figyelembe vennénk.

Ma még ismeretlen előttünk a víz életét befolyásoló sok-sok tényező szerepe, de ezek a tényezők, amelyek irányítják vagy befolyásolják a karsztvíz életét, előbb-utóbb ismeretessé válnak, ha rendszeresen és hivatásszerűleg oda-

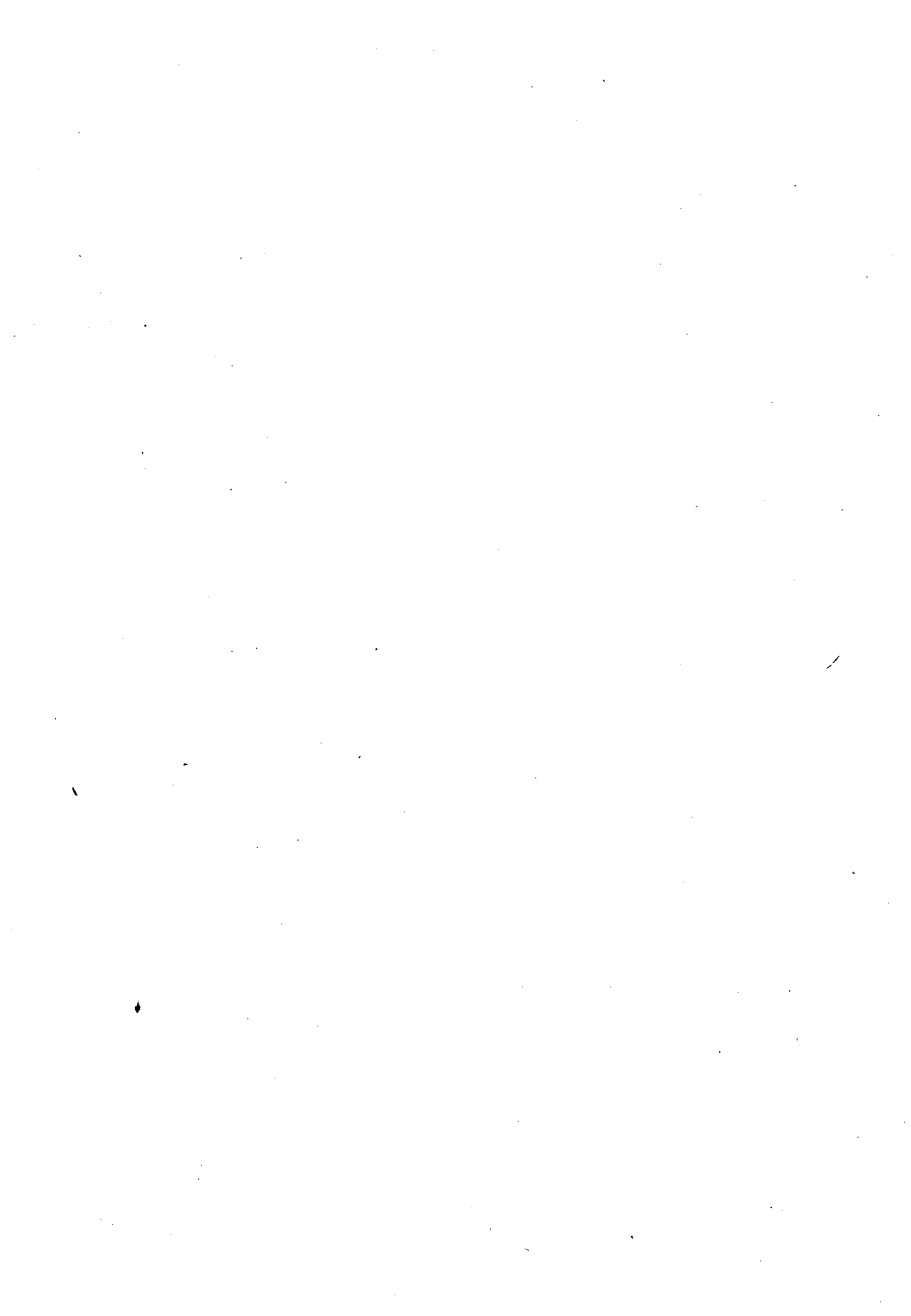




8. ábra

adással, tehát szívvel és lélekkel fogunk a kérdéssel foglalkozni. Így válik lehetővé a kikutatott tényezők ismeretében a geológiai viszonyok figyelembevételével a hidrológiai kérdések tisztázása, amelyek hidrosztatikai és hidrodinamikai alapokra támaszkodva jellemzik egy-egy bányüzemünk vízkérdésére vonatkozó kérdéskomplexumát és így válik lehetővé, hogy a kérdések előbb-utóbb tisztázódva a haladó tudomány és a fejlődés ügyét szolgálják.





# A KARSZTVÍZ KIMUTATÁSÁRA ALKALMAZHATÓ GEOFIZIKAI ELJÁRÁSOK

KÁNTÁS KÁROLY

a műszaki tudományok doktora

Mindegyik eddig elhangzott előadásból az tűnt ki, hogy — a karsztvízzel kapcsolatban felmerülő — valamennyi probléma tisztázása majd minden területen hézagos. Az összegyűjtött geológiai-hidrológiai adatokból regionálisan vonhatunk le következtetéseket. *A bányászatot azonban legközvetlenebbül az érdekli, hogy azon a helyen, ahol a termelést folytatni akarja, van-e jelen karsztvíz s annak veszélye fenyegeti-e a művelést.* Erre a kérdésre vár választ a bányászat a geofizikától.

E rövid előadásban vázolni szeretném azokat a geofizikai eljárásokat, melyek bizonyos körülmények között alkalmasak lehetnek segítséget nyújtani a probléma megoldásához.

1950. decemberében az akadémiai nagyhéten hozzászólásomban Vigh Ferenc előadásához, vázoltam azokat a geofizikai eljárásokat, melyeket korábban alkalmaztak a geofizikai kutatásoknál. Az alkalmazott módszerekkel két irányból igyekeztek megfogni a kérdést. Egyrészt — közvetett módszerrel — azokat a szerkezeteket keresték, melyekkel kapcsolatos a karsztvízelőfordulás, nevezetesen a vetődéseket. Másrészt olyan módszereket igyekeztek alkalmazni, melyekkel a víznek a környezettől különböző fizikai tulajdonsága alapján közvetlen hatásból megállapítható annak jelenléte.

Az első ilyen irányú geofizikai mérést *Pekár Dezső* vezetésével az Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet végezte. Bár a mérések nem végződtek negatív eredménnyel, a nagy vetők kimutathatók voltak, a mérések abbamaradtak.

Később *Pogány Béla* műegyetemi tanár vezetésével kétféle módszerrel történtek mérések, ú. m. szeizmikus és elektromos módszerrel. Mindkét módszer hozott pozitívumot, a kérdést azonban ezekkel sem lehetett tökéletesen megoldani.

Egyéb irányú geofizikai kutatásnál is nagy változatossága van a keresett szerkezetnek, vagy ásványi anyagnak ill. azok településének. Hatványozott mértékben áll ez a megállapítás a karsztvízre. Sokszor jelentéktelen repedések is nagy veszélyt rejthetnek magukban, máskor hatalmas vetők teljesen vízmentesek lehetnek. Az egyéb irányú geofizikai kutatásoknál mégis van némi támpont külföldi analógiákból. Karsztvízkutatás terén a külföldi szakirodalom-

ban alig találunk nyomokat. Hazai geofizikai kutatásainkat tehát kizárólag saját elgondolásaink szerint — így természetesen a saját kárunkra — kell elkezdeni, illetőleg folytatni.

A fő-vetők helye olyan terepen, ahol még a terep hatása számítható, Eötvös-ingával kimutatható elvileg, azonban sokféle tényező befolyásolhatja az eredményeket. Mindenesetre a geofizikai kutatásokat geológiai felvételeknek kell megelőzni, melyek a vidék szerkezetére már némi támpontot adnak.

A fő-vetők ismerete már közelebb visz bennünket a kérdés megoldásához, arra azonban nem adnak ezek a mérések választ, hogy tartalmaz-e a vető vizet vagy sem.

Ugyancsak a szerkezetre adhat felvilágosítást a szeizmikus kutatás. Annak az eldöntése, hogy a refrakciós, vagy reflexiós módszer alkalmazható-e előnyösen, a strukturális viszonyoktól függ. Általános javaslat ebből a szempontból nem adható. Pogány Béla mérései pozitívek voltak Dorog környékén, azonban a problémát nem oldották meg. Geofizikai Intézetünk a közelmúltban végzett szintén szeizmikus méréseket. Az eszköz nem kifogástalan volta miatt a mérések megismétlése ajánlatos.

Közvetlen kutatómódszer volna az elektromos ellenállásmérés. Ezt a módszert próbálta alkalmazni Pogány Béla. A vízhatár kimutatható volt, azonban a veszélyes vetők helyére és tartalmára — mivel az alkalmazott módszer nem volt elég szelektív — felvilágosítást nem kaptak.

*Vendel* Miklós professzor kartársunk mutatott rá annak idején az ú. n. Schlumberger-féle módszer alkalmazási lehetőségére, mely lényegesen jobban kihozná a nüanszokat. Pogány Béla is foglalkozott e kérdéssel, azonban megfelelő érzékenyséű műszer hiányában el kellett ejteni ezt az eljárást.

Az említett módszerek és eljárások mind a felszínen történő mérésekből igyekeztek a vízveszélyes helyeket kijelölni. Természetszerűleg ez is a helyes sorrendje a kutatásnak, a felszínen tisztázni, amit lehet.

A soproni Geofizikai Munkaközösség szintén programjában tartja a karsztvízkutatás kérdését. A munkaközösséget *Tárczy-Hornoch* Antal hívta életre, éppen a karsztvízkérdés megoldására. A Munkaközösség eddigi vizsgálatait a bányában végezte. Rádiófrekvenciás mérésekkel igyekeztünk a probléma megoldására jutni. Méréseinket a padragi bányában végeztük. Különböző időkből végzett mérések eredményei ismétléskor jól reprodukálhatók voltak. A jelzett bányában egyes helyeken határozottan kimutatható volt az, hogy a vető tartalmaz-e vizet, vagy sem. A kutatások megfelelő eszközök hiányában abbamaradtak, illetőleg a Munkaközösség jelenleg megfelelő eszközök konstruálásán fáradozik.

Ha az eddig felsorolt méréseket s azok eredményeit vizsgáljuk, mindegyikben találunk pozitívumot, azonban lényegében egyik módszer sem hoz különösebben kedvező eredményt a megoldásra.

Az előbb vázlatosan ismertetett eljárásokon kívül Munkaközösségünk részéről Tárcazy-Hornoch Antal javaslatot tett a bányában különböző irányokban, főként oldalirányában végzendő szeizmikus mérésekre. Felszíni mérések szerencsés esetben tisztázhatják a vetők helyét nagy vonalakban, azonban egészen pontosan felszíni mérésekből — az aránylag nagy mélységet tekintve — ki nem mutathatók. Márpedig preventív intézkedések szempontjából ennek ismerete rendkívül fontos. Természetesen e módszer alkalmazásánál az első nehézség ilyen speciális, minden helyzetben működő szeizmométer szerkesztése. Pillanatnyilag a birtokunkban levő hordozható 6 csatornás refrakciós mérésekre alkalmas berendezés ilyen természetű felhasználhatóságát vizsgáljuk. Bányában való szeizmikus méréseknél tehát a legelső kérdés, amit meg kell oldani, a speciális eszközök készítése. Ha megfelelő eszközzel rendelkezünk, akkor a mérés metodikáját kell kidolgozni, mely teljesen elüt a felszíni szeizmikus mérési metodikától.

Felszíni mérések mellett, az ellenállásmérés bizonyos esetekben a bányában közvetlen mérési módszerként használható, illetve használata kutatásoknál megkísérlendő. Az ellenállásmérésnek nagy előnye, hogy modell-kísérletek laboratóriumokban is könnyen elvégezhetőek. Ismert települési viszonyok mellett végzett mérések ellenőrzése, illetőleg helyes kiértékelése céljából modell készíthető az eredeti településnek megfelelően s azon laboratóriumban a kérdés mérési sorozattal tisztázható bizonyos körülmények között. Lényeges, hogy az eredeti ellenállásviszonyokat állítsuk elő.

A karsztvíz áramlása, helyesebben szivárgása folytán potenciálkülönbség jön létre, amely mérhető. E potenciálkülönbséget *Quincke* fizikus 1859-ben vette észre, midőn porózus anyagon elektrolitot áramoltatott keresztül. A jelenség az olajkutakban a porózus rétegek legbiztosabb kimutatási lehetőségét nyújtja. Megvizsgálandók bányákban — de a felszínen is — az így keletkezett feszültségkülönbségek. Természetesen vizsgálat tárgyává kell tenni, hogy valóban e jelenségek hozzák-e létre, vagy pedig oxidációs folyamat.

Utoljára említjük, azonban talán rangsorban nem az utolsó lesz a geofizikai módszerek között, melyeket karsztvízkutatás céljára felhasználhatunk — a *hőmérsékletmérés*. Ezt részint felszínen, másrészt bányában végezhetnénk el. Az izothermák elhelyezkedését a különböző hővezetőképességű anyagok különbözőképpen befolyásolják. Felszíni mérések kevésbé alkalmasak arra, hogy a problémát megfogjuk, bányában alkalmazott mérések azonban — ha felvesszük, hogy a szénréteg hővezetőképességében nagy szórás nincs — a mellékkőzet közelségét vagy távolodását az izothermák alapján megadhatják. Egyes szakemberek az eddigi — bányában végzett — hőmérsékletmérési eredményeket nem tartják egészen elfogadhatónak. A fúróluk-szelvényezésekkel kapcsolatban végzett hőmérsékletmérések azonban minden kétséget kizáróan megmutatták, hogy lényeges hővezetési különbség van a szén és mellékkőzetei között. A hővezetési különbség lényegesen szembetűnik olyan mérésekkor, ha a hőegyensúly valami oknál fogva pl. előfűrésznél megbomlik.

Nem említettem külön, de feltettem, hogy mielőtt bármelyik kutatási módszer alkalmazását elkezdenők, az első amit tisztázni kell, a geológiai és hidrológiai viszonyokat, mégpedig a lehető legpontosabban. Ezután lehet csak hozzálátni a megfelelő módszer tervezéséhez.

Szénkutató fúrásoknál csak a mult esztendőben kezdtünk fúróluk elektromos szelvényezést végezni. Ennek segítségével a geológiai viszonyok — az olajfúrásokhoz hasonlóan — lényegesen jobban tisztázhatók. Mivel a karsztvíz elleni küzdelemnél egyetlen adat sem mellőzhető, mely a vidék geológiai, hidrológiai tektonikai viszonyaira vonatkozik, az ilyen területen végzett összes kutatófúrás (sőt a cementáló fúrásoké is) elektromos vizsgálata feltétlenül szükséges. (Elektromos-, hőmérséklet-, rétegdőlésmérés.)

Az elmondott mérések csak kezdeti kísérleti tapogatózások voltak. A karsztvízveszély oly nagy bányászatunknál, hogy a leküzdésére feltétlenül komoly áldozatokat kell hozni s minden eszközt mozgósítani a kimutatására. Az említett geofizikai eljárások, illetőleg kutatási lehetőségek nem ölelik fel teljesen az anyagot, csak a vélt legcélravezetőbbeket.

Összefoglalva az elmondottakat, a kutatómódszereket — attól függetlenül, hogy közvetettek-e vagy közvetlenek — két csoportba oszthatjuk: felszíni és bányában alkalmazható módszerekre.

A felszíni módszerek nagyvonalú tájékozódást adhatnak csupán. Ezek az Eötvös-inga (esetleg graviméter), szeizmikus módszerek és az elektromos ellenállásmérésnek az a fajtája, melyet a decemberi akadémiai nagyhéten előadásomban vázoltam, és a természetes potenciálok mérése. Ezekről elsősorban a vetők helyének kijelölését várhatjuk, s csak igen kis valószínűséggel azok tartalmának meghatározását. Ellenállásméréssel a talajvíz szintje kimutatható.

Bányában végezhető mérés a vetők kimutatására, az oldalirányú szeizmikus mérés. A vízre közvetlen mérések a különböző frekvenciájú rádiós mérések, az ellenállásmérés, a természetes potenciálok mérése és a hőmérsékletmérések. Az ellenállás és természetes potenciálok mérésének modellkísérlete laboratóriumban is megvalósítható. A munkák elvégzését illetően a felszíni szeizmikus mérésekre a Geofizikai Intézet rendelkezik felszereléssel, elektromos mérések tekintetében pedig a Soproni Geofizikai Munkaközösség. A Geofizikai Intézet *Slingram* és *Turam* készüléke csak felszíni méréseknél volna befogható, a mélyhatásuk ezeknek kicsi; bányában való mérésekhez át kellene alakítani, úgyhogy e célra inkább az egyenáramú eszközök javasolhatók. Az általam javasolt ellenállásmérési módszernél, ha nem akarunk vagy nem tudunk nagy áramerősségekkel dolgozni, akkor nagyon érzékeny galvanométerekkel kell dolgoznunk. Ezek rendelkezésre állnak, azonban a földi áramok hatása nagyobb lehet bizonyos esetekben, mint a mérendő potenciálkülönbség, úgyhogy különleges eljárást kellett kidolgoznunk a földi természetes áramok kiküszöbölésére.

A bányában végzendő szeizmikus mérésnek két problémája van, műszer és módszer. A műszerátalakítás terén a Soproni Munkaközösség dolgozik, úgyszintén az alkalmazható módszeren is.

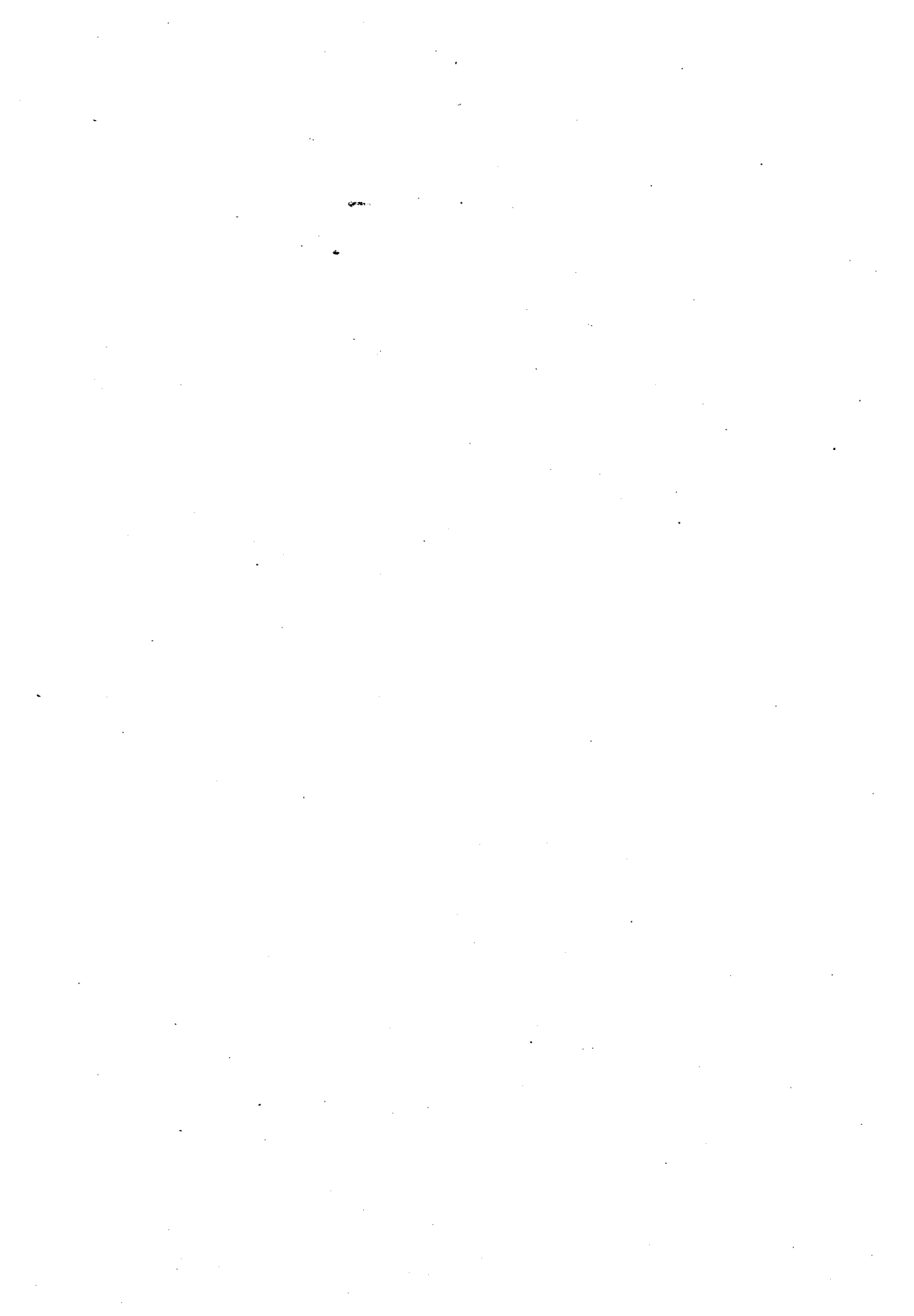
Bányában végezhető rádiós méréseink megfelelő műszer hiányában megakadtak. A tárgyalásokat — új megfelelő konstrukcióra — felvettük *Barta* professzorral, a Műszaki Egyetem hradástechnikai tanszékének vezetőjével.

Az ellenállásmérésekkel kapcsolatban a laboratóriumi modell-kísérleteket kellene megindítani.

A vázlatosan elmondott munkálatok talán nem látszanak olyan hatalmas méretűnek, mint amilyenek valójában. A laboratóriumi méréseket összehasonlítva a terepmérésekkel, az utóbbiak óriási kívánalmakat támasztanak az előbbiekkal szemben, ha terepen ugyanazt a pontosságot követeljük meg. Talán ugyanaz, vagy még nagyobb a kontraszt; ha ugyanazt a pontosságot bányában végezhető mérésektől várjuk el. Már pedig itt sok tekintetben ezer van a hangsúly. Azonkívül a munkálatok lassúsága mind-mind megnehezíti a probléma előrevitelét.

A feladatok meg vannak, ez az ankét van hivatva, hogy az eddiginél nagyobb impulzust adjon a kutatásoknak. Ugyanis meg kell vallanunk, hogy a kutatások eddig tulajdonképpen szórványosak voltak s egy helyben topogtak. Ennek ugyan nem a kutatók voltak az okai, hanem más fontosabb súlyponti problémák s azonkívül sok esetben az eszközök hiánya. S meg kell említenünk, hogy a felsőbb hatóságok sem vették olyan határozottan kézbe az irányítást. Ezért örvendetes, hogy az Akadémia határozottan hozzányult a kérdéshez s ezt az ankétot összehívta, ahol feltárhattuk a problémákat. Sajnos még a kezdet kezdetén sem vagyunk. Ha már ott tartanánk, hogy némely helyen a karsztvíz-veszélyes zónákat geofizikai eszközökkel előre ki tudnánk jelölni, igen nagy haladást tettünk volna. Bár még akkor is nagy feladata a bányászatnak a védekezés kérdése.





# A KARSZTVÍZKÉRDÉS TÖRTÉNETE ÉS A LEKÜZDÉSÉRE VONATKOZÓ MUNKA A FELSZABADULÁSIG

SCHMIDT SÁNDOR

A karsztvízkérdés szorosan összefügg az esztergomi bányászat történetével, ezért előadásomat annak rövid ismertetésével kezdem. Írásos emlékeink 1805-ig vezetnek vissza, mikor Sárísáp község területén Annavölgy vízmosásaival feltárt oligocén széntelepünk kibúvásain indult meg a bányászat és ugyanúgy kelt életre Dorogon és Tokodon is. A szénbányászat fejlődésének határt szabtak azonban a vidék hirhedt rossz utai, melyeken a termelt szenet a környező téglagyáraknak, mészégetőknek, majd később a budapesti gőzmalmoknak fuvarozták.

A szénelőfordulás szakszerű ismertetésével Beudant Ferenc francia geológus foglalkozott először 1818—19-ben, majd az 50-es években Szabó József, Nendtvich Károly, dr. Peters Károly geológiai vizsgálatai után Hantken Miksa, ki 1852-ben Dorogon bányatiszt volt, mutatták ki a szénmedence rendkívüli gazdagságát, kitűnő földrajzi fekvését s a 4,6 milliárd tonnára becsült szénvagyon kiaknázásának akadályát egyedül az elszállítást biztosító vasút hiányában látták.

A szénkibúvásokon megindult bányászat azonban napi alig 100 tonnás termelésével is holtpontra jutott 1860-ban, mert a feltárás folyamán mindenütt egy-egy vetőbe ütköztek, mely a széntelepet mélyebb pontra vetette le. A 70-es évek elején telepítették az első aknát Annavölgyön 100 m mélységgel és indultak el a megfúrt, mélyebben fekvő széntelep feltárására, 80 m-el a tengerszintje felett.

Egy váratlan mészkúp harántolása közben 1875-ben 20 m<sup>3</sup> percnkénti vízbetörést kaptak, mely az aknában +131 m szintig emelkedett, majd ott megnyugodott. E víznívó felett készült keresztvágattal azután szárazon haladtak át a mészkúpon és elérkezve a kitűnő minőségű paleocén széntelephez folytatták annak bányászatát.

Végre 1893—94-ben megépült a Budapest—Esztergom—Almásfüzitői vasút és ezzel együtt megindult három bányavállalat lázas tevékenysége Dorogon, Tokodon, Ebszönyben a szénmedence termelésének fellendítésére. Az Annavölgyi vízbetörés feledésbe ment, a beépített — akkor hatalmas — Regnier rudazatos szivattyúkkal minden nehézséget leküzdeni reméltek, míglen 1898-tól 1904-ig egymás után 8 akna, tehát Annavölgy és a tokodi altáró kivételével

valamennyi nagy áldozattal létesült aknatelep áldozatul esett a leküzdhetetlennek bizonyult vízbetöréseknek.

1905-ben az Esztergom—Szászvári kőszénbánya r. t. az Annavölgyről feltárt kitűnő minőségű csolnoki szén kiaknázására még egy utolsó kísérletre határozta el magát. 240 m mély aknát mélyített, azt kötélpályával a dorogi vasút-állomáshoz kapcsolta, villamoscentrálét épített s az akna rakodójának szintjében 4 db *villamos-turbina-szivattyút* szerelt fel összesen 6 m<sup>3</sup>/perc teljesítménnyel. Az akna a széntelep fedőrétegeiben állott meg és onnan külön vágattal hatoltunk be a széntelepbe, a bányát így két részre osztva s mindkettőt 1—1 vasajtóval felszerelve, hogy hirtelen vízbetörés esetében annak lezárásával a bányának legalább egyik felét meg lehessen menteni. A két bányarész magasabb szinten lett egy légközléssel összekapcsolva.

Az aknamélyítés megkezdésekor helyezett át a vállalat Petrozsényből Dorogra s bízott meg az új Augusztá-akna üzemének vezetésével.

1907-ben az osztrák bányászati és kohászati lapokban Stegl, volt tokodi bányaigazgató nagy tanulmányt írt az esztergomi szénmedence vízveszélyéről, mely szerint a bányákat elfullasztó vizet a Dunával hozza összefüggésbe s annak leküzdését lehetetlennek tartja. Megjósolta egyben, hogy az új Augusztá-akna telepítése is hiábavaló kísérlet lesz, annak pusztulása is elkerülhetetlen.

Képzeltető, milyen lesújtó hatással volt a bányatársulat vállalkozási kedvére ez az egyelőre cáfolhatatlannak látszó megállapítás, melyre feleletet kellett tehát keresnem, hogy újabb bizalmat öntsek a vállalat vezetőségébe, a szükséges további beruházások engedélyezése érdekében.

1909. V. 2. volt az első olyan esemény, mely e mély pontból kiemelkedni segített. Augusztá-aknánkban 600 l. vízbetörést kaptunk egy feltörésből, mely 2500 perc/literig emelkedett. A vég elérkezését látva, a bánya egyik felét a vasajtó becsukása után még egy betongáttal is elzártuk és a másik bányarészből átvezető légközlén át mértük a vízbetörés mennyiségét, mely néhány nap múlva apadni kezdett, majd 250 l-ben állandósult.

Természetesen újra nyitottuk a bányarészt s újból vizsgálat alá vettem az összes régi vízbetörések leírását, melyekből arra a — később tévesnek bizonyult — meggyőződésre jutottam, hogy minden vízbetörés gyorsan emelkedik egy maximumig, majd a megnyitott földalatti barlang kiürülvén, minimális hozzáfolyás marad a barlangokat átjáró és egymással összekötő kisebb repedésekből, mellyel már meg lehet küzdeni.

A barlangirodalom tanulmányozása után bejártam a dalmát karsztvidék egy részét e feltevés igazolása végett s 1910-ben adtam választ az igazgatóság-nak Stegl tanulmányára, hogy a vízveszély nem leküzdhetetlen, csak az első lökés felfogására kell felkészülnünk elzárható hatalmas szivattyútelepek létesítésével.

Éreztem természetesen, hogy az állítást bizonyítani is kell s ezért 1912-ben hozzáfogtam elfulladt dorogi tömedékaknánk víztelenítéséhez. Nyolcszori

kifulladás után 2 év alatt sikerült végre az akna talpára érni s miután az annak idején 5000 perc/literben megállapított vízhozáfolyás helyett 1340 l-t találtunk, feltevésemet igazoltnak láttam.

Az akna üzembehelyezése meghozta a másik kívánt eredményt is, a vállalat bizalmát megnyertük s így 1915-ben hozzáfogtunk a dorogi altáró és I. akna létesítéséhez, melynek szivattyúkamrája már elzárhatóan, külön bejáró aknával biztosítva 45 m<sup>3</sup>/perc vízemelésre volt berendezve.

Közben tovább víztelenítettük elfúlt bányáinkat s mikor a tokodi Erzsébet-akna évtizedes nyomasztó csendjét is élénk munka váltotta fel, a vízkérdés megítélésében egy optimista hullám követte az általános lehangoztságot.

Sajnos azonban hamarosan újabb nehézségek jelentkeztek bányaműveléseink során, melyek miatt a vízkérdésben kialakult felfogásunkat revízió alá kellett venni.

1915-évben vezettem be a rázócsúszdákcal felszerelt 35 m szélességű frontfejtést bányáinkban. Az első szeletet a széntelep fekjén fejtettük s azzal, de rendszerint még a II. szelettel sem volt baj, hanem a III. szelet fejtése közben kaptunk ismételt a beiszapolt fejtések talpából vízbetörést, mely természetesen magával sodorta a fejtések homokját s a szivattyúkhöz érve percek alatt üzemképtelenné tette azokat.

Beigazolódott tehát, hogy nemcsak a vetődések, törésvonalak mentén képződött, — de elszigeteltnek hitt — barlangok okozhatnak vízbetörést, hanem jelentkezik a víz ott is, hol vető nincs. A széntelep közvetlen fekvőjét képező édesvízi mészkő, pala és márga rétegek ugyanis a széntelep lefejtése következtében több száz m<sup>2</sup>-en szabaddá válva, felboltozódnak s megtöredezve, vezetői lesznek az alattuk fekvő mészkő repedéseiben, kavernáiban nagy nyomás alatt keringő víznek.

Közben víztelenített tömedékaknánk vízhozáfolyása is felemelkedett az elfulladását okozó 5 m<sup>3</sup>/perc mennyiségre, sőt egy újabb 5 m<sup>3</sup>-es vízbetörése miatt felhagyni kényszerültünk s így rá kellett döbbenjünk, hogy a vízkérdésben kialakult optimista felfogásunk absolute nem jogosult, tovább kell keresni a védekezés gyökeres megoldását.

Az említett dorogi altáró és I. akna tervét annak idején kinyomattam s abban már 1915. II. havában rámutattam arra, hogy a vízkérdés végleges megoldása a fekümmészkőben felkeresendő üregek betömése kell legyen, továbbá a környező kopár mészkőhegyek befásításával kell meggátolni a csapadékvíznek behatolását a mészkő repedéseibe.

Felmerült tehát egy hatalmas vízemelésre berendezett központi akna létesítésének gondolata, melyből a triász mészkőben haladva feltárjuk, megnyitjuk és lecsapoljuk az összes üregeket, melyekben a tárolt víz bányászatunkra veszélyt jelentett. A vízemelés költségét olcsóbbítandó a Dunapartján 40 000 HP-ös, Budapest áramellátását szolgáló erőművet terveztünk, melynek nappali és éjjeli kihasználásában mutatkozó különbséggel olcsóbb szivattyúzást bizto-

sítunk. 1915-ben a fővárosi bizottság a helyszíni szemlét is megtartotta már, de a háború okozta drágulás miatt a terv nem valósulhatott meg.

Tudtuk azonban azt is, hogy mindezen tervek és gondolatok nem jelentik a bányászat zavartalanságát biztosító azonnali segítséget, azoknak hatása csak évtizedek távlatában jelentkezhet, márpedig sürgős segítségre volt szükség, mert a nap-nap mellett szaporodó vízbetörési helyek mindinkább megnehezítették bányászatunk gazdasági egyensúlyának biztosítását.

A barlangirodalom tanulmányozása, dr. Vitális, dr. Vendl, dr. Vadász, Rozlosznyik, Telegdi Roth, Schréter geológusok tanítása után bányászatunk vízkérdése a következőképpen alakult ki.

A vidékünket elborító triász tengerből leülepedett, 1000 m-nél vastagabbra becsült mészkő és dolomtkőzet, a tenger visszahúzódása után kietlen kopár szárazulat lett, majd a fellépett hatalmas tektonikai mozgások folytán táblákra töredezett, melyek észak-nyugat felé lebillenve alakították ki azokat a hegyvonulatokat és völgyeket, melyek a dunántúli terület mai tagozottságára is jellemzőek. A kietlen sziklavidék az atmoszferiliák hatása alatt elkarsztosodott, a hegyekről lefutó csapadékvíz oldotta a mészkövet, abba mind mélyebben vájta be magát, földalatti patakokat, barlangokat létesített, keresve mindenkor a legmélyebb pontot, a tenger felé vezető utat. A mészkőnek vízben oldhatatlan része egyidejűleg a völgyekben rakódott le, melyekben kifejlődött buja, melegebb égővi növényzetből keletkeztek széntelegeink.

A miocén korban már véglegesen szárazfölddé alakult medencénk közelében bekövetkezett hatalmas vulkánikus működés borzalmas rázkódtatásnak vetette azt alá, a kialakult egyensúlyi helyzet meg lett bolygatva, újabb vetődések, törések keletkeztek, kisebb táblákra szabdalva mészkövünket s vele együtt a rátelepült széntelegeket is.

Természetes azonban, hogy a vidék csapadékvize tovább is biztosította lefolyásának lehetőségét és a képződött földalatti patakok, barlangok nemcsak megmaradtak, hanem a csapadékvíz oldó hatása folytán mindinkább tágultak, bővültek, a bennük keringő karsztvíz pedig kitöltötte a mészkő minden exogén és endogén jellegű üregét addig a magasságig, melyet a lefolyás helye szabályozott.

200 millió évre becsüljük a karsztosodás idejét, melynek eltelte után a karsztvíz ma az Esztergomnál kereken 105 t.sz.f. magasságban folyó Dunában talál lefolyást. Természetes következménye ennek, hogy a Duna vonalától távolodva mind magasabb lesz a karsztvíz szintje, melyet Dorogon +131 m-ben, Tatabányán +138 m-ben, Zirc vidékén kb. +150 m-ben állapítottunk meg.

Megtanultuk tehát azt is, hogy mikor az esztergomi szénmedence karsztvizével kívánunk megküzdeni, nemcsak a környező mészkőhegyek csapadékával kell számoljunk, hanem összefüggő egységet képez az a Vértes—Bakony-hegység által levezetett víztömegekkel, ami gyakorlatilag kimeríthetetlen mennyiséget jelent, mint azt geológusaink is igazolták, mikor a Dunába folyó karsztvizet



270 m<sup>3</sup>/perc mennyiséggel érzékelik. Elesik így a központos víztelenítőakna, a környező kopár hegyek befásítása, mint megoldási lehetőség.

Évekig figyeltük a Duna, Balaton és karsztvízszintünk változását, jegyeztük a csapadékok s megállapítottuk, hogy a csapadékos időszak hat hónappal késve jelentkezik karsztvízünk szintjénél, melynek ingadozása 1,2—1,4 m-t tesz ki. Kerestünk továbbá felvilágosítást, milyen mértékű lehet mészkövünk karsztosodása, mennyi lehet a köbtartalma azoknak az üregeknek, melyeket ki kellene töltenünk, hogy a vízbetörésektől mentesüljünk? Grund Alfréd a boszniai karsztban a víznívó ingadozásából és a csapadékos időszaknak a karsztvízhez való hatolásának idejéből következtetett a mészkő karsztosodására. Kialakított képlete szerint mészkövünkben 4,7% karsztosodást számítottunk ki s miután megfigyelésünk szerint a karsztosodás a felülettől csak cca 20 m-ig hatolt, 330.000 m<sup>3</sup>-ben tétéleztük fel azokat az üregeket, melyeknek eltömése után a vízkérdést művelés alatt álló bányáink területe alatt megoldottnak tekinthetjük.

E sok tépelődés után határoztam el az első kísérletet dorogi tömedék-aknánk újabb víztelenítése érdekében 1926-ban.

A bánya másodszeri elfulladását okozó 2 × 5 m<sup>3</sup>-es vízbetörés egy-egy külön bányamezőben fakadt, melyeket egy vető választott el. A külszínről e vetőbe fúrva 250 m mélységben triász mészkőbe jutottunk s abban repedéseket észlelve 26.000 m<sup>3</sup> homokot adtunk be. Az elfúlt akna víztükre érzékenyen reagált a fúróluknál végzett munkánkra, míglen e mennyiség beadolása után mozdulatlan maradt, amiből arra következtettünk, hogy a vízbetöréseket okozó kavernát kitöltöttük. Ezt az akna víztelenítése igazolta is, mert a rakodóra érve hozzáfolyást alig találtunk, azonban rövid idő múlva a két bányamező felé vezető ereszkékből egyszerre zavaros iszapos víz jelentkezett s visszakaptuk nemcsak a vizet, hanem a fúrólukon át beadott homokot is.

Megtanultuk tehát, hogy a karsztüregbe adagolt homokot meg kell kötni, hogy azt a víz ne moshassa ki. A végzett kísérletek azt mutatták, hogy a homokhoz m<sup>3</sup>-ként 80—100 kg cementet adagolva olyan laza homokkővet nyerünk, melyet a víz helyéből elmosni már nem képes.

Nagy lelkesedéssel készültünk az újabb kísérletre, arra azonban már nem a tömedékaknán, hanem Augusztá-aknán került sor, hol 1927. szeptember 20-án frontfejtéseink lábánál, az 5-ik szelet fejtése közben hatalmas vízbetörést kaptunk, mely 3,5 óra alatt megtöltötte bányánkat minden gépi felszerelésével együtt s a vízzel telt folyósók méreteiből 43,2 m<sup>3</sup>/perc mennyiségben számítottuk ki.

A vízbetörés helyét ismerve, azonnal szereltünk föléje egy fúró garnitúrát s 212,4 m mélységben a triász-mészkőben üregre találtunk. Október 19-én, tehát alig 4 héttel a vízbetörés után már megkezdtük a karsztüreg eltömését éspedig percenként 1 m<sup>3</sup> vízhez 1 m<sup>3</sup> homokot és 100 kg cementet adagolva. 6454 m<sup>3</sup> homok és 7238 q cement beadása után a fúróluk megtelt, s 3 hét múlva szívszorongva lestük az akna víztelenítésének eredményét. A legnagyobb

örömmel állapítottuk meg, hogy a vízhozáfolyás kevesebb, mint a vízbetörés előtt volt, azonban most már egész munkát akartunk végezni és az akna víztelenítésével vártunk, míg további két fúrólyukat mélyítünk le. Egyiket az 1909. évi vízbetörés fölé helyeztük, magyarázatot keresve, vajjon a barlang csakugyan kiürült-e annakidején, a másikkal egy  $3,5 \text{ m}^3$ -es vízbetörésünk pontja felett állottunk fel. Az előbbi fúrólyuk betalált ugyan a barlangba, de a bánya is telve lévén a víznívóig, nem tudtuk eldönteni, vajjon most telt-e meg újra s ezért az akna víztelenítése után látva, hogy annak víztükre tovább is  $+131 \text{ m}$  maradt, cementáltuk csak el. A két fúrólyuk együtt  $4347 \text{ m}^3$  homokot és  $4674 \text{ q}$  cementet fogadott be, Augusztá-aknánk összes vízemelése pedig a nagyvízbetörés előtti  $5 \text{ m}^3$  helyett  $1,2 \text{ m}^3$ -re redukálódott.

Beigazolódott azonban az is, hogy a vízkérdésben keletkezett optimista hullám 1909 után teljesen tévesen épült fel, mert a víz akkori apadását a barlangból kivezető nyílásba sodort kődarab idézhette csak elő, de az is bizonyos, hogy annak köszönhető az egész bányakerület fellendülését, az azóta beépített hatalmas beruházásokhoz szükséges bizalmat és áldozatkészséget.

Felbuzdulva az elért eredménnyen, egymás után víztelenítettük a közben elfúlt I. aknánk mély szintjét, melynek  $6 \text{ m}^3$ -es vízhozáfolyását  $0,12 \text{ m}^3$ -re sikerült redukálni, majd a dorogi tömedék és Samu-aknánk víztelenítésére is sor került.

Jogos volt tehát minden reményünk, hogy végre helyes úton járunk, de éreztük azt is, hogy a vízkérdést csak akkor láthatjuk megoldottnak, ha a karsztüregeket már preventíve töltjük ki és megakadályozzuk, hogy aknatelepeink — ha csak átmenetileg is — víz alá kerüljenek. Biztosítottuk ugyan magunkat, hogy egy bányamező mindenkor nyitva és előkészítve álljon, készen az esetleg víz alá kerülő bánya azonnali pótlására, de egy akna újranýtása milliókat emésztett fel, mely előre nem látható költség bénítólag hatott minden újabb beruházásra.

Megkíséreltünk tehát mindent a karsztüregek felkeresésére, minden szénkutató fúrólyukkal a triasmészköbe is befúrtunk  $50 \text{ m-t}$  s ha üreget találtunk, elcementáltuk. Igénybevettük dr. Pekár Dezső segítségét, ki Eötvös-ingával bányáink folyósójáról igyekezett kinyomozni az alattunk rejtőző karsztüregeket. A Műegyetemen készült  $50000$ -es hangerősítővel próbáltuk kihallgatni a víz mozgását fekérdétegeinkben, Vendel Miklós akadémikus, Pogány Béla a legnagyobb megértéssel igyekeztek problémánkat megoldani, de minden törekvésünk ellenére megnyugtató eredményhez nem jutottunk.

Bányászatunk azonban nem is adott időt a megoldáshoz vezető út kitapasztolására, mert 1932 július 16-án VI-os aknánk egyik fejtésében — közvetlen méréssel megállapított —  $120 \text{ m}^3$ /percenkénti vízbetöréssel minden képzeletünket meghaladó csapással sújtott, órák alatt víz alá került egész modern bányánk az I. akna  $45 \text{ m}^3$  szivattyúkamrájával, egész felszerelésével együtt.

Vígasztalást a szerencsétlenségben csak az jelentett, hogy ez alkalommal is, mint eddig minden esetben, egyetlen emberélet nem esett áldozatul vízbetöréseinknek. A vízbetörés után már másnap szereltük a külszínen fúrógarnitúránkat, s 302 m mélységben bele is találtunk a karsztüregbe, melyet 3 478 m<sup>3</sup> homok és 3 126 q cement beadásával megtöltöttünk és a bányát víztelenítve újra nyitottuk, felkerestük a vízbetörés helyét is és víznek nyomát se találtuk.

Ez az eddig legnagyobb vízbetörés leküzdése sem hozott azonban enyhülést a súlyos probléma megítélésében, mint ahogy nem jutottunk közelebb a megoldáshoz azzal sem, hogy a VI. akna közelében lemélyített egyik preventív kutatófúrásunk 476 m mélységben egymaga 228 800 m<sup>3</sup> homokot és 160 vagon cementet nyelt el s ezzel a felszabadulásig lemélyített 157 cementáló fúrólukon át, melyeknek együttes mélysége 52 900 m volt, összesen 750 000 m<sup>3</sup> homokot, 1500 vagon cementet helyeztünk már el a triasz mészkő ismeretlen üregeibe, vagyis több mint kétszeresét a Grund-féle számítással 330 000 m<sup>3</sup>-re becsült mennyiségnek, melytől a vízkérdés végleges megoldását reméltük.

Újabb és újabb vízbetörések sarkaltak a további kutatásra, sőt a XII. akna elfúlása közben a IX. aknába áttört víz kilenc emberéletet is követelt áldozatul, kötelességévé téve mindnyájunknak, hogy a vízkérdés megoldásával méltó nyugvóhelyükről gondoskodjunk.

Tagadhatatlan tény, hogy a cementálási eljárásnak sokat köszönhattünk, mert míg szénttermelésünk 1928 előtt, tehát a bányászat megindulásától számított 127 év alatt 12 615 000 tonna volt, 1928-tól a felszabadulásig eltelt 16 év alatt 18 932 000 tonnát termeltünk. A termelés ilyen mértékű fokozása nélkül ugyanis lehetetlen elképzelni is azokat az áldozatokat, melyeket a vállalat a bányászat életbentartásáért hozott.

A karsztvízzel folytatott 40 éves küzdelemnek eredménye tehát az, hogy az út, amelyen haladtunk, helyes ugyan, de amíg nem tudjuk a veszedelmet véglegesen távortartani bányáinktól, nem nyugodhatunk meg. A vészthozó karsztüregek előzetes felkeresése és betömése maradt tehát továbbra is a megoldandó feladat, melyhez úgy reméltem eljutni, hogy a katonai térképészeti intézet által készített külszíni domborművű térképet üveg vagy celofán-lapból képezzük ki s azzal azonos léptékben gipszből formáljuk ki a triasz mészkő felületét, felhasználva 1000-nél több mélyfúrásunk adatát, bányabeli feltárásainkat, a hiányokat pedig a geofizika mai módszereivel és műszereivel egészítjük ki. A két domborművű térképet egymás fölé helyezve reméltem tisztázni a karsztvíz rejtett útjait, melyeknek megfúrásával és eltömítésével végre a súlyos kérdést eredményesen lezárhatjuk. A gipszmodell elkészítéséhez hozzáfogtunk, annak összeállításához vállalkozót is találtam, azonban a felszabadulásig nem készült el.

Mikor tehát előadásom végére értem s megköszönöm szíves türelmüket annak meghallgatásáért, meggyőződésem, hogy a bányász, geológus és geofizikus társadalom komoly összefogásával e súlyos problémát népgazdaságunk javára mielőbb megoldhatjuk.



## AZ AKADÉMIAI KARSZTVÍZKONFERENCIA VITÁJA

*Elnök* : megköszöni az értékes előadásokat és bejelenti, hogy a hidrológiai és tektonikai rész megvitatása után térnek át a bányászati preventív védekezés kérdésére. Áthidaló rész lesz : a dolomitok víztárolása és vízleadása.

### HOZZÁSZÓLÁSOK

VENKOVITS ISTVÁN

Szádeczky előadásából kiemeli azt a részt, ahol a karsztnak új típusáról, a tengerek szintje által befolyásolt karsztról beszélt. Még ilyent a valóságban nem látott, de úgy képzei el, ez olyan, mint a csárdahegyi karszt-részlet. A Földrajzi Intézet rendezésében tartott ankéton felhívták a figyelmet a Csárdahegy különleges formaelemeire. E karszt genetikájának tisztázásával újabb reménybeli területet nyerne a mangánkutatás. A feltárás ma látható részein horizontális barlang-járat nem észlelhető. A kiemelkedés után a mangán víztelenedése függőleges irányban történt, mert másodlagos vízlevezető csatornák látszanak. E csatornák a mangánon átszivárgó vizek agresszív hatására képződtek. Horusitzky nyelési és szívási modelljét fontosnak tartja, mert az elméleti alapot ad annak az új iránynak, mely ma egyre erősebben hallatja szavát. Az általánosító karsztelméletekkel szemben, nagyobb szerep jut a kifejlődési és szerkezeti, egyszóval a geológiai tényezőknek. Ma még ezen a vonalon csak az adatgyűjtésnél tartunk. A feladat nagy. A kérderek egyenlőtlen elosztása miatt jelenleg mindenkinek minden fajta víz-kérdéssel foglalkozni kell. Éppen ezért tudni kell egymás munkájáról, ki kell cserélni tapasztalatainkat, mert hiszen a koordinált munka a feladat sokrétősége miatt pillanatnyilag nem vihető keresztül. Fontos, hogy szakmai vonalon egymásnak segítséget nyújtsanak. — Horusitzky karsztvíz-kutatásokat osztályozó rendszerét helyesnek találja, geomorfológiai vonalon, de hidrogeológiai szempontból kénytelen eltérni a morfológiai elnevezésektől. Magas- és mély-karszt fogalmak nem jelentenek egyet a morfológusok elnevezéseivel. Morfológiailag a mélykarszt annál mélyebb, minél vastagabb a kőzet, az erózióbázis fölött. Vannak lazaságok a más értelmezés szerinti mélykarsztvíz kifejezésben is. Véleménye szerint a vizek osztályozásának minden szempontra való kiterjedését Horusitzky újabban javasolt rendszerezése csak bonyolítja. Javaslatát megismétli: Próbálják meg a szerzők — legalább írásaikban és előadásaikban — a szóbanforgó víz földtani elnevezését alkalmazni, mert így az térszíni adattal kiegészítve, egyértelműséget biztosít. Székely előadásával kapcsolatban megjegyzi: Albel megállapítása túlmegy a lokális jelentőségen. Lehet, hogy egyes helyeken nem úgy van, mint ahogyan azt Albel elmondotta, de kivételek itt is vannak, melyek geológiai magyarázatra szorulnak, általánoságban azonban igazak. Példaként említi az upponyi vízaknát. Itt a karbon mészkőben a patak szintje felett 40 m-re a völgy mindkét oldalán karsztos üregek látszanak. Az akna a völgytalpról indult, 70 m mélységig anélkül, hogy lényegesebb vízmennyiséget tárt volna fel, mert a kőzet a földkéreg-mozgások hatására kiemelkedett, s a kalciterekkel kitöltött mélyebb szinteket a felszín közelébe hozta. Geológiai megfontolások igazolják, hogy bizonyos mélységen túl az üre-



gesedés mértéke csökken részben kémiai kiválások folytán, részben csapadék-vizek által beszállított törmelékanyag révén.

Ajtay az újítók szellemességével nyúlt a dolomitkőzetek vízleadási kérdéséhez. Annak megállapítása, hogy mennyi vizet képes leadni egy kőzet, a porozitás ismerete nélkül rendkívül nehéz, mert nem tudják a víz-utánpótlódás mértékét kideríteni. Ajtay megfordította a kérdést: ha a kőzet vizet nyel, akkor ez a kőzet megfelelő nyomás mellett ezt a vizet le is képes adni. Kísérlete eredménnyel is járt. Ő, mint bányász, általában triászdolomitról beszél. Itt szükséges a figyelmet felhívni arra, hogy korrigálják ki a bányász kartársak a triászdolomit általános fogalmát, mert a triásznak sok dolomitja van. Ezek vízleadása a vetők mentén más és más. A kataklázos szerkezetű raibli-dolomitra vonatkozóan helyesen állapította meg, hogy szivacsos szerkezetű. A fő-dolomitinál azonban nem ez a helyzet.

#### SCHMIDT ELÉGIUSZ RÓBERT

Az ankét előadói többé-kevésbé mind elismerték, sőt hangsúlyozták a tektonikai irányoknak szerepét a karsztvízjáratok kialakulásában. A *Vigh F.* által bemutatott térképeken a vertikális irányú elmozdulások kidomborítására nagyságrendjük ábrázolására törekedtek, valószínűleg abból az egyből kiindulva, hogy nagyobb kőzetmozgás nagyobb kőzetösszemorzsolással, tehát a víz számára járhatóbb utak kialakításával jár.

A tektonikai irányok megítélésénél azonban már tovább jutottunk ennél a felismerésnél, amennyiben — geomechanikai elemzések révén — karsztos vidékeinken ma már határozott különbséget tudunk tenni olyan törvényszerűen fellépő törési irányok között, amelyek nyomó- ill. húzó-igénybevétellel járnak együtt, sőt ismerünk olyanokat is, amelyek pl. hajlító-igénybevétel következményeképp jöttek létre, stb.

A karsztvízjáratok kialakulása szempontjából ezeknek az igénybevételi módoknak döntő szerepük van abban, hogy mely irányban fejlődnek ki a veszedelmesebb karsztjáratok. Ilyenek elsősorban a húzással párosult ú. n. haránttöréseink és a hajlítás révén keletkezett törések.

A karsztvízveszéllyel küzdő dunántúli magyar középhegység hegyszerkezetét kialakító fenti hegyképzőerő-komponenseket és lokális igénybevételi módokat egységesen a krétakori forgatónyomatékból vezethetjük le. E forgató igénybevétel hatására a széthúzó jellegű haránttörések közötti egyes pászták horizontális irányban parketta-szerűen ÉNy-felé el is mozdultak. Ez a horizontális irányú mozgás általában lényegesen nagyobb és erőteljesebb a vertikális irányú mozgásoknál. Nyilvánvalóan nagyobb kőzetösszetöredéssel is jár. A karsztvíz-járatok veszélyességi fokának preventív kinyomozásánál ezt a mechanizmust tehát szem előtt kell tartani.

A ma konstataható vertikális irányú elvetési magasságok nem képviselik minden esetben helyesen az elmozdulás, a megtett út és ezzel a kőzetösszetöredettség mértékét. Éspedig azért nem, mert a mért vertikális irányú elmozdulások sok esetben csak látszólagosak. Nem egy egyszeri vagy többszöri, de egyértelmű mozgás eredményei. Az észlelt vertikális eltolódás gyakran részmozgások eredője. Egyes rögök és pászták egyszer negatív, másszor pozitív irányban, sőt ellentétes értelemben is elmozdulhattak. Az ilyen tektonikai irányok és síkok természetesen nagyobb kőzet összemorzsolással

jártak, tehát nagyobb vízveszélyt is jelentenek, mint amilyenre a közvetlenül észlelt elvetési vagy elmozdulási magasságból következtetni lehetne.

Az alapigénybevételi módból, a forgatónyomatékból következik, hogy a horizontális irányú mozgások egyértelműbbek, hogy ezeknél az eltolódás észlelt mértéke közelebb áll a tényleges mozgás mértékéhez.

Az összetöredezés mértékét fentiekén kívül természetesen a kőzet ridegsége is befolyásolja, a vízjáratokat pedig negatív értelemben a rétegsorban jelenlevő esetleges kenőanyagok, utólagos kalcitkiválás, stb.

A szóbanforgó karszthidrológiai jelenségek tökéletesebb megértése és bányáink preventív karsztvízvédelmének hatásosabbá tétele érdekében célszerű a vázolt mozgás- és kőzetviszonyokat is figyelembe venni és amennyire csak lehet, térképszerűen ábrázolni.

#### SZENTES FERENC

Az első kísérletek a régi nyomon indultak el, mely szerint: a tektonika és karsztvíz összefügg. A bányászok vető jelzéssel leegyszerűsítik a tektonikát. A valóság az, hogy a tektonikai összkép függvénybe állítható a karsztvízveszélyvel és így a vető elnevezés igen rövid és nem eléggé pontos. Kivánatosnak látszik, hogy részletesebb mikrotektonikai vizsgálatok pontosan, rendszeresen és nagyobb mértékben folytatódjanak a jövőben. Ezzel kapcsolatosak a Kassai szerinti hidrológiai vizsgálatok és hozzájárul még a geodéziai vizsgálat is. Szükséges tehát mindezeket kihangsúlyozni, mert csak így kaphatunk együttes tektonikai képet.

#### BENDEFY LÁSZLÓ

A tegnapi előadások során, (különösen Kassai és Vigh előadásaiban) felmerült az a kíváncsi, hogy a karsztvízprobléma megoldásával kapcsolatban minden vonatkozó mérés egységes, egymással koordinált geodéziai hálózatra vonatkozzék. Ez kétségtelenül alapvetően fontos feltétel a karsztvízkérdés megoldásánál. Ezt a gondolatot évekkkel ezelőtt már Tárcey-Hornoch A. is felvetette, az Orsz. Földméréstani Intézet pedig a maga részéről legalább két esztendeje szorgalmazza, hogy megkapja azoknak a területeknek vázlatos térképét, ahol a karsztvízkutatás céljaira sűrűbb felsőrendű szintezési hálózat kifejlesztésére lenne szükség. A jelenlegi konferencia célkitűzésétől függetlenül a mult esztendőben az Orsz. Tervhivatalnak megjelent 11930 sz. rendelete előírja, hogy minden bányavidéket az egységes országos szintezési hálózatba be kell kapcsolni. Ennek a rendeletnek végrehajtása máris megvetné az alapját annak, hogy a különféle ide vonatkozó szintezések egységesen az országos alapszintre átszámíthatók legyenek. Azonban a karsztvízkutatás szempontjából nem volna teljesen kielégítő, ha kizárólag a rendelet szellemében járnának el, mert ez megelégszik bányaterületenként 3 alap-pont létesítésével és meghatározásával, viszont a karsztvízszintek pontos felvételéhez sokkal sűrűbb hálózatra lenne szükség. Hogy ilyesféle geodéziai alpmunkálat létrejöhessen, szükség volna: 1. a fentebb említett alapvázlatnak rendelkezésre bocsátására; 2. Az illetékes geológus- és bányászszakemberek részéről annak megállapítására, hogy milyen sűrűségű legyen az ellenőrző szintezési hálózat; 3. A munkálatoknak kellő időben való beütemezésére, mivel az Orsz. Földméréstani Intézet is ütemtervvel dolgozik.

Emellett felhívja az ankét figyelmét arra is, hogy ezek a legnagyobb szabotossággal végzett geodéziai mérések a pusztá gyakorlati számadatokon túl számos helyen szolgáltatnak olyan adatokat is, amelyek a területnek makro-illetőleg mikrotektonikájába engednek bepillantást. Példa kedvéért Budapest területének egy részére vonatkozó mozgásdiagrammokat kíván köröztetni, annak érzékeltetésére, milyen élesen domborodik ki a tektonikai jelleg a felsőrendű szintezések szolgáltatta eredmények nyomán. Felhívja a figyelmet egy szelvényre, amely a Sztálin-tér és Széll Kálmán-tér között mutatja a felsőrendű szintezések-ből megállapított szintváltozásokat, és azoknak a tektonikai törésekkel, illetőleg az agresszív vizeket tartalmazó vetődésekkel való összefüggését. Ezek a vázlatok és mozgásdiagrammok alátámasztják azokat a geomechanikai megállapításokat, amelyeket a tegnapi előadások során Schmidt E. R. fejtett ki.

### CZIRÁKI JÓZSEF

Mindenekelőtt megbízásból felolvassa Papp F. javaslatát, mely a karsztvízkutatás szervezésére vonatkozik. A javaslat a következőként hangzik:

Az ankét munkájának eredményessége érdekében legyen szabad a következőket javasolnom:

1. Az előadók közül többen kijelentették, hogy tervszerű és szoros együttműködésre van szükség az adatok, megfigyelések megszerzése és kiértékelése terén. Külön lehetne választani a bányászati és a vízfeltárási (ipari, ill. ivóvíz), valamint a balneológia szempontjából fontos megfigyeléseket. Ennek megfelelően legalább 3 részre tagoltassék a feladat és a Bányászati Kutató Intézet, a Vízhajz Intézet és a Balneológiai Kutató Intézet Forráskutató Osztálya bizassék meg a feladat végrehajtásával úgy, hogy egymásközt megbeszéljék a megfigyelések-mérések egyöntetű végrehajtását; többek között azt, hogy adataikat az Akadémia Karsztvíz Bizottsága és egymás részére másolatban azonnal megküldik.

2. A fenti feladatra — amennyiben megbíznák a Balneológiai Kutató Intézet Forráskutató Osztályát — a Forráskutató Osztály csak akkor vállalkozhatik megnyugvással, ha a jelenlegi 1 függetlenített kutató mellé, legalább még 1 újabb kutatói állást szervez az Egészségügyi Minisztérium — addig pedig az Akadémia tegye lehetővé, hogy a tavaly megindított országos forrás-megfigyelési munka elvégzésére biztosított szerény fedezet idén is folyósíttassék (melyet töröltek az Akadémia költségvetéséből).

3. Az 1. munkaközösségbe vonassék be az Eötvös L. Egy. földrajzi tanszéke és a Dunántúli Tud. Kut. Intézet (Szabó Pál Zoltán).

4. Ezenkívül a következő kérdések kivizsgálását javaslom:

a) állapíttassék meg 1952—53. munkaévben, hogy a Dunántúli Középhegység peremén pontosan mekkora területet láposítanak el a szivárgó karsztvizek, a helységek pontos feltüntetésével, a láposodás fokozatával. Ebben a munkában — amennyiben az Ankét a gondolatot magáévé teszi — a Műszaki Egyetem ásvány- és földtani tanszéke is résztvenne;

b) az a) amennyiben elfogadtatnék, abból a szempontból is dolgoztassék fel, hogy milyen módon lehetne ezt a több ezer holdat a mezőgazdálkodás szolgálataiba állítani (pl. halastavak, rizstermelés stb.);

c) állapíttassék meg, hogy mennyi karsztvízzel rendelkezik az ország.

d) fontoltassék meg, hogy a Dörög-Tokod stb. határában emelt víz milyen módon hasznosítható (példa: Ajka lehetne);

e) tanulmányoztassék, hogy a melegebb vegyes vizekben mennyi a karsztvíz (pl. a Széchenyi artézikut vízében milyen arányban van karsztvíz jelen);  
 f) állapítassék meg, hogy a karsztvizek megfigyelésénél, milyen alkotórészeket határozzanak meg (jó lenne a H, Si O és alkáliák közül a k is);

*Cziráki* : Reflektálni kíván Vendel M. kijelentésére, hogy a karsztvíznek balneológiai vonatkozásai is vannak. Hazánkban számos ásvány- és gyógyvíz karsztvíz-eredetű melegvíz, sőt Papp ismertetett előadása szerint a Széchenyi-fürdő termál-vize is karsztvíz-típusú. Ezért a karsztvíz terén végzett kutatómunkával kapcsolatban szükségesnek tartja a kutatók figyelmét felhívni arra, hogy ha olyan karsztvízre akadnak, amelynek valószínűleg balneológiai jelentősége is van, hogy az adatokat az Orsz. Balneológiai Intézettel közöljék, ahol azt kivizsgálják és a népegészségügy szolgálatába állítják. Fontos a karsztvizek közül az ásvány- és gyógyvíz jellegűeknek megfelelő módon való kezelése, hogy a gyógyfürdők vízellátása biztosítva legyen. A karsztvizek víznívója és a csapadékviznyok és egyéb meteorológiai tényezők közötti összefüggések vizsgálatát javasolja.

#### KESSLER HUBERT

Mint a karsztvízkérdés pozitív oldalával, vagyis a *víznyeréssel* foglalkozó kutató szól az előadásokhoz. Hangsúlyozni kívánja, hogy Szádeczky—Kardoss érdeme a dunántúli karsztvíz összefüggésének kimutatása és szakirodalmi feldolgozása. A rétegvonalas karsztvízszint-térképet igen jól fel lehetett használni a mesterséges vízfeltárásokkal kapcsolatos előzetes vizsgálatoknál. Ezt az első, még kevés adat alapján készített térképet feltétlenül ki kell fejleszteni. A karsztvízszintet meghatározó egyes pontokat azonban igen szigorú bírálatnak kell alávetni, mert nagyon fontos, hogy az izohipszák tényleg a mélykarszt *nyugalmi* vízszintjét jelző adatok alapján készüljenek. Ezért nem lehet pl. minden karsztforrást erre felhasználni. Sok — mélykarsztból táplálkozó — forrás pl. mélyebben fakad a környék nyugalmi karsztvízszintjénél, pl. a tatai Fényes-források, ahol a víz erős nyomás alatt fakad. Igen fontos, hogy a magassági adatok pontos szintezéseken alapuljanak, mert a gyakran csak becslés vagy aneroid-méréseken alapuló irodalmi adatok és a tényleges helyzet között több méteres eltérések vannak. Pl. *Kálmán* előadásából úgy hallottuk, hogy a tatabányai karsztvízszint + 139 m A. f. magasságban van, saját szintezése alapján azonban ez csak 134 m. Karsztaknák tervezésénél — pl. a szivattyúház elhelyezésével kapcsolatban — legalább méteres pontosság szükséges. Csatlakozik ezért Bendefy véleményéhez, aki az egységes alapszintre való vonatkoztatás szükségességét hangsúlyozta.

Víztermelő karsztaknánál igen fontos továbbá a karsztvízszint lehetséges szélsőséges ingadozásának ismerete. Ezért több helyen automatikus vízszint-regisztrálókészülékek elhelyezését tartja szükségesnek. Ezek elhelyezésénél azonban figyelemmel kell arra lenni, hogy ne mesterséges megcsapolások közelében legyenek, hanem csakis a természetes, tehát csapadékokozta karsztvízszintingadozásokat regisztrálják. A *Vízrajzi Intézet* egyébként tervbe vette *Szádeczky-Kardoss* és *Kassai* első karsztvízszinttérképeinek szintezéseken alapuló kifejlesztését.

*Horusitzky* előadásával kapcsolatban megjegyzi, hogy igen érdekes az emelt karsztvízszint fogalmának bevezetése, bár a gyakorlatban nehéz lesz a nyugalmi és az emelt karsztvízszinteket egymástól elválasztani, illetve átmenetüket megállapítani. A csapadékokozta vízszintingadozás kétségtelenül

ezen az emelt karsztvízszinten fog a leghatározottabban mutatkozni, ezért nagyon tanulságos lenne pl. a Bakony legcsapadékdúsabb helyén egy vízszint megfigyelő fúrást létesíteni. *Horusitzky*nek az Aggteleki-barlangra vonatkozó megjegyzésére megállapítja, hogy leszálló karsztvízzel kapcsolatban csak a barlang középső szintjében folyó Styx-patak nívójáról lehet szó, a 36 méterrel alacsonyabban fakadó Jósva-forrás már a mélykarszt vízszintjét jelzi. A *Papp Ferenc* által említett tatai Pokol-forrás kiapadásának oka nem eltömődés, hanem — mint azt részletes vizsgálataival megállapította — a legutóbbi évek téli csapadékhiányára visszavezethető karsztvízüllyedés következménye. Ugyanerre az okra vezethető vissza az egyébként igen bővízű Zámoly-forrás elapadása is. Mindkét forrás működését a forrásküszöb mesterséges lesüllyesztésével újra meg lehet indítani.

*Kántás* felszólalásához megjegyzi, hogy bár egyelőre nem állnak olyan geofizikai módszerek rendelkezésre, amellyel kisebb karsztüregeket ki lehetne mutatni, de a nyugalmi karsztvízszint megállapítására — ha az nem feszített szint — igen alkalmasak a fajlagos talajjellenállás mérésén alapuló négyelektródás eljárások, amivel *Egyednek Szabadbattyánban* és *Inotán* elég pontosan sikerült a karsztvízszinteket kimutatni. Felhívja *Kántás* figyelmét, hogy talán kapacitásmérési módszerekkel sikerülhet kisebb mélységben levő karsztüregeket a felszínről vagy bányavágatokból kimutatni.

A karsztvízkérdés sokoldalú és szerteágazó problémáinak egyöntetű kutatására és feldolgozására alábbi javaslatot terjeszti elő:

Magyarországon jelenleg több szerv, intézmény foglalkozik egyes karsztvízproblémákkal, de sok esetben az intézmények nem ismerik eléggé egymás munkáját, eredményeit. Sok esetben párhuzamos vagy átfedő munka folyik, számos még megoldandó kérdéssel pedig senkisé meg foglalkozik.

A karsztvízkutatás egységes megszervezésével, az együttműködés, illetve koordinálás megteremtésével kapcsolatban — ami a karsztankét főcélja — szükséges mindenekelőtt azokat a kérdéseket felvetni, amelyek egészben vagy részben még megoldásra várnak. Alább kísérlem meg azokat a feladatokat összefoglalni, amelyek kimunkálása a karsztvízkutatáshoz fűződő nagy népgazdasági érdekeket szolgálhatják és amihez bányász, geológus, hidrológus, műszaki, morfológus, geofizikus, vegyész szakemberek szoros együttműködése szükséges.

Az egyes problémáknál felemlítem azokat az intézményeket, amelyek hatáskörébe a kérdés tartozik.

1. A legkisebb részletekig feltérképezendő a magyarországi felszínre bukkanó karsztterületek összes karsztjelenségeikkel, hegyszerkezeti elemekkel, morfológiai, hidrográfiai és magassági adatokkal. (Földtani Intézet, Műegyetem Földtani Tanszéke, Tudományegyetem Földrajzi Tanszéke, Vízrajzi Intézet.)

2. Nagyjából fenti feladat elvégzendő a felszín alatti, a bányászat és vízfeltárás szempontjából még gyakorlatilag elérhető mélységben levő karsztra vonatkozóan. (Földtani Intézet, Bányászati Kutató Intézet.)

3. Az eddig már megkezdett úton, de gondos színtezések alapján elkészítendő, illetve kifejlesztendő a nagyobb összefüggő karsztterületek *mélykarsztjának hidrosztatikus nyugalmi vízszintjét* feltüntető térkép.

4. Megállapítandó, hogy a karsztvíz nyugalmi szintje milyen szélsőséges ingadozásokat végez a csapadék hatására, továbbá milyen depressziót okoz a mesterséges karsztvízkitermelés? Depressziós görbe alakulása dolomitban és mészkőben. (Vízrajzi Intézet, Bányászati Kutató Intézet.)



5. Rendszeresen mérendők a nagyobb karsztforrások vízhozama. Megállapítandó az összefüggés a csapadékmennyiség, intenzitás, továbbá a kémiai összetétel, valamint a bakteriológiai viszonyok és a forrásvízhozam között. (Vízrajzi Intézet, Orsz. Közegészségügyi Intézet.)

6. Megállapítandók a különböző mélységekben levő karsztvizek kémiai összetétele, hőmérsékleti viszonyai. (Földtani Intézet, Bányászati Kutató Intézet.)

7. Megvizsgálandó a dolomit kalcium, magnézium tartalma és a hézag-térfogat közötti összefüggés. (Földtani Intézet.)

8. Behatóan tanulmányozandók azok a geofizikai eljárások, módszerek, amelyekkel a karsztvíz, illetve a karsztjáratok a felszínről vagy bányavágatokból közvetve vagy közvetlenül meghatározhatók. (Geofizikai Intézet, soproni Egyetem geofizikai munkaközössége, Bányászati Kutató Intézet.)

9. Megvizsgálandó, hogy különböző mélységekben hogyan változik a kavernásodás mértéke. A kavernák természetes eltömődésének lehetősége. Elkalcitosodás, elagyagosodás. (Bányászati Kutató Intézet, Földtani Intézet.)

10. Karsztvízfúrások nyelőképességének és vízadóképességének összefüggése. (Bányászati Kutató Intézet.)

11. Összefoglalandók, publikálандók a vízelzárások, valamint a víznyerések műszaki kivitelezésénél szerzett tapasztalatok. (Bányászati Kutató Intézet, Vízrajzi Intézet.)

Számos kiváló karszt-szakemberünk jelenleg olyan intézménynél dolgozik, amelynek munkatervébe fenti feladatok nem illeszthetők be. Ezek mint tanácsadók külön bekapcsolandók. Javasolom még a fentnevezett intézmények szakvezetőit a részletkérdések, a koordinálás megtárgyalása végett szűkebbkörű megbeszélésre összehívni.

Elnökség javasolja az előterjesztést az ankét által hozandó határozati javaslatba beépíteni.

HORUSITZKY FERENC, a földtani tudományok doktora

Venkovits előadásával kapcsolatban megjegyzi, hogy a karsztvíz kémiai szempontból nem lehet egy definitív fogalom. Karsztvíznek megfelelő összetételű vizek így a környezettől függően a legkülönbözőbb üledékekből eredhetnek. Amíg a karszt meghatározza a víz összetételét, a víz összetételéből nem lehet visszakövetkeztetni a karsztvízi eredetre. Venkovits számos vizsgálattal mutatta ki a karsztvizek összetételét és lényegileg ugyanerre az eredményre jutott.

Kessler Hubert az aggteleki barlanggal kapcsolatos megjegyzéseimre megállapította, hogy az aggteleki karszt tovább tagolható és ott a leszállókarszt és támaszkodókarszt is jelen van. Reflektálva Kessler hozzászólására megjegyzi, hogy a karsztvizek rendszertanát ez a helyi megállapítás nem befolyásolja, Kessler, mint az aggteleki karszt legjobb ismerője, tudja megállapítani azt, hogy egyes karsztvízszintjei az általa is elfogadott karsztvízrendszer melyik szintjébe oszthatók be.

Az ajkai magaskarszttal kapcsolatban javasolja, hogy az alaphegység karsztvízszintje megbízhatóan tisztázandó, mert amennyiben a főkarsztvízszintje mélyebben fekszik, mint a magaskarsztvízszintje, az eocén-mészko víztelenítése nyeletéssel megoldható volna.

## EGYED LÁSZLÓ

A karsztvízkutatással kapcsolatban kihangsúlyozza, hogy Szabadbattyán közelében két közeli területen végeztek elektromos ellenállásméréseket: ahol bányászat folyt és ahol nem folyt bányászat. Az előbbi területen a karsztvizet leszivattyúzták, a másik területen azonban a depresszió már nem érvényesült. A két szintet elektromosan nagyon szépen ki lehetett mutatni.

A másik, — tulajdonképpen még érdekesebb — mérés Inota környékén történt: a mérésben az éles ellenálláscsökkenés 1 méteres pontossággal azon a szinten adódott, ahol a vizet leszivattyúzták. Ahol az eredeti karsztvízszint volt, ott a görbe diszkontinuitást mutatott olyanszerűen, hogy párhuzamosan el volt tolódva.

A karsztvízzel kapcsolatos geofizikai vizsgálatokhoz még a következőket fűzi: A szeizmikus mérések alkalmazásának lehetőségénél mindig figyelembe kell venni, hogy a szeizmikus mérések kiértékelésénél mindig a geometriai optika törvényeit tartják szem előtt. Ezen az alapon alkalmas a szeizmikus mérés a karsztvízkutatás szempontjából oly fontos vetők és vetőrendszerek kimutatására, ha azok eléggé határozottak és eléggé nagyok. Bányán belüli kutatásnál azonban az a helyzet, hogy a rétegek települése irányában elsősorban kvázihomogén rétegekkel van dolgunk, ahol a geometriai optika törvényeit vagy egyáltalán nem, vagy csak igen nagy körültekintéssel lehet alkalmazni. Ha a homogén rétegben levő karsztvizet szeretnék megfogni, ezt elég nehéz megtalálni. A karsztvizet tartalmazó üregrendszer részben abszorbeáló, részben diszpergáló inhomogenitásként fog jelentkezni a felvételekkel kapcsolatban. Itt tehát elsősorban »legyezőszerű« refrakciós mérést lehet alkalmazni, ugyancsak bányán belüli felvételekkel, lehetőleg ugyanabban a rétegben végezve azt, de az érdekelt helyek nem sebességkülönbséggel fognak jelentkezni, hanem elsősorban, mint »néma helyek« az abszorpció és szóródás alatt.

Felmerült a termikus módszerek alkalmazásának gondolata is, azonban a kőszénterületeken az oxidációs okok miatt sokkal nagyobb hőmérsékleti ingadozások léphetnek fel, mint amekkora a víz hűtőhatásával kapcsolatban egyáltalában felléphet. Az oxidáció folytán fellépő polarizációs áramok miatt ugyancsak eléggé nehezen lesz a kérdés megközelíthető, természetes áramok módszerével.

A karsztvízkérdés tektonikai vonatkozásaival kapcsolatban még azt szeretné hozzáfűzni, hogy a nagytektonikai függőleges mozgások végeredményben mindig vízszintes irányú nyomások következményei, miután a mélyben olyan üregek nincsenek, amelyeknek a rovására az ilyen függőleges mozgás írható volna. A deformációt a nyomás folytán fellépő keresztmetszettel nyomatókok hozzák létre. A deformáció folytán létrejövő húzásra és nyomásra a kőzet másképpen reagál, miután a nem plasztikus kőzeteknek nagyobb a nyomó, mint a húzószilárdsága. Miután pedig a kőzeteknek a nyírószilárdsága legkisebb, nyilván a tönkremenés nyírási jelenségekkel kapcsolatban megy végbe. Ezt támasztja alá az, hogy a földrengéses területek elsősorban a mészkő és dolomit-területre esnek, hiszen a földrengések legnagyobb részét nyírófeszültségek kioldására vezethetők vissza. Az olyan mészkőterületeken, mint pl. a Balatonfelvidék, ahol hiányoznak a földrengések, a jelenség oka abban keresendő, hogy a magmatikus tevékenység a területet vasbetonszerűen összefogta, (olyan értelemben, hogy a mészkőrétegek játsszák a beton, míg a magmatikus intruziók a vas szerepét.)

## BENDEFY LÁSZLÓ

Kessler mondotta : Szeretné, ha a karsztvíz-térképeket egy-két méteres pontossággal össze lehetne egyeztetni. Szerinte megfelelő munkával egy-két dm-es, sőt cm-es pontosságot is el lehetne érni. Példákat hoz fel: Az orsz. felsőrendű szintezés a dorogi medencében 5, Salgótarjánban 36, Lillafüreden 11 méteres alapszintkülönbségeket állapított meg. Ha ezekből a helytelen adatokból indulnak ki, a karsztvíztérkép megszerkesztését hibás alapokra fektetik. Az egységes országos alapszintre való áttérést tartja elsősorban fontosnak.

Egyed előadásával kapcsolatban megjegyzi : a magassági elmozdulások valóban szorosan összefüggnek a vízszintes értelmű mozgásokkal annyival inkább, mivel hazánk területén a magassági értelmű szintváltozások velejárói a vízszintes irányú elmozdulásoknak. Kevés az olyan terület nemcsak Magyarországon, hanem világviszonylatban is, ahol a valóságos térbeli mozgásokat mind magassági-, mind a vízszintes értelmű összetevőikkel ki lehetne mutatni. Budapest főváros 1945. évi határain belül levő térség az a terület, ahol alkalom és lehetőség kínálkozott a valóságos, térbeli, orogén jellegű mozgások mindkét-féle (függőleges és vízszintes) összetevőinek (vektorainak) numerikus meghatározására. Néhány ide vonatkozó térképvázlatot mutat fel. A vizsgált területen ÉNy-Dk irányú nyomó és Ék-DNy irányú húzóerők lépnek fel. A mozgásvektorokat szétbontva a ható erőkkel arányos nagyságú vektorokhoz jutunk. A bemutatott vázlat bizonyossága szerint a vizsgált területen mindkét főirányban igen gyakran jelentkeznek nyíró-erőpárok. Ezek determinálják nemcsak az uralkodó töréseket, hanem a közöttük levő apró töréseket és vetődéseket is.

## SZÉKELY LAJOS

Venkovics geológus szerint az Albel által felállított elmélet nem lokális jelentőségű és így nem is lokális szempontból kell e kérdéssel foglalkozni. A gyakorlatban végeredményben lokális problémákat kell megoldani és így a bányásznak, mint jelen esetben is, lokális szempontból kell vizsgálni a kérdést. Albel is a dorogi helyi viszonyokból indult ki és vonta le az általános következtetést.

Mivel Dorogon jelenleg a — 200 m szint alatti mélységben levő szénterületek aknatelepítési problémái előtérbe kerültek, mely mélységben—Albel elmélete szerint — a vízveszély már nem áll fenn, tisztázandó, mennyiben lehet építeni az elméletre. El kell dönteni, hogy a karsztüregok elplombálódása a mészkőfelülettől mért bizonyos mélységben történt-e meg, avagy a — 200 m szint tekintendő-e az elplombálódás határának, mivel a mészkő eredetileg nema jelenlegi helyzetében települt és vetődések juttatták mai helyzetébe az egyes táblákat.

Bár az elmélet szerint a — 200 m tengerszint alatti mélységben nincsenek üregek és a tanulmány kimutatásában szereplő 592. sz. fúrás üregeibe mégis 228 824 m<sup>3</sup> homokot és 16 019 q cementet adagoltak. Ez a dorogi medencébe becementált mennyiség  $\frac{1}{3}$ -a, tehát nem elhanyagolható mennyiség. Nem lenne logikus e tétel kiszűrése, mert helytelen következtetésre vezetne.

Az elgondolás alapján jelzett mélységben vízveszély nélkül lehetne bányászni, mivel azonban a gyakorlati bányászkodásért a felelősséget viselni kell, a teóriáért is felelősséget kell vállalni.

Gyakorlat szerint a mészkő töredezettsége, védőréteg vastagsága és a vetődések döntik el a táblák vízveszélyességi fokát. Így pl. Dorogon a VI.

akna mezeje tektonikai okokból vízveszély szempontjából hirhedtté vált, míg másutt ugyanolyan mennyiségben nyugodtan lehet bányászatot folytatni.

Kessler Hubert hozzászólásában a tatabányai állandó karsztvízszintet 135 m tengerszint feletti magasságban jelöli meg. Ezzel szemben 139 m a tatabányai általában használatos állandó vízszint. Tudvalevő, hogy utóbbi időben az állandó vízszint jelentős mértékben lesüllyedt, ezért helyes lenne, ha az irodalomban szereplő összes vízszintadatok mellett szerepeltetnék, hogy mely időpontban történt a vízmérés. Erre azonosítás céljából és későbbi félreértések elkerülése miatt feltétlenül szükség van.

A hozzászólások között említés történt a löszcementálásról is. Mivel a bányaműveletek felett nem mindenütt van homok, s annak helyszínre való szállítása költséges, viszont a lösszel borított terület túlnyomó, a lösz-cementkeverék tartóssága sürgősen elbírálandó. Ebből a célból a dorogi A-aknán lösz-cementálást kezdettek, azonban a Tervhivatal azt leállította. Kéri az értekezlet támogatását e fontos gyakorlati kérdésben.

#### ALBEL FERENC

A karsztvíz kérdéssel 1926. óta foglalkozik, amikor Dorogon az első nagyobb vízbetörést kapták és az első cementáló, tömítő eljárást alkalmazták. Schmidtnek a tömítőeljárásos munkálataiban segítőtársa volt és így a dorogi szénmedencében végzett karsztvízveszély elleni és ezzel kapcsolatos vízmentesítési munkákban résztvett és ma is ezzel foglalkozik.

Megköszöni az anketon, az általa elgondolt és 1950. évben megjelent tanulmányához történt hozzászólásokat, melyek az általa elgondolt karsztvíz-teróriát nagy lépéssel viszik előre és további kutatásra serkentik.

A mélyszinti karsztüregek természet által való kitöltődésének problémájával való foglalkozás arra vezetett, hogy ezt a kérdést itt tanulmányozni kell, mert bányászatunk mind mélyebb szintekre kényszerül hatolni a föld mélyébe. Lassan megszűnnek azok a bányamezők, amelyek a — 200-as szint fölött termelnek. — 200-tól — 500-as szintek felé leszünk kénytelenek bányászatunkat fejleszteni, ha csak e mélyszinti szénvagyonunkat örökre elveszítettnek nem akarjuk nyilvánítani.

1950-ben a Hidrológiai Közlöny 11—12. számában megjelent tanulmányában feldolgozott 250 fúróllyukat és abból állapította meg a karsztüregek kiképződését a mélységek felé. Arra a megállapításra jutott, hogy a legnagyobb fokú karsztosodás a legmagasabb szinteken észlelhető. A mélyen levett alaphegységben a karsztosodás lényegesen kisebbmértvű, a fúrómagokon az óskarsztosodás nyomai kimutathatók, azonban a repedéseket és üregeket a természet kitöltötte és összecementálta.

Az 592. sz. fúrás a — 200-as szint alatt tényleg 230 000 m<sup>3</sup> tömítőanyagot fogadott be, azonban e jelenség okát a fúrásokkal megállapított VI-os aknai dolina és az azt minden irányban határoló nagy vetőkben látja. A tanulmányban kitért arra is, hogy a bányamezőket határoló úgynevezett fővetőkre nagy súlyt kell helyezni, mert a fővetők érintése vízbetörések okozója lehet.

A feldolgozott 250 db fúróllyuk közül az 592. sz. fúrás volt az egyetlen, amely a — 200-as szint alatt a legnagyobb tömítőanyag-mennyiséget nyelte el.

Azóta, hogy tanulmánya megjelent, újabb megfigyeléseket végzett; mint az 1054. sz. fúrásnál, amely a XI/b. lejtaknai +32-es szinti vízbetörésre lett telepítve, melynél talán mérési hiba folytán a fúróllyuk nem pontosan a vízbetörés fölé lett kitűzve: a dachsteini mészkövet már a +65-ös szinten elérte.

A mészkőben egy 52 cm nagyságú üreget, majd a vízbetörés szintjén egy 5 m. magas barlangot tártak fel. Az üregek cementálását megkezdték. Párszáz m<sup>3</sup> tömítőanyag beadása után az alsó 5 méteres barlang eltömődött és a további tömítés a felső 55 cm-es üregben folytatódott. A tömítési eljárás alatt a XI/b. lejtakna nyugalmi vízszintje a + 128-as szintről emelkedni kezdett és elérte a + 140-es szint körüli magasságot, mely jelenség azt bizonyította, hogy a dachsteini mészkő vízjáratai eltömődtek és a zagy most már csak a bányára felé talál utat. A tömítési eljárást ezért beszüntették. Az 5000 pl vizet, 1200 pl-re sikerült csökkenteni.

A megmaradt vízfolyás további elzárására újabb fúrólyukat telepített, az 1054. sz. fúrás-tól 7 méterre, a rétegződésnek megfelelően. A fúrólyukkal a dachsteini mészkövet a — 35-ös szinten érték el. Tehát egy teljesen meredeken álló vetővel álltak szemben, melyből most már megmagyarázható a vízbetörés oka. A bányaművelés alkalmával a + 35-ös szinten, az 5 m karsztbarlang szintjében megütötték a vetőt és ez okozta a vízbetörést és a bányarész elfulladását. A fúrással a — 35-ös szintről 45 métert fúrtak a mészkőbe, mely a karsztosodást szépen kimutatta, azonban a karsztosodott üregek és vető-menti síkok vörös és szürke agyaggal tökéletesen ki voltak töltve, mert nyelőképességet egyáltalában nem mutatott. Ez az eset az eltömődés világos, fényes példáját tárta elénk.

Egy másik példa: A XIV-es bányamező területén volt, ahol egy fúrólyukkal a — 300-as szint körül érték el az alaphegységet, melyből 15 méter hosszú magot vettek rotációs eljárással. Ezt a magmintát beküldték a Kutató Intézetnek, ahol a magon a karsztosodás jelenségeit és az őskarszt repedések kitöltődését kimutathatónak találták. A repedések falain két kalcitréteg között vörös és szürke agyag kitöltődés volt megállapítható. A fúrólyuk egy liter vizet sem nyelt.

Visszatérve régebbi adatokra: Dorogon szénkutató céljából fúrtak le egy fúrólyukat, majd a dachsteini mészkő karsztosodott járataiból vizet akartak nyerni a bányatelep részére. A dachsteini mészkövet a — 550-es szint körül érték el, a paleocén kőszénteleg alatt közvetlenül. Feküréteg nem volt. A dachsteini mészkőben 150 métert fúrtak be rotációs eljárással állandó magvétellel.

A vett magokon megállapítható volt a régi karsztosodás nyoma a repedések vörös agyaggal voltak kitöltve. Annak idején Telekdy-Róth Károlyt, Schmidt meghívta Dorogra és megmutatta a fúrómagokat. A dachsteini mészkő felső 8 méteres szakasza — fehér színű volt, majd a karsztosodott repedékes mészkő vörös agyaggal volt kitöltve, mely a mészkövet is vörös színre festette, mely emiatt a jura mészkőhöz hasonlított. Ezen magokból még néhány darabot őriz gyűjteményében. A fúrólyukból egy liter vizet sem sikerült nyerni. Az említett két példán kívül a karsztosodás nyomát majdnem minden fúrólyukban megtalálják a vett kőzetmintákon.

Köszöni Székely Lajos hozzászólását, ki még nem fogadja el teljes mértékben a felállított teóriát. Egészséges nézet a karsztvízkérdéssel kapcsolatban csak úgy alakulhat ki, ha a problémákat megvitatják és a nézeteket egyeztetik.

Székely hozzászólásában azt mondta, hogy: »Albel az 1950-es tanulmányában csak a tömítőfúrásokat dolgozta fel«. Ez a megállapítás téves, mert a tanulmányában nemcsak a cementáló fúrásokkal foglalkozott, hanem az összes fúrásokkal, legyen az vízbetörésre telepített cementáló, vagy preventív jellegű fúrás is. Hiszen az 595-ös sz. fúrólyuk is preventív jellegű fúrás volt.

Újabb tanulmányt készített, amely valószínűleg a napokban kerül kiadásra. E tanulmányában — kívánságra — csak a cementáló fúrásokkal foglalkozik, a



karsztosodás, a fekéretegvastagság, a hidrosztatikai nyomásra eső védőrétegvastagság és a karsztüregek tömítőanyag befogadása szem előtt tartásával.

Ujabb tanulmányban arra a meggyőződésre jutott, hogy az eddigi vízbetörések legtöbb esetben egy-egy vető érintése, vagy túlságos megközelítése folytán következtek be. Ha a fekéreteg vastagságát tartjuk legfontosabbnak a vízveszély elleni védelemben, akkor szerinte a vetők mentén is meg kell tartani a biztonsági védőpillért. Ha pedig ezt betartjuk, a bányamezők erős tagoltsága miatt sok szénvagyon menne veszendőbe. Mindenesetre a vetők kutatása céljából a bányában előfúrásokat kell végezni, melyeket a hidrosztatikai nyomásnak megfelelően, kellő távolságból kell előrefúrni.

A vetősíkok lehetnek teljesen kitöltöttek, vizet nem vezetők, lehetnek azonban részben kitöltöttek, melyek vizet is vezetnek. Ha az előfúrás alkalmával vizet nem észlelnek, akkor az előfúrt szakasz  $\frac{2}{3}$  része feltárható, és e feltárt vájvégéből újból elő kell fúrni. Az ilyen eljárás mellett, mindig marad egy bizonyos biztonsági védőpillér az esetleges közeli vető mentén. Székely a mélyszinti telepek biztonságát illetőleg, nem tartja elégségesnek a fúrólukakból nyert adatok alapján meghatározott biztonságot. Szerinte egy-egy fúrás annyit jelent, mint egy tűszúrás a föld mélyébe. Ha a fúrás nem is mutat ki vízveszélyt, természetesen a fúrás közelében az még meglehet. Más eljárás sajnos nem áll rendelkezésre a vetők és ezzel kapcsolatban a vízveszély megállapítására, mint a mélyfúrás. Ezzel tudjuk megállapítani a szénvagyon nagyságát és az egyes fúrólukakon át a karsztüregek méreteit és nyelőképességét.

Tanulmányozva a vízbetörések nagyságát, szintjeit és a különböző szinteken beadható tömítőanyag mennyiségét, azt tapasztalta, hogy a katasztrófális vízbetörések a magasabb szinteken voltak. Minél mélyebben találjuk az alaphegység karsztüregeit, azok annál kisebbek és azzal párhuzamosan fokozatosan csökken a mélyszint felé a vízbetörések nagysága is.

Székely a vízvédelemmel kapcsolatban a víz állandó emelésére gondol. Az egyes bányákat a várható vízbetöréseknek megfelelően kell ellátni szivattyúkkal.

Vajjon megtudhatjuk-e állapítani a várható vízbetörés nagyságát? Az egyes bányákat szokás szerint 30—40 m<sup>3</sup>/perc teljesítményű vízemelőállomással látják el. Ennek dacára mégis megbénult és a termelésből kiesett több bánya, mert az aránylag magas szinteken (+28,+112) bekövetkezett vízbetörés elérte a 80—100 000 liter/min-t is. A szivattyúkkal nem tudták kiemelni a betört vízmennyiséget és a bányát csak előzetes cementálás után lehetett újból vízteleníteni.

A karsztüregek vizsgálatát a mélyebb szinteken való bányászkodás érdekében elsőrendű feladatnak és kötelességnek tartja.

Indítványozza, hogy a BEM rendelje el, hogy minden egyes fúrólukat, amely a veszélyes karsztvízszint alatt üti meg az alaphegységet, legalább 30 métert rotációs eljárással, magvétellel fúrjanak bele, hogy a karsztosodás jelenségeit és a karsztüregek kitöltődését tanulmányozni lehessen.

Ajtay előadásából kitűnt, hogy számtalan lemélyített fúrólukból vett alaphegység-anyagot vizsgálva, azt dachsteini mészkőnek tartja, mivel sósavra pezseg és feloldódik.

Vigh Ferenc előadásához, ki az ajkai szénmedence karsztvíznívójával foglalkozik, egy adattal kíván szolgálni. Padragon lemélyített fúrólukból azt állapították meg, hogy az eocén mészkő víznívója + 200, míg az alaphegységből eredő víz nyugalmi szintje + 116-os szinten van. Fúrás alkalmával a dolo-

mitot elérve, tökéletes zárócsövet készítettek, cementbe ágyazva és a cement megkötése után fúrtak tovább, hogy pontos vízszintet mérhessenek. A bányá 5 m<sup>3</sup>/perc vízbetörést szenvedett. A bányába betört víz hőfokát összehasonlította az eocén mészkőből fakadó víz hőfokával. Az eocén mészkőből fakadó víz hőfokát 11 C°-ban mérte, míg a bányában folyó 5 m<sup>3</sup> feküvíz hőfoka 10 C° volt. Ebből azt következteti, hogy a bányába betört víz is vető mentén az eocén mészkőből ered.

Több előadó a preventív védekezésre hívta fel a figyelmet. Preventív védekezésnek tekinthető, ha a szénkutatásra telepített fúrólyukakat is lefúrjuk az alaphegységbe legalább 30 méterig és ha alkalmas tömítésre, úgy a karsztüregeket becementáljuk, preventíve kitöltjük. Egy-egy feltárandó szénbánya területére rendkívül sok fúrólyukra lenne szükség preventív védekezés céljából, ami óriási költséget jelentene és emellett a tapasztalat szerint nem hozna megnyugtatót.

Preventív védekezés egyik módja lenne, ha az alaphegységben kihajtott vágatok által feltárt karsztüregeket eltömítenénk. Ezen karsztüregekben levő víznívó egyes vízbetöréscske erősen reagál és az összefüggés ragy távolságokra kimutatható. A karsztüregek eltömítésére a közelben található löszanyagot tartja megfelelőnek, melyhez kezdetben cementet nem adagolnának, csak akkor, amikor azok a telítés végét jelezték. (Nyelőképesség csökkenés.) Ezzel a gondolat-tal már Schmidt Sándor is foglalkozott, de abban az időben a bányák a Salgótarjáni Kőszénbánya és a Magyar Ált. Szénbánya tulajdonát képezték. A két tőkés vállalat érdekei miatt, kivitelezésre nem kerülhetett sor.

Ma, amikor a bányák az állam tulajdonát képezik, ezen eljárás keresztül-vihető volna és minden valószínűség szerint sok újabb vízbetörés elejét vehetné és a jövő bányászokozás biztonságát fokozná.

#### VIGH FERENC

Tisztázni kívánja az Albel és Székely által felvetett problémákat. Igazat ad Székelynek abban, hogy a VI-os aknai kaverna esetét nem szabad kiszűrni, mert az helytelen következtetésre vezetne. A VI-os aknai kaverna a — 210-m-es szinten van, tehát már az Albel szerint veszélytelennek tekintett — 200-as szint alatt és mégis 225 000 m<sup>3</sup> homokot nyelt el. Ez volt a legnagyobb kaverna a dorogi medencében, melyet már emiatt sem szabad az elbírálásnál kiszűrni, legfeljebb rendkívüli esetnek lehetne minősíteni, amely még magyarázatra szorul. Erre a hegyszerkezeti vizsgálatok meg is adták a magyarázatot. A hegyszerkezeti vizsgálatok folyamán ugyanis megállapítható volt, hogy a VI-os akna területe a legkésőbbben süllyedt le az egész medencében, tehát a leghosszabb ideig volt kitéve a karsztosodásnak. Így érthető, hogy ezen a területen a le-süllyedés után is hatalmas karsztüregek fordulnak elő a nagy mélység ellenére. A földtani és szerkezeti viszonyok vizsgálata tehát megadta erre az esetre a magyarázatot, a gyakorlati bányászt azonban ezen túlmenően az is érdekli, hogy előfordulhat-e hasonló eset a még feltárására váró területen. Erre azonban határozott választ adni nem lehet, tehát továbbra is fennmarad egy bizonytalan-sági faktor, mely a felelősséget viselő tervező mérnököt az elméletek helyt-állóságával szemben bizonyos mértékig kételkedővé teszi. Ahhoz, hogy a kérdésre az egész medencére vonatkozóan feleletet adhassunk, előbb az eredeti földtani helyzetet kellene rekonstruálni, vagyis megállapítani azt, hogy mely részek voltak valamikor magasan és mikor, milyen sorrendben süllyedtek a mélybe,

mert csak annak ismeretében lehetne következtetni arra, hogy hol számíthatunk még ilyen nagy kavernákra. Megfelelő támpontok hiányában azonban ezt ma már nem lehet még megközelítő pontossággal sem megállapítani. A vízjáratok hálózata egyébként is annyira bonyolult, hogy ebben a tekintetben teljes határozottsággal állást foglalni tulajdonképpen nem is lehet. Érthető tehát Székely álláspontja: kinek felelősség mellett kell az aknákat telepítenie, hogy Albel következtetéseit nem fogadja el minden fenntartás nélkül.

Másrészt Albel vizsgálatainak eredményét is helytállóan kell minősítenünk, mert a fúrási magokon szépen látható, hogy a karsztosodás a nagy mélységben is végbement, azonban a repedéseket és üregeket utólag agyag töltötte ki, vagyis az említett feltöltődési folyamat valóban végbement. Az sem kétséges, hogy magasabb szinteken nagyobb vízbetörések voltak, mint a mélyebb szinteken. A víznívó közelében ugyanis a karsztosodás nagyobb mérvű, mert hosszabb ideig volt az áramló víznek kitéve. Mindezekből azonban nem szabad olyan határozott következtetést levonni, hogy a mélyebb szinteken a karsztvízveszély kisebb lesz, mert ott viszont a hidrosztatikai nyomás nagyobb. Ehelyett inkább úgy fogalmazná meg, hogy: a nagy mélységben általában kisebbmérvű karsztosodással lehet számolni, mint a magasabb szinteken és a karsztüregek is részben feltöltődtek.

Érthető tehát, hogy Székely nem fogadja el minden fenntartás nélkül, hogy a — 200-as szint alatt nem lehet nagyobb vízbetörésekre számítani, viszont Albelnek is igaza van, hogy a mélyebb szinteken általában a karsztosodás kisebb mérvű és részleges feltöltődési folyamat is végbement. Ezek szerint a következtetést, mint kedvező valószínűséget általában elfogadhatjuk, ami mélyművelés szempontjából magában véve is nagyjelentőségű megállapítás, de nem mondhatjuk ki teljes határozottsággal, hogy a — 200-as szint alatt nagyobb vízbetöréssel már nem kell számolni. Albel megfigyelései alapján mindenesetre megállapíthatjuk, hogy a karsztosodás mélységbeli változásának vizsgálatával továbbra is behatóan kell foglalkozni.

Albelnek a padragi karsztvízszintre vonatkozó hozzászólásával nem érttek mindenben egyet. Véleményem szerint Padragon a triász dolomit karsztvízszintje még nincs megállapítva, mert a + 116 m-es szintet nem fogadhatjuk el nyugalmi karsztvízszintnek. A mért + 116 m-es szinttel tulajdonképpen nem a valódi nyugalmi szintet állapították meg, hanem a csapolt vízszintet. A betört víz ugyanis állandóan áramlik, depressziós tér létesül és a betörésre telepített fúrólukban nem a nyugalmi, hanem a csapolt karsztvízszintet, tehát a depressziós tölcserben levő mélyebb szintet mérték. Ezzel az egy fúrással különben sem tekinthetjük megoldottnak a kérdést, mert a nyugalmi karsztvízszint megállapításához több fúrássra van szükség, emellett minden esetben gondoskodni kell az eocén mészkő vizének megbízható, tökéletes kizárásáról. Az ajkai medencében tehát a kérdést még nem tekinthetjük megoldottnak, és a folyamatban levő és a jövőben mélyítendő fúrásoknál éppen ezért nagy súlyt kell helyezni arra, hogy az alaphegység karsztvízszintjét a felső vizek kizárásával pontosan megállapítsák.

VENKOVICS ISTVÁN

Megkapónak találta azt a kezdeményezést, amivel Schmidt S. a vízkérdésekhez nyúlt. Mint Schmidt előadásából kitűnt, sokszor téves következtetéseket vont le, a nem egészen pontosan alkalmazott Grund-képlet miatt. Ennek ellenére

nem hagyta fel a munkát és a ma alkalmazott cementálási eljárásoknak Magyarországon úttörőjévé vált. Mellette dolgozott Albel, aki átvette és folytatta munkamódszerét. Ugyanolyan állhatatosan és bátor kézzel nyúlt a karsztvíz-problémához. Albel begyűjtött adatai egy terület problémáin túlnőnek. Természetes, hogy ezek lokálisan előadódó, ettől az elképzeléstől eltérő adatok is lesznek, de földtanilag az Albel-féle elgondolás teljesen helytálló. A barlangkutatók szempontjából is igen fontosnak tartja ezeket a megállapításokat. A Mecsekben is látunk olyan kitöltéseket, ahol a régi karsztos üregek el vannak tömve. Közli, hogy a geológusok egyetértéssel vannak Albel kezdeményezésével. A padragi 61-es cementáló fúrással kapcsolatban csatlakozik Vigh megállapításához, hogy ott a bányaművelés által előidézett, különleges esettel állunk szemben. A vízszintek rögzítésében nagyon jelentős a padragi aknatengely fúrás, mely az alaphegységig fog lemenni. Figyelemmel kell kísérni a mezozoós alaphegységben levő vízszintet. Az ajkai erőmű fúrása 170 m, a deákhegyi bauxitbányában megütött nyugalmi vízszint 179 m, és a Tapolca—Sümegeg közötti műútnál a raibli-dolomitba mélyített kút vízszintje 160 m körül áll. Kéri az új fúrások ellenőrzését, hogy a szakember által ellenőrzött és valószínűen kizárt fedővizek után a mezozoós alaphegység nyugalmi vízszintje biztosan megállapítható legyen.

#### SCHMIDT SÁNDOR

Rövid felvilágosítást ad a 230 000 m<sup>3</sup> homokot elnyelt VI-os aknai fúrólukra vonatkozóan. Mikor befúrtak az alaphegységbe csupán 2 liter öblítővíz veszett el a fúrólukból. Ekkor beöntöttek 23 ballon sósavat. A fúrólukból hirtelen lement a víz és utána folyamatosan elnyelte a 230 000 m<sup>3</sup> homokot. A fúróluktól 1100 m-re kaptak 1 m vastag cementes anyagot, amelyet a 230 000 m<sup>3</sup>-t elnyelt fúrólukba öntöttek eredetileg. Lehet, hogy km-ekre volt annak kihatása. Ott kellett volna anketot összehívni, mert a helyszínen esetleg az egész medencére kiható megállapításokat lehetett volna tenni.

#### RENNER JÁNOS

Kántás előadásához fűzi megjegyzéseit. Jó összefoglalásban hallottuk, hogyan lehet segítséget nyújtani geofizikai módszerekkel a kérdések megoldásához. Hozzáteszi, hogy a karsztvízkérdésben geofizikai vonalon kísérletezések folynak. Nagyon indokolt, hogy latbavessék a konkrét segítségnyújtást, részben felszíni, részben bányában végzendő kutatások terén. Szükségesnek tartja a munka helyes megszervezése szempontjából az ütemezést az egyes szervek között. A soproni geofizikai munkaközösség arra gondol, hogy a bányában próbálkozik bizonyos geofizikai módszerekkel, a Geofizikai Intézet pedig a felszíni kutatással foglalkozik. A felszínen a szeizmikus és a geoelektromos módszer alkalmazását látja helyesnek. A szeizmikus kutatás terén eddig elért eredmények nem voltak biztatók. A Geofizikai Intézet maga készített olyan berendezést, amellyel nagyobb sikerrel kísérlelhető meg ez a munka. Tudja, hogy itt sok nehézség fog felmerülni nemcsak műszertechnikai, hanem egyéb vonalon is. A terjedési sebességben nem várhatunk nagy különbségeket, ez pedig a szeizmikus módszer sikeres alkalmazásának fontos feltétele. Összefoglalva az eddig elmondottakat, még egyszer megállapítja, hogy a munka megosztását igen fontosnak tartja és reméli, hogy ez a határozatban is kifejezésre fog jutni.

## STEGENA LAJOS

Ha a dolomit fölött laza, üledékes réteg van és reflexiót kell kimutatni, — ezt a szeizmika meg tudja oldani. Valószínűleg azonban nemcsak ilyen egyszerű problémákat nyújt a karsztvízkutatás, hanem komplikáltabbakat is. Ezért Kántás újabb geofizikus módszereket vet fel, amelyekkel közelebb lehet jutni a problémák megoldásához. Egyed szerint sem a reflexiós, sem a refrakciós szeizmikus módszerek nem bízhatnak eredménnyel. Ez igaz is, csupán a direkt-hullámok észlelése ígér némi eredményt. A bányában végzendő szeizmikánál 0—360°-ig mindenféle emergencia szögű hullám előfordul. Két utat tartok járhatóknak; accelero-méterek beállítását, vagy egyszerre horizontális és vertikális szeizmométerek alkalmazását, amelyekkel mindjárt az emergencia szöget is meg tudnánk állapítani.

Egy másik módszer a termális módszer. A Geofizikai Intézetben már konkrétan foglalkozunk ezzel a módszerrel, amely újabban mindig nagyobb jelentőségre tesz szert. — Nem tudom, hogy Czebertowicz kísérleteiről esett-e szó. Ez a vízkizárási problémákkal foglalkozik a mélyépítés területén. A vízűveg kataforetikus effektusát használja tömítésre. Úgy gondolom, hogy talán a karsztvíz-problémánál is lehetne ezt a módszert alkalmazni.

## VIGH FERENC

Stegena hozzászólására válaszol. A Czebertowicz-eljárás vízdús, laza kőzetek, mint úszóhomok, vízdús agyag stb. szilárdítására alkalmas. Az elektromos áram ozmotikus hatására a pórúsvíz a katódok felé vándorol és helyét az anódokba beadagolt vegyszerek foglalják el, melyek reakciója gélképződéssel jár és ez idézi elő a szemek összekötését és végeredményben a laza kőzetek szilárdítását. Az eljárás repedezett és karsztosodott kőzetek tömítésére és megkötésére nem alkalmas, mert az üregeket először homokkal kellene feltölteni és csak azután lehetne azt szilárdítani, ami nagyon körülményes, hosszadalmas és igen költséges művelet lenne. Czebertowicz professzor is úgy nyilatkozott, hogy az eljárást repedezett kőzetekre nem tartja alkalmasnak. A repedezett és karsztosodott kőzetek viszont cementálásra kiválóan alkalmasak, a megoldást tehát ezen a vonalon kell keresni, illetőleg azt kell tökéletesíteni, ehhez pedig geofizikai támogatásra van szükség, a preventív cementálás mielőbbi bevezetése érdekében. A karsztvízveszély elleni védekezés tökéletesítése tehát első-sorban geofizikai támogatást igényel, ezért, ha eredményt akarunk elérni a geofizikának intenzíven be kell kapcsolódnia a karsztvízveszély elleni védekezésbe.

## ALBEL FERENC

Felhívja a figyelmet arra, hogy a dorogi szénbányászattal kapcsolatban ma már az emelt vízmennyiség olyan hatalmas méreteket öltött, hogy szénbányászatomk rentabilitása határán áll. Konkrét adatokat szolgáltat: feldolgozta az emelt vízmennyiségeket különböző szinteken. Pl. a 120 és 125-ös szinten +100 és +75, +75 és +50 szintek között több, mint 70%-ot emelnek. Mélyebb szinteket vizsgálva megállapítható, hogy azok kevesebb vizet emelnek (kimutatást olvas fel). Látható, hogy minél mélyebbről emeljük a vizet, annál kisebb mennyiséggel állunk szemben. Ma a vízelzárásokkal kapcsolatban azt mondhatjuk, hogy cementálással szinte nem foglalkozunk. Ez a helyzet magától nem fog javulni, csak újabb cementáló fúrások telepítésével érhető el eredmény.

VENDEL MIKLÓS elnök

Összefoglalja a főbb eredményeket és a követendő szempontokat. A karsztvízveszély leküzdésében legfontosabbnak tartja az ellenség ismeretét. Ismerni kell a karsztvíz fiziográfiáját. A legutóbbi időkig igen fontos kérdésekben is, mint amilyen az egységes vagy nem egységes karsztvíz, illetve szint kérdése, eltért a kutatók véleménye. E téren azonban, úgy látszik, közeledtek a felfogások egymáshoz, s valószínűleg egyben a valósághoz is. Az uralkodóan egységes karsztvíz mellett többé-kevésbé elkülönült vízemelet bizonyos esetekben való megjelenése is általánosan elfogadottá vált. *Horusitzky Ferenc* erre vonatkozó felfogása nagy mértékben valószínűsödött, ezt *Szádeczky-Kardoss Elemér* is elfogadhatónak jelölte meg, s *Venkovits* is alátámasztotta. Hidrológiai vonalon a karsztvízfogalom is jobban tisztázódott. Kiemeli *Szádeczky-Kardoss Elemér*nek a tengeri karszt fogalmának a bevezetését és ezzel kapcsolatos geokémiai megfontolásait, amelyeknek más téren, a bauxit és mangánércletelepek képződési és előfordulási viszonyainak tisztázásában is haszna mutatkozhatik. *Szádeczky-Kardoss Elemér* elsőnek vezette be a hidroizohipszás karsztvíztérképet, amelyet *Kassai Ferenc* azután részletesebben kidolgozott. A térkép további részletezése kívánatos. Ezen a karsztvízemeletek már külön lennének ábrázolandók. Különösen karsztvízveszélyes bányáink területén kell nagyon gondosan kidolgozni ezeket a szintviszonyokat ábrázoló térképeket. Igen érdekes volt *Horusitzky Ferenc*nek a karsztvízprofilok parabolikus szintjéről adott magyarázata. E kérdés további vizsgálata is kívánatos. Hidrológiai vonalon *Papp Ferenc* és *Venkovits István* megállapítását, mely szerint a különböző karsztvizek vegyi összetételében nem egyszer komoly eltérések figyelhetők meg, is igen fontosnak tartja. Hajlamosak voltunk a karsztvizek összetételét egyveretűnek tekinteni. Ezt a kérdést érdemesnek tartja tovább vizsgálni. Igen kívánatosnak véli azt is, hogy a kutatók a korszak és a térszín magasságát pontosabban jelöljék meg. A karsztvízszinttel kapcsolatban hallottuk, hogy *Egyed László* a Szárhegyen elektromos ellenállásméréssel ki tudta mutatni a karsztvízszintet. Ezzel kapcsolatban kiegészíthetjük megfigyelését azzal, hogy a MASZOBAL-nak a keretében és a soproni munkaközösség támogatásával végzett bauxit-kutatási vizsgálatainak összes görbéiben a karsztvízszint magassága pontosan érzékelhető volt. A karsztvízszint kérdéséhez kapcsolódik részben *Kassai Ferenc* ama helyes véleménye, hogy karsztvíz-regisztráló állomások kívánatosak és azok nyugodt, pontos és folyamatos munkája feltétlenül biztosítandó. Egyik régebbi munkájában nevezett egyébként már rámutatott arra, hogy mit tart szükségesnek a regisztrálásban (szint, hőmérséklet, íz, szag).

A mérési pontok pontos egyeztetésére bár már többször is nyomatékosan rámutattak, ennek ellenére a tapasztalat mégis az, hogy az egyes bányaterületeken igen nagy eltérések vannak az egyes mérési bázisok magassága között, úgy, hogy ezen a téren ezt az anarchiát meg kell szüntetni. Különösen *Tárczy-Hornoch Antal* szorgalmazta e komoly zavarokat keltő hiba kiküszöbölését. Ily módon remélhető lesz az, hogy a karsztvízszint-mérésekben a mainál sokkal nagyobb pontosságot érjenek el. *Székely Lajos* rámutat arra, hogy a karsztvízszintek mérésében az időben előálló változások miatt a mérés időpontja is figyelembe veendő. Ez lényeges, s mivel további kérdésekre is kihat, azért a jövőben tényleg szem előtt kell tartani. *Bendefy László* hozzászólását már érintette, sőt talán el is intézte.

Mind hidrológiai, mind pedig a bányászati vízvédő szemponyjából érdekes volt az ankét anyagában a dolomit szerepe. *Papp Ferenc* szerint lehetnek



a dolomitban komolyabb nyílt járatok, ezzel szemben a bányászok megfigyelése arra mutat, hogy a dolomit karsztosodásra kevésbé hajlamos, mint a dachsteini mészkő, ezért abban nagyméretű hasadékokkal, járatokkal és ebből kifolyólag katasztrófálisan nagy vízbetörésekkel nem kell számolnunk. A két felfogás vagy tapasztalat közt mutatkozó ellentmondás oka talán az, amire *Venkovits* is rámutatott, hogy figyelembe kell venni a sokféle dolomit különböző sajátosságait. Az egyik dolomit hajlamosabb lehet a karsztosodásra, mint a másik.

Pontos geomechanikai ismeretek is fontosak a karsztvízvédelemben, amennyiben segítségül vannak a karsztvízbetörések várható helyének meghatározásában. A vízbetörések ugyanis legtöbbször vetők, vagy vetősávok mentén következnek be. A tektonikának geomechanikai értékelése, hogy mennyire fontos, kiderült a *Schmidt Elégiusz* adta szintézisből. Geomechanikán alapuló megállapításait a kérdések további értékelésében elfogadhatjuk, kiegészítve azokkal a kívánalmakkal, amelyeket a horizontális mozgások figyelembevételével és tágulási szétválásokkal kapcsolatban hangoztatott. A tektonikai bányatérképek készítésével kapcsolatban kiemeli *Szentes Ferenc* munkásságát, aki a Bányászati Kutató Intézettel együttműködve már eddig is hasznos munkát végzett.

Bányászati vonalon a preventív védelem minél tökéletesebb kiépítését tartja kívánatosnak. *Vigh Ferenc* bemutatta a közvetett és közvetlen védelem terén eddig elért újabb eredményeket, a multról pedig *Schmidt Sándor* adott tanulságos összefoglalást. A hegyszerkezeti viszonyokat, s a védőréteg vastagságát feltűntető térképek hasznosnak bizonyultak. Ezek gondosan tovább vezetendők, mert amint *Vigh Ferenc* előadásából hallottuk, a vetők sávjai és a vékony vagy hiányzó védőrétegű részek a vízbetörés szempontjából a legveszélyesebbek. Ide kapcsolódik a geofizika segítsége. A vetők helyének, továbbá az alaphegység domborzatának megállapításával lehet főleg kevésbé ismert terület szerkezeti viszonyainak kidolgozásában a geofizikus komolyan a tektonikus segítségére, de ezenkívül a művelés során a közvetlen vízveszély kipuhatolásában is remélhető eredmény. *Kántás Károly* előadásából kiderül, hogy igen nagy nehézségekre számíthatunk a módszerek kidolgozása terén, de remény van eredmények elérésére, s ezért a kísérleteket mielőbb el kell végezni.

A közvetlen védelem eddigi leghatásosabb módja, úgy látszik, a *Schmidt Sándor* kezdeményezésére bevezetett cementáció. Gondol itt a dachsteini mészkő, valamint a dolomitok kisebb vízjárataiból adódó ama eljárások kidolgozására, amelyekre *Ajtay Zoltán* és *Kálmán Miksa* beszámolóit mutattak rá. Öröndetes tudomásul szolgál *Székely Lajos* eredményei alapján, hogy védőréteg nélküli szénterületek szénvagyonának lefejtése lehetséges kisebb mélységekben. *Albel Ferenc* ama elgondolása, illetve megfigyelése, hogy nagyobb mélységben a természetes eltömődés csökkenti a karsztvízveszélyt, igen érdekes, s tisztázása a szükségképpen mind nagyobb mélységre kényszerülő bányászat jövőjének megítélése miatt szerfelett kívánatos.

A vitáról megállapítja, hogy a kérdések tisztázásának előbbrevitelében eredményeket értek el. Összegezve az ankét és vita eredményeit, kívánatos, hogy az itt elhangzottak alapján kialakult tennivalók minél előbb megvalósuljanak. Arra kell törekedni, hogy ezekből az elgondolásokból mielőbb valóság legyen. Ehhez azonban nem elég csupán a mi elszánásunk, hanem Kormányzatunk segítségére is szükség van, mert nagyon nehéz és szerteágazó az elénk táruló feladat s bár ennek tökéletes, teljesen biztonságos megoldását szinte aligha

remélhetjük, de jó munkával mindamellettt valószínűleg mégiscsak megközelíthetjük. Éppen ezért úgy gondolja, hasznos lenne a kívánságokat határozati javaslatba foglalni és azt átnyújtani az Akadémiának azzal a kéréssel, hogy a benne foglaltak mielőbbi megvalósítása céljából haladéktalanul tegye meg a szükséges lépéseket. Fel kívánja olvasni a határozati javaslatot (kiegészítve azt *Papp Ferenc* és *Kessler Hubert* hozzászólásaiból adódó pótlásokkal), amelyet elfogadás után az Akadémia elé óhajt terjeszteni, illetékes szervekhez való továbbítás céljából.



## HATÁROZATI JAVASLAT

1. A BEM Földtani Főosztálya rendelkezzeék, hogy a trösztök körzet-geológusai haladéktalanul kapcsolódjanak be a karsztvízregisztráló és a védekezéssel kapcsolatos kutatómunkába, együttműködve a Bányászati Kutató Intézetel. Rendszeresen ellenőrizzeék a bányá által felvett karsztvízdiagrammot, állapítsák meg és külön naplóban vezessék a szintváltozások okát és annak magyarázatát. Hegyszerkezeti megfigyeléseket végezzenek és ahol már megtörtént a hegyszerkezet felvétele, ott kiegészítő megfigyeléseket és kiigazításokat végezzenek az időközben lemélyített fúrások adatai alapján.

2. A Földtani Intézet alakítson egy karsztvízcsoportot, amelynek főfeladata a védelem szempontjából szükséges hidrológiai és tektonikai ismeretek fejlesztése, szoros együttműködésben a Bányászati Kutató Intézet Bányavízvédelmi Osztályával. Az egyes szénmedencék hidrológiai, hegyszerkezeti és védőréteg viszonyainak felvételéhez az Intézet esetenként tektonikus geológust jelöljön ki a Bányászati Kutató Intézet által szervezett munkaközösségbe. Ha e célra a körzet-geológust jelöli, úgy egy segédgeológus beosztásával gondoskodjék a körzet-geológus tehermentesítéséről.

3. A karsztvízkutatás eredményesebbé tétele érdekében szükséges, hogy a feladat három részre tagoltassék :

- a) Bányavízvédelmi
- b) Víznyerési és
- c) Balneológiai részre.

Fenti feladatokkal foglalkozó intézmények kutatásaikat a céljuknak megfelelően végezzék, azonban egymással szoros kapcsolatot tartsanak fenn és kutatási eredményeiket egymással rendszeresen cseréljék ki. A káderszükséglet és anyagi fedezet biztosításáról az illetékes főhatóságok gondoskodjanak.

A kutatással kapcsolatos részletkérdések megállapítását és koordinálását az Akadémiai Karsztvíz Bizottság az ankét kiértékelésével kapcsolatban végezze el. Ennek alapján a három tagozat haladéktalanul készítse el külön-külön a kutatási tématervét, felelősök és határidők megjelölésével.

A karsztvízkonferencia egyöntetű véleménye szerint a védekezés tökéletesítése érdekében a súlypontot a jövőben a preventív cementálásra kell áthelyezni. A preventív cementálás alapját a hegyszerkezeti térképek képezik,

melyek az alaphegység szerkezetét és az uralkodó vetőrendszereket tüntetik fel. A hegyszerkezeti térképeken vannak azonban feltételezett vetők is, melyek helyzetét még szeizmikus mérésekkel kell pontosan megállapítani, hogy a preventív cementálás a biztos alapot ne nélkülözze. A preventív cementálás mielőbbi bevezetése érdekében tehát elengedhetetlenül szükséges, hogy a Geofizikai Intézet a karsztvízveszély elleni védekezésbe intenzíven bekapcsolódjék és a feltételezett vetőket szeizmikus mérésekkel ellenőrizze, esetleg a szükséghez képest gravitációs és elektromos eljárással is kísérletezzon. A BÉM Földtani Főosztálya intézkedjék tehát, hogy a Geofizikai Intézet a kísérleti méréseket mielőbb megkezdje. A soproni geofizikai munkaközösség a kisvetők földalatti megállapításával és a karsztvíz elektromos eljárással való közvetlen meghatározásával kísérletezzék. Különösen a mélyítés alatt álló aknák területén kell a geofizikai méréseket mielőbb elvégezni, hogy a feltárások tervezésénél pontos adatok álljanak rendelkezésre és a veszélyes szelvényeket preventív becementálhassák. E célból a BEM Szénbányászati Főosztálya rendeletet adjon ki a feltétlenül szükséges preventív cementálások elvégzésére és a szükséges hitelkeret biztosítására vonatkozóan. A Bányászati Kutató Intézet pedig vegye programjába karsztvízveszélyes területeken a mélyfúrások geofizikai szelvényezését is, mert ezáltal a vetők meghatározása pontosabban eszközölhető.

5. A nagy üzemkoncentrációt biztosító, széles homlokú, omlasztásos fejtési rendszer előfeltételeinek biztosítása céljából elvégzendő a Dunántúli Középhegység egyes bányavidékein a fedüvizek lecsapolási kérdésének egyes összetételű munkaközösségekben való vizsgálata, elsősorban az ajkai medencében Padragon, majd a szükséghez képest más bányavidéken is. A vegyes bizottság tagjait a Karsztvíz Bizottság legközelebbi ülésén máj jelölje ki.

6. A preventív védekezés érdekében lényegesen fokozandó a fúrási tevékenység, valamint a Bányászati Mélyfúrási Tröszt kapacitása mind mennyiségi, mind minőségi vonalon. E célból a BEM tegye meg a szükséges intézkedéseket és a költségvetésben megfelelő fedezetről gondoskodik.

7. A kutatómunka biztosítása, de különösen annak fejlesztése érdekében elengedhetetlenül szükséges a Bányászati Kutató Intézet Bányavízvédelmi Osztályának kiegészítése nagy gyakorlattal és különleges felkészültséggel rendelkező szakkaderekkel. A szakkaderek felkutatása a Bányászati Kutató Intézet feladata, az igényelt káderek áthelyezéséről a BEM gondoskodik.

8. A tudományos kutatás és a gyakorlatban felmerülő szükségletek összehangolása céljából szükséges, hogy a BEM Szénbányászati, Színes fémipari, Ércbányászati és Vegyesbányászati Főosztályai egy-egy személyt jelöljenek ki, akik az Akadémia Karsztvíz Bizottságával a kapcsolatot fenntartják.

*Elnök* : Megköszöni a résztvevőknek, előadóknak, hozzászólóknak lelkes munkáját, amiről itt tanubizonyságot tettek és azzal az óhajjal zárja be az ankétot, hogy amit itt megbeszéltek, az rövidesen valóság legyen.

Ankét a határozati javaslatot egyhangúan elfogadja.





TARTALOMJEGYZÉK

Elnöki megnyitó .....	1
Hevesi Gyula és Vendel Miklós bevezetője .....	1
<i>Előadások :</i>	
<i>Szádeczky-Kardoss Elemér</i> : Karsztvíztérkép-problémák és karszttípusok .....	3
<i>Horusitzky Ferenc</i> : A karsztvíz elhelyezkedése a Kárpát-medencében .....	9
<i>Papp Ferenc</i> : A karsztvizek mennyiségi és minőségi viszonyairól .....	17
<i>Venkovits István</i> : Újabb megfigyelések a karsztvízkérdéssel kapcsolatban .....	25
<i>Vigh Ferenc</i> : A karsztvíz elleni védekezés jelenlegi állása és megoldásra váró problémái .....	29
<i>Schmidt-Elégiusz Róbert</i> : Karsztvízjáratok kialakulásának geomechanikája .....	37
<i>Ajtay Zoltán</i> : A triász-dolomit hidrológiai viszonyai, különös tekintettel a víznyelésre és vízleadásra .....	43
<i>Kálmán Miksa</i> : Karsztvízbetörés elzárása dolomit-alapkőzet esetében .....	51
<i>Székely Lajos</i> : A karsztvízveszély elleni védekezés védőréteg nélküli területen ..	61
<i>Kassai Ferenc</i> : Karsztvíznívó jelentősége és az ezzel kapcsolatos problémák .....	67
<i>Kántás Károly</i> : A karsztvíz kimutatására alkalmazható geofizikai eljárások ....	77
<i>Schmidt Sándor</i> : A karsztvízkérdés története és a leküzdésére vonatkozó munka a felszabadulásig .....	83
A karsztvízkonferencia vitája .....	91
Határozati javaslat .....	111

A MAGYAR  
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK  
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI  
HEVESI GYULA

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA 1952 MÁJUS 30-I NAGYGYŰLÉSÉN  
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA RENDEZÉSÉBEN TARTOTT  
ELŐADÁSSOROZAT ANYAGA

VIII. KÖTET

2. SZÁM



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
BUDAPEST, 1953

VI OSZT. KÖZL.

A  
MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK  
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI  
HEVESI GYULA  
VIII. KÖTET 2. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG : BUDAPEST V., NÁDOR-UTCA 12.  
KIADÓHIVATAL : BUDAPEST V. ALKOTMÁNY-UTCA 21.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei változó terjedelmű füzetekben jelennek meg. Négy füzet alkot egy kötetet. Évenként általában egy kötet jelenik meg.

Kéziratok a következő címre küldendők :

Magyar Tudományos Akadémia  
Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei  
Budapest, V., Nádor-u. 12.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Minden szerzőt száz különlenyomat illet meg megjelent munkájáért. Közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttat a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért, vagy továbbításáért nem vállal.

A Közlemények előfizetési ára kötetenként belföldi címre 40 forint külföldi címre 60 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest, V., Alkotmány-u. 21. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám : 04-878-111-48), külföldi megrendelések a »Kultúra« Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest, VI., Sztálin út 21. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám : 45-790-057-50-032) útján eszközölhetők.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának kiadványa az

**Acta Technica**

című idegennyelvű folyóirat.

E lap hivatott a magyar műszaki tudományok eredményeinek legjavát a külföld felé tolmácsolni. A cikkek orosz, német, angol vagy francia nyelven jelennek meg lehetőleg a szerző kívánsága szerint, összefoglaló pedig a cikk nyelvén és azonkívül a másik három nyelven. Cikkeket magyar, vagy a szerző választotta idegen nyelven a következő címre kell beküldeni :

Acta Technica szerkesztősége Budapest, V., Nádor-utca 12.

# NAGYVASUTAK 50 PERIÓDUSÚ VILLAMOSÍTÁSA ÉS A PERIÓDUSVÁLTÓS RENDSZER\*

RATKOVSKY FERENC

levelező tag, a műszaki tudományok doktora

A nagyvasutak villamosítása a népek gazdasági fejlődésének következtében mind nagyobb és nagyobb jelentőségre tett szert, ami már napjainkban is az egyik legfontosabb népgazdasági kérdéssé fejlődött, és annak az elkövetkező legközelebbi években további fejlődése várható.

Az 50 periódusú villamosításnak és fejlődésnek részletesebb ismertetése és vizsgálata különösen időszerű, mert egyrészt a franciaországi kísérletek és a közeljövőre vonatkozó nagyszabású tervek végre világviszonylatban is az érdeklődés középpontjába állították az 50 periódusú villamosítás kérdését, másrészt a magyar kormánynek az újabb próbamozdonyok eredményei alapján döntenie kell abban, hogy az 50 periódusú vasútvillamosításnak már 1948-ban elhatározott nagymértékű továbbfejlesztése — melynek munkálatai folyamatban is vannak — milyen ütemben haladjon az elkövetkező években tovább. Tekintve, hogy a vasútvillamosítás népgazdasági szempontból természetesen más országokat illetően is hasonlóképpen fontos, az 50 periódusú járművek gyártásának kérdése a magyarországi szükségleten túlmenőleg, annál lényegesen nagyobb keretben is döntő jelentőségű.

Megemlítendő, hogy véletlen időszerűséget ad még a kérdés napirendre tűzésének az is, hogy 1952-ben volt éppen 50 éve annak, hogy a világon az első nagyfeszültségű villamosított nagyvasút üzembe került. Nem hagyható szó nélkül ezzel kapcsolatban azonban az, hogy miként a nagyvasutak 50 periódusú villamosításával Magyarország elsőnek indult el a helyes irányban, úgy az említett, éppen 50 évvel ezelőtt a világon elsőnek megépült és megindult nagyfeszültségű nagyvasúti villamosítás ugyancsak magyarországi tervek szerint készült, magyar gyártmányú mozdonyokkal.

A vasútvillamosítás általános gazdasági vonatkozásaival a következőkben nem kívánunk foglalkozni, csak jellemzésül mutatunk rá, hogy, mint ismeretes, egyéb számottevő előnyeik kívül a villamos üzem lehetővé teszi *a pályának számottevően nagyobb forgalommal való kihasználását*, csökkentve ezáltal a növekvő forgalom lebonyolításához szükséges pályabővítés beruházási költsé-

\* Az 1952 május 30-i ülésen elhangzott előadás kibővített szövege a szerkesztőséghez 1952 július 21-én érkezett.

geit, a vasutak szénfogyasztásában pedig *döntő mértékű szénmegtakarítást* tesz lehetővé. A szénmegtakarítás két igen fontos alakban jelentkezik. Egyrészt a szén mennyiségében, azaz az összkalória-fogyasztásban, amelyben több mint 60%-os megtakarítás mutatkozhatik, másrészt a szén minőségében, minthogy a gőzmozdonyok részére szükséges jóminőségű, nagy kalóriájú darabos-szén helyett a leggyengébb minőségű aprószén és porszén kerülhet felhasználásra. Igen jelentős előnyöket biztosít a villamosítás szociális szempontból is, pl. a füstmentesség — ami különösen nagyvárosok pályaudvaraival kapcsolatban nagyjelentőségű — továbbá a nehéz munkahelyek (bányász, fűtő) számára való megtakarítás stb. folytán.

A mondottak általában ismertek, és rövid jellemzésül csak néhány számra kívánunk rámutatni.

Egy 3200 Le-s 50 periódusú villamosmozdony súlya nem egészen 90 tonna, ugyanez a teljesítmény gőzmozdonyokban üzemanyaggal együtt több mint 300 tonna. Egy villamos mozdony — a forgalomtól és vonatsúlyoktól függően, figyelembevve az évi átlagos teljesítményeket és karbantartási időket is — az üzemben 2—3 gőzmozdonyt pótol. Egy villamosmozdony évenként kb 5000—9000 tonna 4300 kalóriás darabosszenet takarít meg, és helyette kalória értékének alig 1/3-át fogyasztja csak hulladék- és porszénből.

Nem szükséges külön rámutatni, hogy a vasúti szállítás forgalmának növelése, valamint a szénfogyasztásban elérhető minőségi és mennyiségi megtakarítás mennyire döntő jelentőségű minden iparilag rohamosan fejlődő népgazdaság életében.

Az említett nagy előnyökkel természetesen szemben van a villamosítás számottevő beruházási költsége. Az 50 periódusú rendszer döntő előnye azonban éppen az, hogy alkalmazása folytán a helyhez kötött berendezések — vasúti vezetékek, állomások és egyéb szükséges berendezések — beruházási költségeiben más rendszerekhez képest közel 40, illetve 50%-os megtakarítás válik lehetővé. Ez a nagy különbség igen számottevő tényleges megtakarításokat biztosít a beruházási költségekben és nyersanyagokban. De lehetővé teszi olyan vonalak villamosítását is, amelyeknek más rendszerrel való villamosítása gazdaságtalan lenne s melyeknél ennek következtében a villamosítás előnyeiről le kellene mondani. Fentiekkel kapcsolatban még rámutatunk arra, hogy a forgalom számára *egyenértékű* gőzüzemű, vagy bármily rendszerű villamos *járművek* eredő beruházási költségeiben számottevő különbség nincsen. Maguknak a járműveknek beruházási költségei ennél fogva sem a villamosítás, sem a a különböző villamosítási rendszerek gazdaságosságát döntően nem befolyásolják.

\*

A következőkben — minekutána a különféle rendszerek fejlődését és azok jellemzőit összehasonlítjuk — ismertetjük az 50 periódusú nagyvasúti

villamosításnak Magyarországon 1917—1923-ban, külföldön 1933—1936-ban és 1945—1951-ben megindult kísérleteit. Ezután összefoglaljuk

1. az 50 periódusú vasútvillamosítás és a Kandó-féle 50 periódusú mozdonyok legfontosabb szempontjait és a vonatkozó kísérleteket,

2. a Budapest—Hegyeshalom-i fővonal harminckét 50 periódusú mozdonyal történt villamosítását, amely *több mint két évtizeddel megelőzte az általános fejlődést és a világon az első 50 periódusú nagyvasúti fővonalvillamosítás volt.*

Részletesebben fogjuk ismertetni

I. a *periódusváltós rendszernek* és számos változatának az 1935—1938 években történt megalkotását, az egyes változatok összehasonlítását és a periódusváltós járművek legfontosabb tulajdonságait ;

II. a periódusváltós rendszer szerint megtervezett és elkészített járművek kifejlesztését és eredményeit.

III. a jövő kilátásait és a szükséges tennivalókat az 50 periódusú járművek hazai gyártásával és továbbfejlesztésével kapcsolatban ;

IV. összehasonlítjuk a magyarországi periódusváltós és a külföldi más rendszerű 50 periódusú legújabb mozdonyokat és eredményeket.

Amint már említettük, a jelen tanulmányban a már felsoroltakon túlmenően nem foglalkozunk magának a vasútvillamosításnak általános gazdaságosságával, minthogy az erre vonatkozó szempontok és eredmények általánosan ismertek.

\*

A vasútvillamosításnak csak néhány döntő fázisát említjük. Ismeretes, hogy az első általános jellegű nagyvasúti villamosítás éppen 50 évvel ezelőtt — 1902-ben — került üzembe a felsőolaszországi Valtellina vonalon. Ez a villamosítás, amelyre Dr. h. c. *Kandó Kálmán* tervei alapján a *Ganz*-gyár már 1898-ban megrendelést kapott, volt az *egész világon az első* nagyfeszültségű villamosított nagyvasúti vonal.

A Valtellina-vasút villamosítása előtt csak egy-két helyi jelentőségű rövid vonalat villamosítottak, (pl. alagútban futó szakaszt a füst kiküszöbölése végett, vagy kis teljesítményű szárnyvonalakat), amelyek feszültsége nem haladta meg a 600—750 Voltot. Ebből már magából is azonnal következik, hogy csak teljesen helyi jelentőségű, rövid szakaszok jöhettek tekintetbe.

Hosszú és nagy teljesítményű vonalakra alkalmas villamosítás az egész világon az első a Valtellina vasútnak *Kandó Kálmán* tervezte nagyfeszültségű villamosítása volt, melynek mozdonyait háromfázisú, 3 kV feszültségű, 15 periódusú áram táplálta. Az első járműveket, még pedig tíz 500 Le-s motorkocsit és ezen kívül összesen kilenc 900, 1200 és 1500 Le-s mozdonyt, a budapesti *Ganz*-gyár szállította. Később a gyártás *Kandó* vezetése alatt Olaszországban folytatódott és évente ötven 2000, majd 2800 Le-s mozdonyt is gyártottak. A villamosított vonal hossza első kivitelében 106 km volt 9 mozdonyal, amely



vonalhossz a későbbiek folyamán lényegesen kibővült. Az első világháború idején, 1915-ben már 195 mozdony, 1933-ban pedig már több mint 600 háromfázisú jármű volt üzemben. Ez nyilvánvalóan mutatja, hogy a rendszer — a technika fejlődésének akkori színvonalát figyelembe véve — valóban alkalmas volt általános nagyvasúti villamosításra.

Egyidejűleg természetesen külföldön is folytak tanulmányok és kísérletek. Így pl. az *Oerlikon*-gyár — amely a vasútak villamosításában ismételten végzett úttörő munkát — 1905-ben megépítette az első egyfázisú 15 periódusú kísérleti mozdonyt. A különböző országokban általánosan azonban csak kb. hat évvel a Valtellina vasút üzembehelyezése után, 1908 körül kezdődött a tényleges nagyvasúti villamosítás, mégpedig 16\* és 25 periódusú egyfázisú kommutátormotoros mozdonyokkal. Az Egyesült Államokban — főleg a szükséges rendkívül nagy indító vonóerők miatt — 1913 körül kifejlődött olyan megoldás is, amelyben egy, a mozdonyban elhelyezett aszinkron fázisosztó gép (anyamotor) a 25 periódusú egyfázisú áramot háromfázisúra alakítja át és a tengelyeket háromfázisú motorok hajtják.

A nagyfeszültségű egyenáramú rendszer nagyvasutak terén 1915-ben indult komolyabb fejlődésnek, általában 3 kV, illetve egyes országokban 1,5 kV feszültséggel.

A fentemlített három rendszer mindegyikének természetesen vannak előnyei és hátrányai.

*A háromfázisú rendszer előnye* a háromfázisú hajtómotor, amely rendkívül egyszerű és üzembiztos szerkezetű, és ezenfelül jó hatásfok mellett igen jól megfelel a nagyvasúti vontatás kívánságainak. Bizonyos hátrányt jelent, hogy a vonatok nem járhatnak tetszőlegesen beállítható sebességgel. A mozdonyok ugyanis — az aszinkron motorok tulajdonságainak megfelelően — állandóan csak néhány meghatározott sebességfokozaton járhatnak. Egyesek véleménye szerint ez a körülmény ugyan nem jelent hátrányt, sőt esetleg még bizonyos előnnyel is járhat, mert meghatározott állandó sebességekkel a menetrend betartása könnyebb. *Döntően hátráltatta* azonban a háromfázisú rendszer továbbfejlődését, sőt azt hamarosan teljesen meg is akadályozta a következő ok. Ennél a rendszernél ugyanis *két munkavezetékre* van szükség, ami egyrészt költségekben is számottevő többletet jelent, másrészt sok sínpárú állomások váltóinál és keresztezéseinél a két vezető egymástól megfelelő biztonsággal való elszigetelése, különösen nagyobb feszültségen, továbbá az áramszedőknek zavartalan áthaladása e szakaszon, gyakorlatilag csak igen nehezen valósítható meg.

*Az egyfázisú váltakozó áramú rendszernek* előnye, hogy a felsővezeték — amelynek természetesen csak egy munkavezetéke van — feszültsége nagyra, 15—20 kV-ra választható, ami a gazdaságosságot lényegesen javítja. *Hátránya*

\* A periódusszámok tört részeit mindenütt elhagytuk.

egyrészt a váltakozó áramú kommutátoros motor, jóllehet az elmúlt évek folyamán már igen tökéletessé fejlesztették, olyannyira, hogy ma már kényes szerkezete ellenére is teljes üzembiztonságot nyújt. Másrészt azonban — és ma ez a fő hátránya — külön 16 periódusú erőműveket és külön távvezeték-hálózatot, vagy pedig nagyszámú olyan állomást igényel, amelyekben az 50 periódusú áramot kisebb periódusszámra költséges és számottevő veszteségeket felmutató berendezésekkel alakítják át.

Az egyenáramú rendszer motorainak üzembiztonsága kifogástalan. Ezek tulajdonságai legjobban megfelelnek a vontatás kívánalmainak, azonban nagy hátránya e rendszernek, hogy az alkalmazható aránylag kis feszültség miatt (3—1,5 kV) igen nagy mennyiségű vezetékanyag beruházást igényel. Így pl. az egyfázisú váltóáramú rendszernél alkalmazott kb 100 mm<sup>2</sup>-es munkavezeték helyett 270 mm<sup>2</sup>—750 mm<sup>2</sup>-es vezetékot, vagyis 2,7—7,5-szeres mennyiségű vezetékot és ezenfelül igen sok, sűrűn felállított állomást kíván. E két körülmény nagyon nagy beruházási költséget és nyersanyag pazarlást jelent. Ezenfelül azonban az energiaveszteségek is igen számottevőek egyrészt az egyenáramú rendszer ismert kedvezőtlen indítási veszteségei, másrészt a nagy áramok okozta igen tekintélyes vezetékveszteségek miatt.

Nem tekintve a felsőolaszországi háromfázisú villamosítást, a nagyvasútat világszerte általában kis periódusú egyfázisú árammal vagy egyenárammal villamosították.

Így pl. 3, illetve 1,5 kV feszültségű egyenárammal indult meg és folytatódott a villamosítás Olaszországban, a Szovjetunióban, Angliában, Franciaországban, Hollandiában, Spanyolországban, Délafrikában, Ausztráliában, Dél-amerika egyes államaiban, Indiában és Japánban, míg

16 periódusú egyfázisú árammal táplált kommutátoros járművekkel villamosították a svájci, osztrák, német, svéd és norvég vasútat.

Az Északamerikai Egyesült Államokban nem fejlődött ki egységes rendszer; a villamosítás részben egyenárammal, részben 25 periódusú egyfázisú árammal történt, még pedig utóbbi mind kommutátormotoros, mind ismert szerkezetű kisfeszültségű fázisosztóval táplált többfázisú aszinkron motoros mozdonyokkal.

A kommutátoros egyfázisú motorokkal eleinte mutatkozó nehézségek miatt próbálkoztak egyfázisú váltakozóáramú felsővezetékéről táplált motordinamós mozdonyokkal is, melyek a 16 periódusú egyfázisú áramot a mozdonyban egyenárammá alakították át.

Ehhez hasonló volt az első 50 periódusú kisteljesítményű — kb 400 Le-s — próbamozdony is, melyet a svájci Oerlikon-gyár épített 1904-ben és amelynek 600 V-os egyenáramú motorjait a próbamozdonyban elhelyezett 50 periódusú egyfázisú árammal hajtott motordinamó táplálta egyenárammal.

E kísérleti mozdonyt azonban üzembehelyezése után rövidesen átépítették 16 periódusú kommutátoros mozdonyá és az Oerlikon-gyár csak több mint

40 évvel később kezdett ismét 50 periódusú járművekkel foglalkozni, természetesen egészen más megoldásban. 1950-ben ugyanis a Francia Államvasutak részére egy 3800 Le-s mozdonyt szállított, amely jelenleg a világ legnagyobb 50 periódusú mozdonya, miután az 1939—1943-ban épült két magyar periódusváltós 4000 Le-s mozdony a második világháborúban megsérült és nem építették újjá.

\*

Elméletben már 1912-ben és 1916-ban külföldön is rámutattak arra, hogy a nagyvasutak villamosítása 50 periódussal lenne tulajdonképpen gazdaságos. A villamosítás beruházási költségei — a szükségtelen 16 periódusú külön távvezeték-hálózat és a nélkülözhetetlen költséges átalakító állomások miatt — sokkal kisebbek. Ez a gondolat az 1924 évi londoni Energia Világkonferencián is újra felmerült. Ausztriában 1904-ben épült is már egy 18 km hosszú helyi vonal 50 periódussal, egészen kis teljesítményű 50 Le-s Winter-Eichberg-féle kommutátoros motorokkal hajtott motorkocsik részére, azonban a kérdéssel nagyteljesítményű nagyvasutak részére, teljes munkaerejét belefektetve, komolyan és eredményesen annak idején csak Dr. h. c. *Kandó Kálmán* foglalkozott, akihez hamarosan *Verebély László* is csatlakozott. Kandó már 1917-ben, az elméleti elgondolásokon messze túljutva, megkezdte a Ganz-gyárban egy 50 periódusú nagyteljesítményű mozdony szerkesztését. Ennek segítségével a Budapest—Alag-16 km hosszú kétvágányú, összesen 41 km villamosított vágányhosszú sikterületi 50 periódusú kísérleti vonalnak (*1. a ábra*) 1923-ban történt üzembehelyezése után mind ő, mind Verebély egész munkaerejükkel igyekeztek a nagyvasutak 50 periódussal való villamosítását sikerre juttatni.

A magyar mérnöki munka a nagyvasutak villamosításában így másodszer is a legelső helyre került az egész világon, mert :

1. Kandó elkészítette a világon az első, a gyakorlatban gazdaságosan használható rendszerű nagyvasúti 50 periódusú nagyteljesítményű mozdonyt,
2. a mozdony megszerkesztése és kipróbálása után Verebélyel — aki azonnal felismerte az 50 periódusú villamosítás döntő gazdasági előnyeit — és a Ganz-gyárral, — amely vállalta a teljesen új rendszerű mozdonysorozat kifejlesztésének és gyártásának nehéz és kockázatos munkáját — szívós munkával keresztülvitték, hogy a világon az első nagyteljesítményű, nagyvasúti 50 periódusú villamosítás a Budapest—Hegyeshalom-i 187 km-es, összesen 520 km villamosított vágányhosszú nemzetközi kétvágányú fővonal teljes forgalmú villamosítása Magyarországon létesült, amelyen 1932-étől 32 Ganz—Kandó rendszerű 50 periódusú villamosított mozdony került üzembe, több mint 20 évvel előzve meg ezzel az egész világot.

Külföldön ugyanebben az időben a villamosítás egyenárammal és 16, vagy 25 periódusú egyfázisú váltakozó árammal folyt tovább.

Az 1932-ben üzembe jött, 50 periódussal teljesen villamosított magyarországi fővonal eredményei, továbbá különböző újabb felmerült megoldási

lehetőségek hatására a külföld érdeklődése 1933-tól átmeneti időre ismét fellobbant. A Stockholmi Energia Világkonferencián Verebély a magyarországi 50 periódusú rendszerről részletesen beszámolt, melyet kiegészített a rendszernek már a tényleges gyakorlat igazolta eredményeivel is. Boveri pedig egy tanulmányában síkra szállt az 50 periódusú rendszer gazdaságossága mellett, rámutatva egyben új — egyenirányítós — megoldási lehetőségekre is. E tanulmányában Boveri kimutatta, hogy az 50 periódusú táplálás olyan nagy gazdasági előnyökkel jár, hogy alkalmazása még akkor is gazdaságos, ha az 50 periódusú mozdony ára másrendszerű mozdonyokénál 30—40%-kal nagyobb.

Megjegyzendő, hogy az összehasonlítás kedvezőtlenül választott esetre eredményez csak 30—40% különbséget, átlagban ez még lényegesen nagyobb is lehet, amint erre e sorok írója már a világkonferencián is rámutatott.

A magyarországi eredmények és különböző részletes tanulmányok alapján a *Német Birodalmi Vasút* volt az első, amely az 50 periódusú rendszer továbbfejlesztését felkarolta és elhatározta az 56 km-es összesen 90 km villamosított vágányhosszú Höllental-vasútnak (*l. b. ábra*) 50 periódusú kísérleti villamosítását és e célra négy 2700—3200 Le-s kísérleti mozdonyt rendelt meg négy különböző (BBC, AEG, Simens, Krupp) cégnél. A négy mozdony közül a Krupp-féle — mint ismeretes — kettős forgórészű hajtómotorokban alakítja át az egyfázisú áramot háromfázisúvá, a Siemens-mozdony 50 periódusú egyfázisú kommutátoros motorokkal készült, a BBC és AEG mozdonyok pedig egyenirányítókkal igyekeztek a kérdést megoldani.

A munkavezeték feszültségét a szokásos 15 kV helyett 20 kV-ra kellett választani, hogy ilymódon a nem kedvező teljesítménytényezővel\* működő mozdonyok okozta nagy feszültségesések legalább részben kiegyenlíthetők legyenek. Erre való tekintettel ezenfelül az 56 km-es vonal munkavezetékét még további három helyen külön 20 kV-os vezetésekről táplálták.

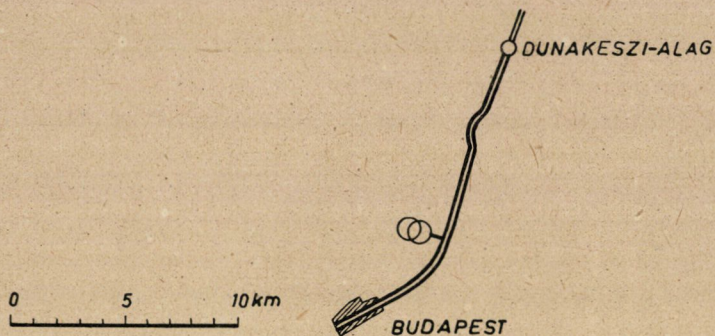
Az 1936 évben megkezdett próbaüzem alapján a második világháborút közvetlenül megelőző években a német birodalmi vasutak az eredményeket, illetve a mozdonyok szerkezetét nem találták kielégítőnek, és a villamosításnak 16 periódussal való folytatása mellett döntöttek.

A Magyarországon eközben is folyó munkálatokat nem tekintve — melyekre a későbbiek folyamán még részletesebben visszatérünk — az 50 periódusú nagyvasúti mozdonyok kérdése evvel külföldön gyakorlatilag ismét lekerült a napirendről, egészen 1945-ig, amikor a francia államvasutak a kérdést újból felvetették.

Megemlítendő, hogy a Szovjetunió Vasútvillamosítási Kutató Intézete 1932-ben levélben fordult Verebélyhez; egyrészt a magyarországi eredményekről kért adatokat, másrészt közölte, hogy egy 130 km-es 50 periódusú kísérleti szakasz kerül esetleg megépítésre. A kísérleteket illetően további adatok előt-

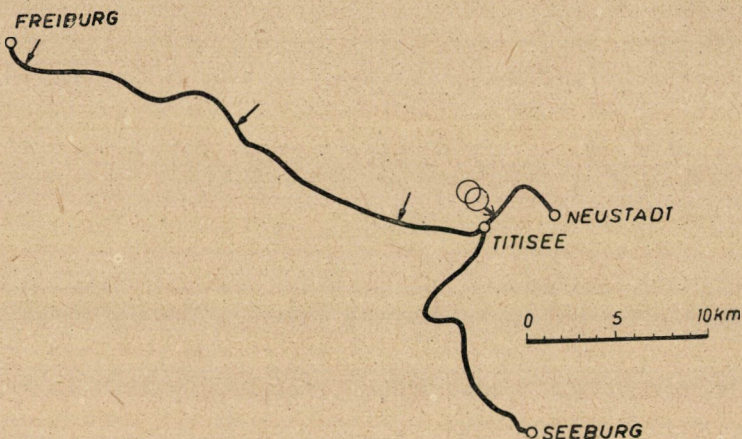
\* Csak a Krupp-mozdony teljesítménytényezője  $\cos \varphi = 1$  körüli.





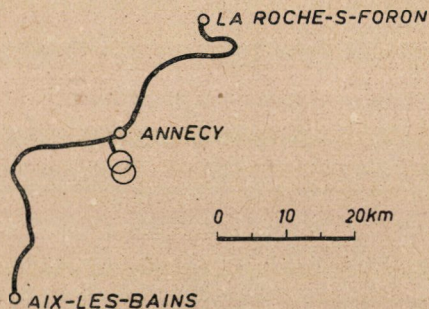
a) Budapest—Alag

Üzembekerült 1923-ban. Vonalhossz 16 km (kétvágányú). Villamosított vágányhossz 41 km



b) Höllental-vasút

Üzembekerült 1936-ban. Vonalhossz 56 km (egyvágányú). Villamosított vágányhossz 90 km. — további táplálási pontok 20 kV-os vezetékről



c) Aix-les-Bains—La Roche-sur-Foron

Üzembekerült 1950-ben. Vonalhossz 78 km (egyvágányú)

1. ábra. Az 50 periódusú vasútvillamosítások kísérleti vonalai

tünk nem ismeretesek, azonban az 1940-ben megindult moszkvai szovjet-magyar kereskedelmi tárgyalásokon megbeszélések kezdődtek az akkor épülőfélben volt új típusú 50 periódusú magyarországi mozdonyokkal kapcsolatban, jóllehet a Szovjetunió ekkor már igen kiterjedt egyenárammal villamosított hálózattal rendelkezett. A rákövetkező évben bekövetkezett háborús események a megindult előzetes tárgyalásokat félbeszakították.

Annak érdeme kétségtől eltekintve a Francia Államvasutakat és *Armand* vezérigazgatót illeti, hogy az 50 periódusú villamosítás a nyugati országokban végre az érdeklődés középpontjába került, és külföldi térfoglalását győztesen megkezdte.

A francia államvasutak a kérdésnek népgazdasági rendkívüli fontosságát teljes mértékben felismerve, 1945 óta a Höllental-vasút tapasztalatait is figyelembe véve, igen részletes tanulmányok alapján megállapították — és ezt 1947-ben nyilvánosságra is hozták — hogy az ott 1,5 kV egyenárammal elkezdett villamosítás nagyobb arányú folytatása ugyanabban a rendszerben gazdaságilag mindinkább lehetetlenné válik, noha az üzemi szempontból kifogástalannak bizonyult. Új vonalak villamosítására egyedüli helyes útnak az 50 periódusú egyfázisú rendszer bevezetését látták, utalva ugyanakkor arra is, hogy »*úgy látszik az az álom, melyet a mérnökök azelőtt nem tudtak keresztülvinni, hála Kandó magyarországi megoldásának és a Höllental-vasúti kísérleteknek, már a megvalósuláshoz jutott*«. A francia államvasutak az elméleti tanulmányok és megállapítások után 1948-ban meg is rendeltek három gyáraál (Oerlikon, Alsthom, Creusot—MÉSW) összesen négy nagyteljesítményű 50 periódusú kísérleti mozdonyt és több motorkocsit. Ezek részben kommutátormotorosak, részben pedig egyenirányítósak. A megrendelt mozdonyok egyike sem jár  $\cos \varphi = 1$  körüli teljesítménytényezővel, ezért a vonalon már eleve nagy feszültségesésekkel kellett számolni. A kísérletek céljaira az Aix-les-Bains-től kiinduló 78 km-es hegyi vonalat (*I. c. ábra*) 50 periódussal villamosították. A feszültséget, annak a kedvezőtlen teljesítménytényező okozta eséseire való tekintettel — miként a Höllental-vasútnál is — legalább 20 kV-ra kellett választani.

Elsőnek az Oerlikonnál megrendelt 3800 Le-s kommutátormotoros mozdony került 1950-ben üzembe. Az üzemi eredmények a várakozásnak teljesen megfeleltek. A kísérleti vonalszakasz üzembehelyezését követő *Annecy-i konferencián* részletes ismertetések, igen alapos és értékes tanulmányok alapján általánosan kialakult az a vélemény, hogy a nagyvasutak villamosításának jövője, döntő gazdasági előnyei miatt, az 50 periódusú rendszerben van. Ez alkalmazható is, mert használható 50 periódusú mozdonyok már rendelkezésre állanak, további típusok kifejlesztése pedig folyamatban van. A francia államvasutak az általános további villamosítást 50 periódussal meg is kezdte. Ezzel a Magyarországon több mint 35 évvel ezelőtt — 1917-ben — megkezdett és azóta folytatott eredményes munka helyessége teljes mértékben beigazolódott. Az 50 periódusú villamosítás, végre világviszonylatban is az érdeklődés középpontjába



jutva, nagyobb mértékben is megindult, és közeledik ahhoz, hogy megillető helyét az egész világon elfoglalja.

Megemlítjük még, hogy a Belga—Kongó-i vasút részére 1951-ben a Jeumont—Charleroi-i gyáraknál 8 db 1680 Le-s 22 kV-os 50 periódusú mozdonyt rendeltek meg, melyek szerelés alatt és szállítás előtt vannak. A General Electric Co. és a Westinghouse Electric Co. az 50, illetve 60 periódusú vasútvillamosítás gyakorlati lehetőségeinek tanulmányozására az USA Pennsylvániai vasútjai részére 1952 évben egy 5000 és két 6000 Le órás-teljesítményű ignitronos hatalmas ikermozdonyt szállított, melyek bár 25 periódusúak, de amely rendszer természetesen 50 periódusra is alkalmazható. A mozdonyok szállítását ignitronos motorkocsik kísérleti üzeme előzte meg, melyek közül egy Westinghouse-féle már harmadik éve van kifogástalan üzemben, eddig közel 300 000 km-t futott. Végül megemlítjük, hogy még Olaszország, a Szovjetunió, Anglia, Románia, Lengyelország, Bulgária és India is részletesen tanulmányozzák az 50 periódusú rendszer alkalmazását a további vasútvillamosításokra vonatkozóan.

\*

A következőkben az 50 periódusú villamosítás néhány lényeges szempontját, és a fázisváltós nagyvasúti mozdonyok fejlődésének legfontosabb fázisait ismertetjük.

Az első Ganz—Kandó rendszerű 50 periódusú fázisváltós mozdony tervezése 1917-ben, gyártása 1918-ban kezdődött, az első világháború utáni nehézségek miatt azonban csak 1923-ban készült el (2. ábra). A próbamozdony leglényegesebb adatai a következők voltak :

Tengelyelrendezés . . . . .	OEO
Súly . . . . .	80 t
Legnagyobb tengelynyomás . . . . .	16 t
Órás teljesítmény . . . . .	2700 Le
Legnagyobb vonóerő . . . . .	20 t
Sebességi fokozatok . . . . .	25, 33, 50 és 66 km/óra

Az eredeti Ganz—Kandó rendszerű fázisváltós mozdony részleteivel e tanulmányban nem kívánunk foglalkozni, annál kevésbé, mivel a mozdonyok szerkezetét és működését, valamint a Budapest—Hegyeshalom-i vonal villamosítását számos külföldi és belföldi tanulmányban és előadásban már részletesen ismertették.\*

Az 50 periódusú villamosítás helyes megítéléséhez azonban szükséges, hogy a fázisváltós mozdony és az 50 periódusú villamosítás néhány lényeges szempontját a következőkben röviden mégis megemlítsük.

A Ganz—Kandó rendszerű mozdonyban a vontató motorok többfázisúak, melyeknek villamos tulajdonságai — mint ismeretes — a vontatás céljaira

\* L. e tanulmány végén az irodalmi felsorolást.

nagyon jól megfelelnek, hatásfokuk jó, szerkezetük egyszerű és üzembiztos. A motorok részére szükséges áramot a forgó fázisváltó alakítja át egyfázisúról többfázisúra.

Az 50 periódusú rendszer nyújtotta gazdasági előnyök teljes mértékben való kihasználása végett, Kandó elgondolása szerint, a következőket kell biztosítani.

1. *Cos  $\varphi$* . A mozdonyoknak  $\cos \varphi = 1$  körüli teljesítménytényezővel kell járniok, hogy a 16 periódusnál háromszor nagyobb periódusszám okozta háromszoros induktív feszültségesés ílymódon nemcsak kiegyenlíthető, hanem a 16 periódusú rendszerhez képest még csökkenthető is legyen.

A jó  $\cos \varphi$  fontosságának jellemzésére megjegyezzük, hogy ha pl egy 16 periódusú vasúti kettős munkavezetéken  $\cos \varphi = 0,85$  teljesítménytényezőjű terhelésnél 10% feszültségesés mutatkozik, akkor 50 periódusnál, azonos terhelés és  $\cos \varphi = 0,7$  mellett a *feszültségesés 34%-ra fog rúgni*. Ha azonban ugyan ezen terhelés  $\cos \varphi = 1$  mellett mutatkozik, a feszültségesés csak 8%, tehát elég számottevően kisebb mint 16 periódusnál volt. Ugyanakkor  $\cos \varphi = 0,7$  teljesítménytényezővel szemben a vezetékveszteség kb 50%-kal, a transzformátorállomások teljesítménye pedig kb 35%-kal kisebb. Nyilvánvaló tehát, hogy a *teljesítménytényezőnek a táppontok távolságában, valamint az állomások és vezeték költségeiben, illetve veszteségeiben döntő jelentősége van*.

Rá kell mutatni továbbá arra is, hogy a vasútvonalat tápláló háromfázisú hálózatnak az egyfázisú terhelések okozta feszültségaszimmetriája is sokkal kisebb, és ugyanúgy a generátor forgórészének az egyfázisú terhelés okozta melegedése is sokkal kedvezőbb  $\cos \varphi = 1$  körüli terhelésnél. Olyannyira, hogy a számítási eredmények szerint  $\cos \varphi = 1$  körüli teljesítménytényezővel működő mozdonyoknál mind a feszültségi aszimmetriák, mind a generátor melegedése, *már egész kis teljesítményű háromfázisú hálózatoknál is teljesen elhanyagolhatóvá válnak*.

A fent felsoroltakból — melyek egyenként is igen lényegesek — azonnal látható, hogy a *cos  $\varphi$  kérdése az 50 periódusú vasútvillamosításnál* — mint azt Kandó kezdettől fogva megállapította — *döntő szempont*. A mozdonyok megalkotásánál ennek állandóan szem előtt tartásával szabad csak tovább haladni.

2. *Feszültség*. A feszültségesés csökkentése érdekében a munkavezeték feszültségét minél nagyobbra kell választani. Ebből a szempontból az 50 periódusú Ganz—Kandó mozdony egyenértékű a 16 periódusú mozdonnal. A 16 periódusú rendszerrel 16 kV feszültséget választottak általában az egész világon. Kandó, minthogy a fázisváltó tekercselésének olajba helyezése következtében a feszültségben korlátozva volt, már annak idején 20 kV-öt kívánt a munkavezeték feszültségéül választani, hogy az állomások még nagyobb távolságra legyenek elhelyezhetők. Tekintve azonban, hogy a felső vezetékeket tartó szigetelők és szerelvények (amelyeket a Budapest—Hegyeshalom-i vonal részére a BBC, AEG, Siemens és Bergmann szállított és szerelt fel) 16 kV-ra voltak szabványo-

sítva és megfelelő üzemi tapasztalatok is csak erre álltak akkor rendelkezésre, az üzemi feszültséget Magyarországon is 16 kV-ra kellett választani.

3. *A motorfeszültség szabályozása.* Kandónak saját rendszerével szemben további követelménye az volt, hogy a vontató motoroknak a távvezeték és a munkavezeték feszültségétől, illetve annak ingadozásaitól független, de a mozdony terhelésétől függő feszültséget kell kapniok. Ilymódon biztosítható, hogy gyorsításkor a mozdony nagy vonóerőt tud kifejteni, anélkül, hogy a motorokat túl kellene méretezni, illetve, hogy menetközben, amikor lényegesen kisebb vonóerőkre van szükség, a motorok rossz hatásfokkal és kedvezőtlen  $\cos \varphi$ -vel működnének.

A fenti feltételek a Kandó elgondolta és szerkesztette fázisváltóban — mint ismeretes — a következő módon vannak biztosítva.

A fázisváltó állórészének két tekercselése van, ú. m. a nagyfeszültségű egyfázisú tekercselés és a motorokat tápláló kisfeszültségű többfázisú tekercselés. Az állórész a forgórésztől szigetelő hengerrel elválasztva, olajban van, minek folytán a nagyfeszültségűre készített egyfázisú tekercselés a 16 kV-os munkavezetékre közvetlenül rákapcsolhatóvá vált. Így a mozdony-transzformátor súlya, helyszüksége és vesztesége részben megtakarítható volt. Az egyfázisú és háromfázisú tekercselések úgy vannak az állórészben elhelyezve, hogy közöttük *számottevő mágneses szórás* keletkezik. A szinkron forgó rotor gerjesztésének szabályozásával a teljesítménytényezőt állandóan  $\cos \varphi = 1$  körüli értéken lehet tartani. Ezenkívül a szórási karakterisztika megfelelő kialakításával el lehet érni, hogy ugyanakkor a motorok a munkavezeték feszültségének állandó, illetve a terhelés következtében ingadozó értékétől gyakorlatilag függetlenül, a terhelésüknek megfelelő, vonóerők, illetve hatásfok szempontjából legkedvezőbb feszültséget kapják.

A feszültségnek és  $\cos \varphi$ -nek fentiek szerinti szabályozását megfelelően igazítható wattrel teljesen önműködően végzi.

A nagyfeszültségre közvetlenül kapcsolt leírt szerkezetű fázisváltó helyett természetesen lehet egyfázisú, nagy rövidzárási feszültségű transzformátorra kapcsolt, ismert szerkezetű kisfeszültségű, egyfázisról táplált háromfázisú szinkron fázisosztót is alkalmazni. Ennek a megoldásnak azonban súlya és helyszüksége, valamint vesztesége általában nagyobb.

Az Egyesült Államokban 1913 év körül kifejlesztett — az előzőkben már említett — fázisosztóval táplált aszinkron motoros 25 periódusú egyfázisú rendszer és a Kandó-rendszer között tulajdonképpen az a lényeges elvi különbség van, hogy az 50 periódusú mozdonyokhoz Kandó olyan rendszert dolgozott ki, amely *a terheléstől függetlenül állandóan  $\cos \varphi = 1$  körüli teljesítménytényezővel* jár. Ennek elérése végett egyrészt egyenárammal gerjesztett *szinkron* átalakítót alkalmazott, másrészt a hajtómotorokat tápláló háromfázisú tekercselés és az egyfázisú táplálófeszültség közé *nagy mágneses szórású* elemet iktatott be. Ez úgy volt méretezve, hogy a  $\cos \varphi = 1$  körüli teljesítménytényező és a hajtómotorok

kedvező feszültsége minden terhelésnél egyidejűleg biztosítható. Ez alkotja Kandó elgondolásának és rendszerének lényegét, és nem az — ami a köztudatban elterjedt — hogy a fázisátalakító megfelelő, nagy feszültségre alkalmas szerkezete következtében külön transzformátorra nincsen szükség. Maga az a szerkezeti különbség, hogy a fázisátalakító a nagyszórású transzformátorral egyesítve van, bár fontos lehet, de egyáltalán nem döntő jelentőségű, mert ennek következtében mindössze súly és veszteség megtakarítás volt elérhető. Ezzel az előnnyel azonban szemben van az a hátrány, hogy az összeépített fázisváltó lényegesen bonyolultabb, tehát kényesebb szerkezetű.

A  $\cos \varphi$  kérdése azonban, amint már ismételten rámutattunk, az 50 periódusú villamosításnak sarkalatos szempontja, sőt az Egyesült Államokban alkalmazott 25 periódusú fázisosztós megoldásnál is később, 1922-től — éppen Kandó javaslatára — szintén a  $\cos \varphi = 1$ -et biztosító szinkron megoldást választották, noha ennek előnye a 25 periódusra való tekintettel ott természetesen már távolról sem olyan döntő jelentőségű.

Tekintve, hogy a fázisváltó, amelyen a teljes teljesítménynek természetesen keresztül kell áramolnia, elég számottevő súlyú és veszteségű, a Kandó-féle rendszer minden berendezésénél a súly és veszteség megtakarításokra különösképpen gondot kellett fordítani. Kandónak sikerült is elérnie, hogy mozdonya az *akkori* viszonyoknak megfelelő fajlagos mozdony súlyoktól nem tért el számottevő mértékben. Mivel a fázisváltó veszteségeit az aszinkron motorok jobb hatásfoka és az elmaradó transzformátorvesztés csak részben tudja kiegyenlíteni, maga a fázisváltós mozdony veszteségek szempontjából kétségkívül valamivel kedvezőtlenebb más rendszerek mozdonyainál. Ez a hátrány azonban eltörlődik azokkal a döntő jelentőségű előnyökkel szemben, amelyeket a közvetlenül 50 periódusról való táplálás és a  $\cos \varphi = 1$  fázistényezőjű üzem biztosít. Ez utóbbi csupán a vezetékvesztésben bekövetkező megtakarítás folytán már egyedül is kiegyenlíti a mozdonynál mutatkozó hatásfok különbséget.

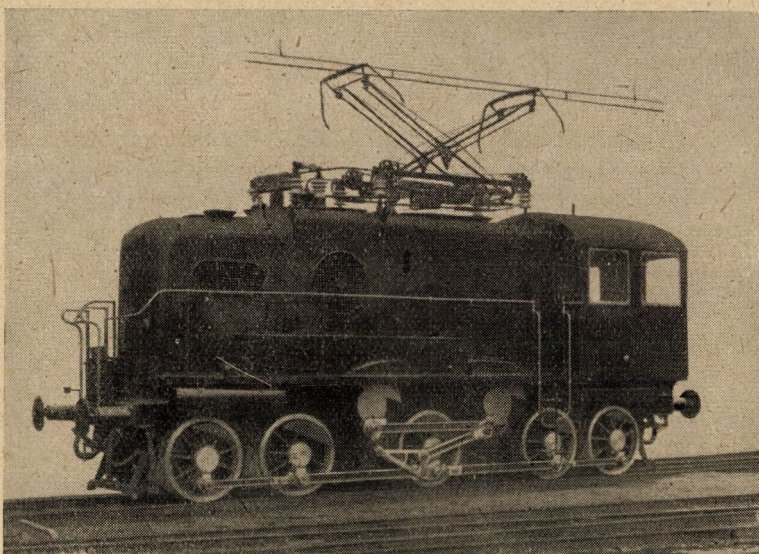
A Kandó-féle mozdony — az aszinkron hajtómotorok jellegének megfelelően — lejtőn lefelé, sebességet megtartva a hálózatba visszatáplál, ami hegyvidéki pályákon egyrészt energiamegtakarítás, másrészt a kerékarimák és a féktuskók kopásának kiküszöbölése szempontjából nagyjelentőségű.

A mozdonyok mechanikai és villamos berendezéseinek részleteivel nem szükséges foglalkoznunk, csak annyit kell még megjegyezni, hogy a mozdony 4 különböző sebessége a végleges megoldásnál az aszinkron hajtómotoroknak négyféle pólusszámra való átkapcsolásával volt biztosítható. A négyféle pólusszámra való átkapcsolás szükségessége természetesen nem engedte meg kisméretű gyorsfordulatú motorok alkalmazását, és ezért a mozdonytengelyeket forgattyús és az ismert Kandó-féle csuklós hajtókeret által közvetlenül hajtó, kisfordulatszámú motorokat kellett a mozdonyon elhelyezni. A *hajtórudas hajtás* szükségessége kétségtelenül számottevő *hátránynak* volt már akkor is tekinthető, bár rá kell



mutatni, hogy abban az időben — az 1920 és 1930 évek között — a rudas hajtást még általánosan alkalmazták más rendszereknél is. Az azóta teljes mértékben elterjedt egyes hajtás csak akkor kezdett fejlődni és alkalmazásra kerülni.

Az első kísérleti mozdony, melyben 3000 fordulatú léghűtéses forgórészű fázisváltó volt, az 1923-ban üzembehelyezett Budapest—Alag-i 50 periódusú 16 km hosszú kísérleti vonalon (1. a ábra) az összesen 3 évig tartó próbákon teljes mértékben bebizonyította az elgondolás *elvi* helyességét, mind a vontatási tulajdonságokat, mind a szabályozást és  $\cos \varphi$ -t illetően. A minden részében teljesen újszerű szerkezettel szerzett tapasztalatok alapján azonban különböző szerke-



2. ábra. Az első Ganz—Kandó rendszerű 50 periódusú kísérleti mozdony (2700 Le, OEO) Rendelési év 1918. Üzembekeült 1923-ban

zeti változtatások mutatkoztak szükségesnek. Bár ezek a mozdonyok működésének elvi részét egyáltalán nem érintették, szerkezetileg azonban elég lényegesek voltak. Legfőképpen a fázisváltó bizonyult melegedés szempontjából nem jól méretezettnek, mert forgó részében az erős csillapító tekercselés ellenére az egyfázisú mező következtében túlságos melegedés keletkezett. Erre való tekintettel a mozdony részére teljesen új fázisváltó készült. Az olajba helyezett állórész elvét megtartva, az új fázisváltó négy pólusú *vízűtéses forgórész*tel készült. A mozdony tervezett teljesítményét is csökkenteni kellett bizonyos mértékben és az eredeti kaszkádkapcsolású motorokat pólusátkapcsolásúakra cserélték ki, összesen 3 sebességi fokozattal.

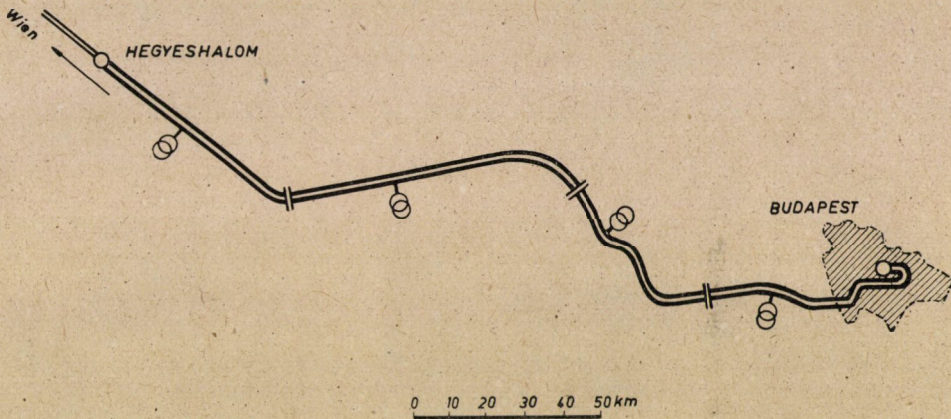
Az átalakított próbamozdony 1928-ban került újra üzembe; az üzemi próbák 560 tonnás személyvonatokkal és 1450 tonnás tehervonatokkal olyan kedvező eredményeket adtak, hogy 56 000 km befutása után — miközben semmi



lényeges meghibásodás nem történt — a magyar államvasutak még 1928-ban elhatározta a Budapest—Hegyeshalom-i 187 km-es kétvágányú fővonal 50 periódusú teljes villamosítását.

Ennek a nagyszabású villamosításnak munkálatai még 1928-ban megindultak, megalakult az állami tulajdont képező Magyar Dunántúli Villamossági R. T., amely elsősorban a villamosítandó nagyvasutat tápláló bányászati országos erőművet építtette meg, amely három 26 000 kVA-es turbóegységgel 1930-ban üzembe is került. Ezt követően adták ki fokozatosan a vasút villamosításával összefüggő rendelkezéseket.

A 187 km hosszú kétvágányú fővonalat, összesen 520 km felsővezetékű



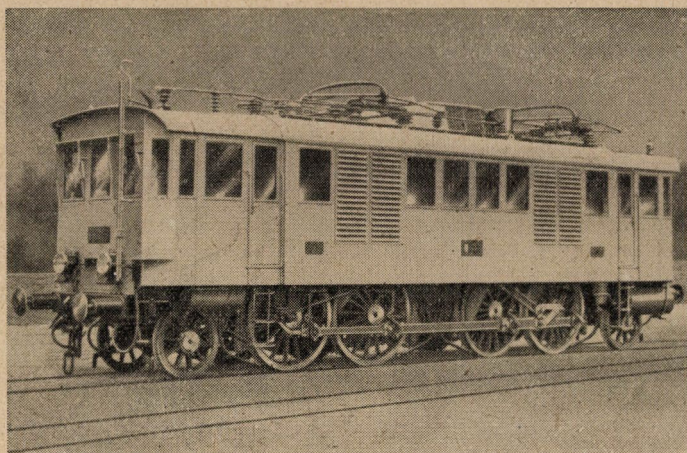
3. ábra. Az első 50 periódussal villamosított fővonal, Budapest—Hegyeshalom Üzembekerült 1932-ben. Vonalhossz 187 km (kétvágányú). Villamosított vágányhossz 520 km — Táptranzformátorállomások átlagos távolsága 46 km. A forgalmat lebonyolító 50 periódusú mozdonyok száma 32

sínpárral, az említett erőműből táplált első országos 100 kV-os háromfázisú hálózatról leágazó egyfázisú transzformátorok táplálják 15—16 kV feszültséggel, 4 állomásban, melyek egymástól átlag 46 km-re vannak (3. ábra). Az állomások egyfázisú transzformátorai, az országos hálózat eredő egyfázisú terhelésének csökkentésére, állomásonként a 100 kV-os háromfázisú távvezeték két-két különböző fázisára vannak kapcsolva. A két legkisebb teljesítményű szakasz állomásai rendes üzemben azonos fázisok közé vannak kapcsolva.

A Magyar Államvasutak a Ganz-gyárnál 1931-ben megrendelte a szükséges, összesen harminckét 50 periódusú mozdonyt, amelyek közül először négyet gyártottak, majd azok igen kedvező üzemi eredményei után folytatólagosan szállították a többi 28-at is.

A 32 végleges szerkezetű mozdony (4. és 5. ábra) lényegében csak abban tért el a kipróbált kísérleti mozdonyoktól, hogy ennek két vontató motora helyett, amelyeknek összesen 3 sebességfokozata volt, csak egy, a 4 sebességfokozatnak megfelelően 4 pólusszámra átkapcsolható hajtómotor került a mozdonyokra.





4. ábra. A Budapest—Hegyeshalom-i vonal ID1 2500 Le-s Ganz—Kandó rendszerű, 50 periódusú sorozatmozdonyai  
Rendelési év 1931. 1932 óta üzemben, összesen 32 mozdony

A mozdonyok főáramkörű elvi kapcsolási vázlatát (a gépek belső tekercselésének, illetve kapcsolásának feltüntetése nélkül) a 6. ábra tünteti fel. A tengelyeket természetesen ez esetben is forgattyú és csuklós Kandó-keret hajtja.

A mozdonyok legjellemzőbb adatai a következők :

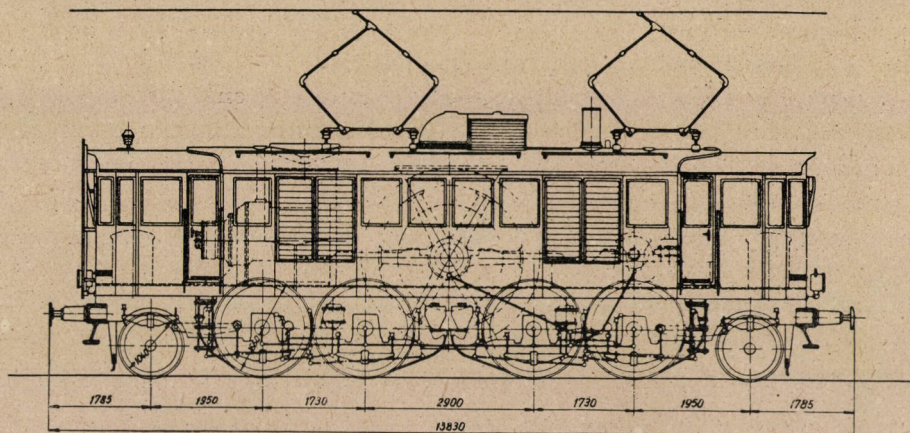
Tengelyelrendezés . . . . .	1D1
Összsúly . . . . .	98 t
Legnagyobb tengelynyomás . . . . .	17,5 t
Órás teljesítmény . . . . .	2500 Le
Legnagyobb vonóerő . . . . .	16,2 t
Sebességfokozatok . . . . .	25, 50, 75, 100 km/óra
Fajlagos súly . . . . .	39 kg/Le.

E mozdonyok a próbák tanulságai alapján egyaránt alkalmasak voltak mind gyors, mind tehervonatok részére. Ezért a kezdetben rendelt — villamos berendezésükben egyébként azonos — három tehervonati OFO tengelyelrendezésű 68 km/óra legnagyobb sebességű mozdonyból többet nem is szállítottak.

Az első mozdonyok 9 hónapi átvételi próbaüzem folyamán egyenként több mint 100 000 km-t — ami évi több mint 130 000 km-nek felel meg — teljesítettek az előírt terheléseknek és próbáknak megfelelően, anélkül, hogy bármily számottevő meghibásodás mutatkozott volna.

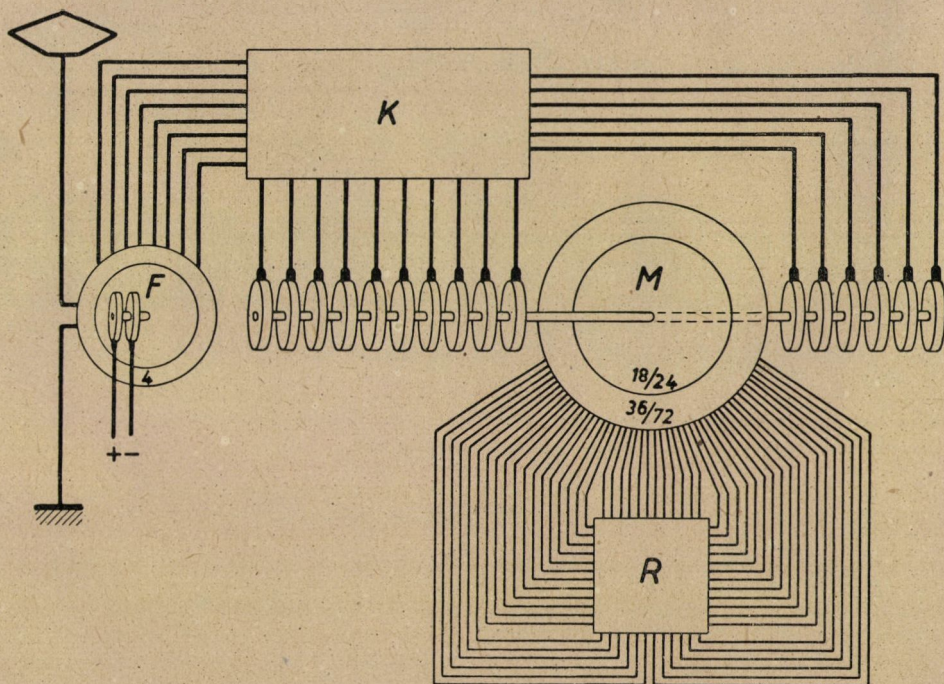
Az 1931 évben megrendelt 32 mozdony közül a Ganz-gyár az első hármat egy év alatt, 1932-ben szállította. Ezek teljesen zavartalan, sikeres próbaüzemének befejezése után, 1934 év közepétől 1935 év közepéig egy éven belül további 24 mozdonyt szállított.





5. ábra. Az 1D1 2500 Le-s Ganz—Kandó 50 periódusú sorozatmozdonyok elrendezési vázlata

A mozdonyok teljes villamos berendezését a Ganz-gyár gyártotta, kivéve a hajtómotorokat, melyeket a Ganz-gyár adatai alapján a vasútvillamosításra folyósított angol kölcsön feltételeinek megfelelően a Metropolitan Vickers & Co. cég szállított. A mozdonyok évenként átlag kb 110 000 km-t teljesítettek, ellát-



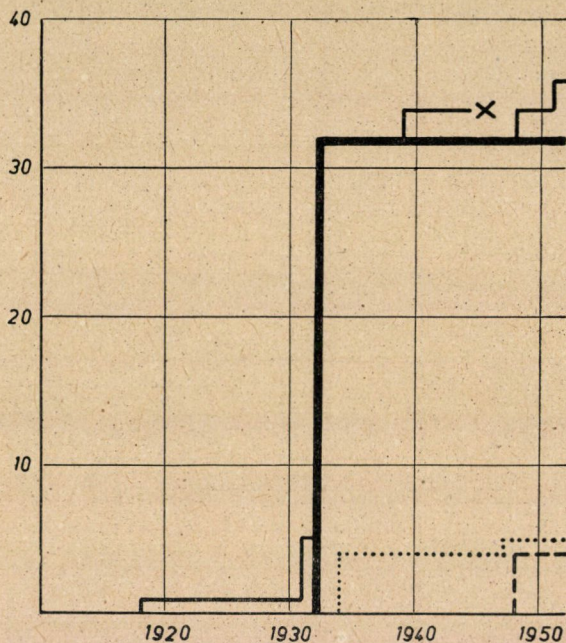
6. ábra. A 2500 Le-s Ganz—Kandó 50 periódusú sorozatmozdonyok főáramkörű sémája F = fázisváltó, M = hajtómotor, K = főáramkörű kapcsoló szerkezet (pólusátkapcsoláshoz, reverzáláshoz stb.), R = indító ellenállás. A számok a gépek pólusszámát tüntetik fel



ván a Budapest—Wien-i nemzetközi fővonal magyarországi 187 km-es szakaszának teljes gyors-, személy- és tehervonati forgalmát.

Megemlítjük, hogy a Budapest—Hegyeshalom-i vonal 20 évvel ezelőtt történt villamosításával Magyarország még ma is az egyetlen ország a világon, ahol nagyforgalmú teljes fővonalat 50 periódussal villamosítottak és az üzemet 50 periódusú sorozatmozdonyok (32 db) látják el.

Mint már említettük a külföld figyelve 1933—1934-ben kezdett részben a magyarországi eredmények, részben a Boveri-féle és más tanulmányok alapján feléledni. Ennek eredményeként elsőként Németország indult meg az 50 periódusú



7. ábra. Az 1918—1951. években megrendelt 50 periódusú mozdonyok száma  
 ————— magyarországi kísérleti mozdonyok      - - - - franciaországi kísérleti mozdonyok  
 ————— magyarországi üzemi mozdonyok      ..... németországi kísérleti mozdonyok  
 X háború alatt tönkrement

villamosítás tanulmányozásában és továbbfejlesztésében. 1936-ban Németországban 50 periódussal üzembe került az 56 km hosszú Höllental-vasút, amely azonban még kifejezetten kísérleti próbáüzem volt 4 különböző rendszerű kísérleti mozdonnyal. Majd később Franciaországban, az 1945—47-ben megkezdett tanulmányok alapján, 1950-ben az Aix-les-Bains-i 78 km hosszú 50 periódusról táplált ugyancsak kísérleti vonal került üzembe, 4 szintén különböző rendszerű kísérleti mozdonnyal.

Az 1936-ban üzembe került németországi kísérletek nem eredményezték annakidején a Német Birodalmi Vasutaknál az 50 periódusú rendszer elismeré-

sét és bevezetését. Az 1947—1951 évi franciaországi részletes és igen értékes, a Höllental-vasút eredményeit is magukban foglaló tanulmányok és kísérleti eredmények alapján azonban a Francia Államvasutak, teljesen átlátva a kérdés döntő gazdasági jelentőségét, a vasutak nagyszabású villamosítását határozta el 50 periódussal.

Az említett külföldi kísérletekre és tanulmányokra, valamint azok eredményeire, melyek 1951-ben a kérdést végül külföldön is az 50 periódus javára döntötték el — a magyarországi továbbfejlődés ismertetése után — még vissza fogunk térni.

Az 50 periódusú villamosítás fejlődését világviszonylatban a 7. ábra mutatja, mely 1918 évtől kezdődően feltünteti az 50 periódusú villamosítással foglalkozó országokban üzembekeült kísérleti és üzemi sorozatmozdonyok számát.

\*

A magyarországi nagyvasúti 50 periódusú villamosítás első fejezete a Budapest—Hegyeshalom-i fővonal villamosításával és a 32 mozdony fokozatos üzembehelyezésével lezárult. A mozdonyok a várakozásnak és az *akkori* igényeknek teljesen megfeleltek, a villamosított fővonal 20 év óta igen jó eredménnyel van üzemben.

A mozdonyok villamos berendezése az üzem követelményeinek teljesen megfelelt, igen üzembiztosnak mutatkozott és minimális karbantartási költséget kívánt. A fázisváltó — amellyel szemben bonyolult szerkezete miatt kezdetben bizonyos aggály mutatkozott — kifogástalan üzembiztonságú szerkezetnek bizonyult. Az elmúlt 20 év üzeme folyamán a fázisváltóban hibák jóformán egyáltalán nem jelentkeztek. A hajtómotorok az erős indítási igénybevételek következtében eleinte sorozatosan meghibásodtak, a tekercsfejek keményforrasztásával azonban a meghibásodások teljesen kiküszöbölhetőkké váltak.

A mozdony mechanikai hajtóművével kapcsolatban azonban már komolyabb nehézségek mutatkoztak, melyekre a következőkben még részletesebben külön vissza fogunk térni.

A próbák és az üzem teljes mértékben igazolták azokat a számításokat is, melyek az egyfázisú terhelésnek a háromfázisú hálózatra gyakorolt hatására vonatkoztak. A tényleges üzemi tapasztalatok alapján is megállapították, hogy a vasút  $\cos \varphi = 1$  körüli egyfázisú terhelése az állomásokat tápláló háromfázisú rendszerben egyáltalán nem okoz észrevehető aszimmetriát. Sem a feszültségek eltolódásában, sem a generátorok forgórészének melegedésében számottevő változás nem jelentkezett, még akkor sem, ha a teljes villamosított vonalat *egyetlen* 26 MVA-es háromfázisú generátor táplálta. Az aszimmetriára vonatkozó aggály, amely — különösen külföldön — az 50 periódusú rendszerrel szemben többször megnyilvánult, az előzetes vizsgálatoknak megfelelően teljesen figyelmen kívül hagyhatónak bizonyult. Ezzel kapcsolatban meg kell jegyezni — mint erre már az előzőkben is rámutattunk — hogy a számított és

tapasztalt igen kedvező eredmény részben a  $\cos \varphi = 1$  körüli teljesítménytényező következménye. Más rendszerű mozdonyok üzeménél, melyek  $\cos \varphi = 0,7—0,8$  körül járnak, az eredmények természetesen sem a feszültség-aszimmetriát, sem a generátor-forgórész melegeését illetően nem ennyire kedvezőek, nagyteljesítményű hálózatról való táplálásnál azonban ez esetben sem mutatkoznak számottevő nehézségek.

*A periódusváltós rendszer kifejlesztése, eredményei, lehetőségei és összehasonlítása*

I.

A Magyar Államvasutak a kedvező üzemi és gazdasági eredmények alapján már 1935-ben további vonalak villamosítását tervezte, de egyben a jövő fejlődését is figyelembe véve, a szállítandó mozdonyokkal szemben nagyobb követelményeket támasztott. Így az eddigi 2500 Le teljesítmény és 100 km/óra max. sebesség helyett 4000 Le-s és 125 km/óra max. sebességű mozdonyokat kívánt beszerezni.

Ez a kívánság a kifejlesztett eredeti típussal azonban nem volt teljesíthető, mivel az a hajtómotor négyféle pólusszáma miatt csak lassú fordulatú forgattyús hajtáshoz volt alkalmas, a forgattyús hajtás pedig nagy sebességek-nél már mind nagyobb nehézségeket okozott. Meg kell jegyeznünk, hogy ebben az időben a forgattyús hajtást már erősen túlhaladott szerkezetnek is kellett tekinteni.

Az üzemi tapasztalatok alapján a forgattyús hajtás már 100 km sebesség-nél is igen pontos beigazítást és igen gondos karbantartást kívánt, nehogy — a forgattyús mozdonyhajtásnál általában megengedhető mértéken felül — repedések keletkezzenek. A nem egészen megfelelő üzemi karbantartás és nem egészen pontos beigazítás következtében a 30-as évek közepén a rudas hajtószerkezet kezdődő repedései miatt a Budapest—Hegyeshalom-i vonalon elég nagyfokú mozdonyhiány kezdett mutatkozni. A jelenség alapos tanulmányozása után végül gondos karbantartással, pontos beigazítással és állandó ellenőrzéssel — ami azonban természetesen a karbantartási költségeket számottevően fokozta — a hibát teljesen kiküszöbölni ugyan nem lehetett, de megengedhető mértékre volt csökkenthető. Arra azonban gondolni sem lehetett, hogy forgattyús hajtószerkezettel nagyobb teljesítményű és nagyobb sebességű mozdonyok készíthetők legyenek.

Ezzel azonban a villamosítás továbbfejlesztése és kiterjesztése olyan más vonalakra, amelyeken a jövőben nagyobb teljesítményű és nagyobb sebességű mozdonyok is szükségesek lettek volna, átmenetileg holtpontra jutott. Annál is inkább, mert Kandó világviszonylatban is elismert lángelméjének segítségére a korán — 1931-ben — bekövetkezett halála miatt, sajnos, nem lehetett már számítani.

A Ganz-gyár az új, lényegesen nagyobb követelményeknek megfelelő mozdonyok kérdésének megoldásában néhány évig egyáltalán nem is tudott továbbjutni, ezért a MÁV már kénytelen volt külföldi cégeknél is érdeklődni 50 periódusú mozdonyok iránt. Ebben az időben a német Höllental-vasúti kísérleti mozdonyok próbái már éppen megkezdődtek és mivel feltehető volt, hogy a kísérleti mozdonyok valamelyike be fog válni, a MÁV élénk figyelemmel kísérte a próbákat. A Ganz-gyár is kénytelen volt már előzetes tárgyalásokat kezdeni gyártási engedély végett a külföldi cégekkel, hogy a magyarországi szükségletnek legalább a hazai gyártása biztosítható legyen, ha t. i. a Höllental-vasúti mozdonyok beválnak. Exportról természetesen ebben az esetben le kellett volna mondani. Szóba került ebben az időben már az is, hogy a villamosítást nálunk is 16 periódussal kell tovább folytatni, amihez a Ganz-gyárnak meg volt a lehetősége olyformán, hogy külföldi rajzok alapján bevált típusokat szállítson. Ezt az irányzatot azonban szerencsére erősen fékezte a 16 periódus okozta lényegesen nagyobb beruházási költség és rosszabb gazdaságosság. A magyarországi 50 periódusú villamosítás és a Ganz—Kandó rendszer ebben az időben valóban igen súlyos, csaknem reménytelen helyzetben volt.

Ebben a legváltóságosabb időben, amikor a magyar mozdonyok további gyártása a megfelelő fejlődés hiányában teljesen holt ponton volt, és amikor kipróbált és bevált külföldi rendszer sem állt még rendelkezésre, viszont a MÁV-nak döntenie kellett a további villamosítás sorsáról, dolgozta ki jelen összefoglaló tanulmány szerzője, aki akkor a Ganz villamosági gyár műszaki vezetője volt, új — periódusváltósnak elnevezett — rendszerét. Ez egyszerre lehetővé tette, hogy — megtartva a Ganz—Kandó rendszer alapjait és előnyeit — *bármilyen teljesítőképességű és sebességű 50 periódusú mozdonyok, különleges új szerkezeti elemek kifejlesztése és hosszadalmas kísérletezés nélkül, korszerű megoldásban elkészíthetők legyenek.*

Az eredeti Ganz—Kandó rendszernek nagy teljesítményekre és nagy sebességekre való továbbfejlesztését az ebben az időben korszerűnek már egyébként sem tekinthető forgattyús hajtás tette lehetetlenné. A forgattyús hajtóműre eleinte azért volt szükség, mert 4, illetve 5 különböző pólusszámra átkapcsolható gyorsfordulatú motorokat lehetetlen volt olyan kicsire készíteni, hogy azok a mozdony tengelyeit közvetlenül fogaskerékáttétellel és az időközben kifejlesztett és általánosan elterjedt egyes hajtással hajthassák. Ahhoz tehát, hogy nagyteljesítményű és nagysebességű mozdonyokat lehessen gyártani, *a hajtómotorok pólus átkapcsolását ki kellett küszöbölni.* Mivel természetesen egyféle pólusszámú aszinkron motorral csak egy sebesség érhető el, az egyedüli lehetséges megoldás az aszinkron motoros rendszer fenntartása mellett az volt, hogy a motorokat különféle periódusszámú árammal kell táplálni.

Ahhoz azonban, hogy a mozdony különböző, de legalább 4—5-féle állandó sebességgel járhasson, olyan további berendezést kellett a mozdonyban elhelyezni, amely a motorok részére folyamatosan változó, vagy legalább 4—5-féle



periódusszámú áramot tud állandóan szolgáltatni. A fázisváltón kívül tehát a mozdonyban még periódusváltót is el kell helyezni. Ez a megoldás kezdetben mind a MÁV-nál, mind magában a Ganz-gyárban is sokak részére gyakorlatilag lehetetlennek látszott és ellenzéssel találkozott, tekintettel a periódusváltó igen tekintélyes súlyára, mivel a periódusváltót — éppen úgy mint a fázisváltót is — a mozdony teljes teljesítményére kellett méretezni. Minthogy azonban ez volt akkor az egyetlen lehetőség az 50 periódusú rendszer magyarországi további fenntartására, illetve továbbfejlesztésére, a kérdéssel mégis tovább kellett foglalkozni, bármennyire kilátástalannak is tartották sokan eleinte a megoldás lehetőségét. Az eredmények teljes mértékben igazolták az elgondolás helyességét, mert megállapíthatóvá vált, hogy a Ganz—Kandó mozdonyok főmotorának és rudas hajtóművének súlyából a közvetlen hajtású gyors fordulatú motorok és a periódusváltó nemcsak elkészíthetők, hanem még számottevő *súlymegtakarítás is érhető el.*

Az eredeti Ganz—Kandó mozdony főmotora ugyanis kis fordulatszáma (legnagyobb sebességen 333 fordulat/perc) következtében igen nehéz volt, amivel szemben a tengelyeket fogaskerékkel hajtó gyorsfordulatú motorok (legnagyobb sebességen pl. 2500 fordulat/perc) igen könnyűek. Jellemzőül megemlítjük, hogy a Ganz—Kandó mozdonyok főmotorának és rudas hajtóművének összsúlya kb. 25 tonna volt, ugyanezen teljesítménynek megfelelő, gyors fordulatú marok csapágyas (tramway felfüggesztésű) motorok akkori súlya pedig fogaskerékkel együtt nem egészen 9 tonna, tehát 16 tonna súly volt megtakarítható. Minthogy ebből a súlyból, sőt ennél számottevően kevesebből is, egy gyorsfordulatú, megfelelő teljesítményű periódusváltót el lehet készíteni, az aszinkron hajtómotoros Ganz—Kandó rendszer továbbfejlesztésének ezen alapvetően újszerű megoldása gyakorlatilag is lehetővé vált.

A periódusváltós rendszer megoldását illetően háromféle megoldási lehetőség volt megállapítható:

a)  *folyamatosan* változtatható,  *tetszőleges* periódusszámot szolgáltató periódusváltó,

b)  *lépcsős* — legalább 4—5-féle periódusszámot szolgáltató — periódusváltó, egyik periódusszámról a másikra  *lépcsőzetes* átmenettel,

c)  *lépcsős* — legalább 4—5-féle periódusszámot szolgáltató — periódusváltó, egyik periódusszámról a másikra  *folyamatos* átmenettel.

Az a) alatti, tetszőleges periódusszámot szolgáltató megoldás vontatási szempontból a legelőnyösebb, mert a jármű bármely sebességen jó hatásfokkal állandóan járhat, gyorsítása és lassítása megszakítás nélküli és veszteségmentes. Gépi berendezése azonban nehezebb, mivel a periódus folyamatos változtatására a periódusváltóhoz változó fordulatú, kommutátoros (pl háromfázisú, vagy egyenáramú) elég nagy teljesítményű segédgépek szükségesek.

A b) és c) alatt említett, leglább 4—5-féle állandó periódusszámot szolgáltató megoldásoknál a jármű állandóan csak 4—5-féle sebességgel járhat ugyan,

azonban a szerkezet egyszerűbb és könnyebb gépi berendezéssel oldható meg, mivel a meghatározott különböző periódusszámok egészen egyszerű szerkezetű, szinkron vagy aszinkron gépekkel is létrehozhatók.

Vontatási szempontból sokkal előnyösebb tulajdonságai miatt, továbbá mert — mint a későbbiekben látni fogjuk — hajtómotorként rövidrezárt kivitelű motorok alkalmazhatók, elsősorban az *a)* megoldás különböző lehetőségei kerültek részletes tanulmányozás alá. A kisebb súlyú változatok bonyolultabb szerkezete miatt, de főleg arra való tekintettel, hogy a próbamozdonyok minél előbb elkészíthetők legyenek, *mozdonyok részére első kivitelként* azonban az egyszerű aszinkron gépekből álló, 4—5-féle periódusszámot szolgáltató lépcsős periódusváltós megoldások egyikét kellett annakidején tekintetbe venni. Figyelembe kellett venni az elhatározásnál azt is, hogy mozdonyok részére az *a)* megoldásnál szükséges nagyteljesítményű gépek korszerű kis súlyú kivitelben való gyors megtervezésére és gyártására a Ganz-gyár akkor felkészültsége és tapasztalata nem látszott egészen megnyugtatónak. Motorkocsik részére azonban — melyekre a későbbiek folyamán még vissza fogunk térni — és egyben előkísérlet képen későbbi mozdonyok részére, már annakidején is az *a)* megoldás került kivitelre, tekintve, hogy ez esetben csak kisebb teljesítményű kommutátoros gépekre volt szükség.

Nyilvánvaló volt azonban, hogy a mozdonyokhoz szükséges olyan 4—5 féle periódusszámot szolgáltató gép, melynek minden periódusszámához pólusátkapcsolás vagy külön tekercselés szükséges, egyrészt igen súlyos, másrészt bonyolultsága miatt üzembiztonsági szempontból nem megfelelő. Ezért a periódusváltót egyszerűbb szerkezettel és pedig — az általánosságban egyébként már ismert — forgóáramú gerjesztéssel kellett megoldani. A forgóáramú gerjesztés, mint ismeretes, a forgórész nyugalmi helyzetében is a pólusszámtól függő sebességgel forog. Ha a rotort ezenkívül forgatjuk is, az állórészben a forgórész és a mező fordulatszámjai összegének, illetve ellenkező irányú kapcsolásnál, különbségének megfelelő periódusszám keletkezik. Ilymódon tehát egyetlen pólusszám egyirányú és ellenirányú forgásnál kétféle periódusszámot szolgáltat, amelyhez az áramforrás periódusszáma, mint harmadik periódusszám csatlakozik (egyenáramú gerjesztéssel is kombinálva a periódusváltót egy további periódusszám is kapható).

A középsebességű mozdonyokhoz legalább szükséges négyféle periódusszám tehát megoldható *egyetlen* tekercseléssel, amely mindössze 1 : 2 arányban átkapcsolható pólusszámu, és amely átkapcsolás, mint ismeretes, igen egyszerűen oldható meg. Ugyanekkor azonban nagysebességű mozdonyok részére ötféle periódusszám — tehát 5 sebességfokozat — is rendelkezésre áll, felhasználva a fázisváltó háromfázisú tekercseléséről közvetlenül levehető 50 periódust is.

Az ismertetett elvi elgondolás tehát lehetővé tette a mozdonyok részére gyorsfordulatú és igen *egyszerű szerkezetű periódusváltó* gép alkalmazását, aminek folytán a periódusváltó kérdése kis súllyal és teljesen üzembiztos szerkezettel megoldottá vált.

Az annak idején — az 1935—1938 években — megalkotott Ganz—Kandó—Ratkovszky-féle periódusváltós rendszer lényege tehát a következő volt :

1. A 4—5 féle periódusszámra átkapcsolható lassú fordulatszámú, forgattyús hajtású főmotor helyett, a tengelyeket fogaskerékkel hajtó gyors fordulató, póluskapcsolás nélküli, egyszerű aszinkron motorok alkalmazása. Ezeknek tetszőleges, vagy legalább 4—5 féle állandó sebessége úgy jön létre, hogy a mozdonyban elhelyezett periódusváltó tetszőleges, vagy az áramforrás 50 periódusával együtt összesen legalább 4—5 féle, állandó periódusszámot szolgáltat. A periódusváltó elhelyezését lehetővé teszi a lassú fordulatszámú főmotor és rudazathajtás elhagyásával járó nagy súly- és helymegtakarítás, amely olyan mértékű, hogy végeredményben a periódusváltós rendszer az eredeti Ganz—Kandó-rendszerénél számottevően kisebb súllyal oldható meg.

2. A fenti alap gondolat legegyszerűbb szerkezettel olyan aszinkron gépből álló periódusváltóval oldható meg, amely váltakozó áramú forgómezővel van gerjesztve úgy, hogy a mező forgásértelme a periódusváltó egyik tekercselésének forgásértelmével egyes sebességeknél megegyező, másoknál ellenkező.

Az új periódusváltós rendszer villamos tulajdonságaiban —  $\cos \varphi$ , motor-feszültségszabályozás, hálózati feszültségingadozástól való nagymértékű függetlenség, visszatáplálás stb. — természetesen hasonló maradt az eredeti Ganz—Kandó rendszerű mozdonyok sajátosságaihoz, és így erre vonatkozó külön tanulmányok vagy kivitelek nem voltak szükségesek.

Külön meg kellett azonban fontolni az új rendszernél a kerékkarima egyenlőtlen kopásának esetleges következményeit, mivel az új rendszer szerint minden tengelyt külön aszinkron motor hajt.

Normális aszinkron motorok slipje általában kb. 1—2%, és kb. ugyanolyan mértékű kopások keletkezhetnek a kerékkarimák átmérőiben is két kerék-átesztergálási időpont között.

Ha az egyes tengelyek kerékkarimái egyenlőtlen igénybevétel, anyageltérés, vagy a fékpofák különböző nyomása miatt egyenlőtlenül kopnak, és így az átmérő nagyobb különbségei mutatkoznak, a hajtómotorok közül egyesek meg nem engedhető mértékben túlterhelődhetnek. A slip kis értéke miatt az aszinkron motorok természetesen nagyon érzékenyek a fordulatszám különbségeire. Így például négy hajtott tengelynél 2%-os slip és 1% kerékátmérő-különbség mellett a legkedvezőtlenebb esetben, vagyis ha a négy kerékpár közül három egyenletesen kopik, egy pedig 1%-kal nagyobb átmérőjű maradna, ennek hajtómotora 60%-kal terhelődne túl. A példa mutatja, hogy a kérdést alaposan meg kellett vizsgálni, noha természetesen akkor, amikor az összes kopás két átesztergálási időpont között összesen csak kb. 1%, az egyes tengelyek kerékátmérői között a különbség az 1%-nak csak tört része lehet, és így a valóságban a fenti-nél csak sokkal kisebb terhelés-egyenlőtleniségek keletkezhetnek.

A vizsgálat alapján kezdettől fogva meg is volt állapítható, hogy a hajtómotorok *egyenlőtlen túlterhelésének veszélye nincs meg*, még pedig két ok követke-

tében. Egyrészt az egyes sebességfokokon természetesen különböző — az első sebességi fokon órás terhelésnél kb 7—8%, a legnagyobb sebességi fokozaton kb. 1—2% — slippel járó hajtómotorok általában a gyorsulási szakaszokban vannak legerősebben terhelve, amikor azonban igen nagy (100—10%-os) slippel járnak. A gyorsulási periódusokban tehát a nagy slip miatt, a kerékátmérő különbség csak elhanyagolható egyenlőtlenséget okoz a motorok áramfelvételében.

Másrészt azonban, minthogy mindig az a motor van erősebben terhelve, amelyikhez tartozó kerékkarimák kevésbé kopottak, az így keletkezett erősebb igénybevétel miatt a kevésbé kopott kerékkarimák automatikusan jobban kopnak. A rendszer tehát *önmagát kiegyenlíti*, a kevésbé kopott kerekek automatikusan jobban, a jobban kopottak pedig kevésbé kopnak, s így az esetleges különbségek kiegyenlítődnék, illetve különbségek nem is keletkeznek. A slipnek és kopásoknak gyakorlatilag előforduló értékei mellett a motorok egyenlőtlen terhelésével egy mozdonyon belül tehát nem kellett számolni.

Két mozdonyal történő vontatásnál azonban nem lehet figyelmen kívül hagyni azt, hogy két mozdony kerékkarimái között már az összekapcsoláskor lényeges átmérő-különbség lehet. Amennyiben tehát a két mozdony teljes teljesítményére a nagy slipű gyorsításokon kívül állandó sebességen (pl. hegyi pályákon) is szükség van, a motorok slipjének nagyságától függően ebben a különleges — két mozdonyos — esetben szükséges lehet a slipnek az indító ellenállással való kiegyenlítése.

Lényeges tényezője volt a fentiek jellemezte rendszernek, hogy oly kiviteli megoldások választhatók, melyek *nem tartalmazzak új, bonyolult és még ki nem próbált elemeket*, tehát az új mozdonyok, elvileg új szerkezetek kikísérletezése nélkül, gyorsan és igen kevés kockázattal is elkészíthetők. Fázisváltóként a már ismert és bevált szerkezet is felhasználható, a motorok közönséges egytekerceslésű háromfázisú motorok, a periódusváltó pedig legegyszerűbb megoldásban szintén csak egy háromfázisú aszinkron gép egyetlen gombolyítással.

Egyedüli elvi különbség a periódusváltó és a már régóta használt pólusátkapcsolásos aszinkron motor között csak az, hogy míg a normális motor forgórészében rendes üzemben csak a slipnek megfelelő kb. egy periódusú áram van, addig ugyanezen gépet periódusváltóként használva, a forgórészben is 50 — sőt esetleg nagyobb — periódusú áram kering. A kivitelezésnél tehát csak erre az egyetlen körülményre kell a periódusváltó megszerkesztésénél különös figyelmet fordítani, nehogy a tekercesfejek lefogása a nagy periódusú áramok következtében melegegjen és megsérüljön. Minden egyéb szerkezeti rész szokásos megoldású lehet.

A periódusváltós rendszer hatásfoka a periódusváltó veszteségei miatt természetesen valamivel kedvezőtlenebb, mint az egyszerű fázisváltós rendszeré, jóllehet a periódusváltó okozta többletvesztés egy részét kiegyenlíti az, hogy a gyors fordulató gépek természetesen jobban hatásfokúak, mint a lassú

fordulatszámú főmotor. A periódusváltós rendszer átlagos hatásfokát javítja az a körülmény is, hogy egy sebességen — a gazdaságos sebesség-fokozaton — a hatásfok kb. 5—7%-kal kedvezőbb, mint a többin, és jobb az eredeti Ganz—Kandó-rendszerű forgattyús hajtású mozdonyokénál is. Ez az a sebesség, melyen a vontatómotorok 50 periódussal, közvetlenül a fázisváltó háromfázisú tekercseléséről járnak és így a periódusváltó veszteségei nagyrészt nem mutatkoznak.

Az 1. és 2. pontban kifejtett alapelgondolás szerinti periódusváltós rendszer, az *a)*, *b)* és *c)* pontban feltüntetett megoldásoknak megfelelően, igen sok változatban volt elképzelhető.

A sok lehetséges változat közül néhány egyszerűbbet az alábbiakban ismertetünk.

Amint már említettük, *mozdonyok* részére az *a)* változat szerinti folyamatosan változtatható kommutátor-segédmotoros periódusváltó a hosszú kifejlesztési idő és az említett egyéb okok miatt annakidején nem volt tekintetbe vehető. Az általános vizsgálat után tehát elsősorban a 4—5 fokozatú lépcsős periódusváltók különböző gyakorlati lehetőségeit kellett részletesebben megvizsgálni.

Látszólag legegyszerűbb megoldásként természetesen a periódusváltós rendszer triviális megoldását képező *b)* változat kínálkozott. Még pedig akár abban a legkézenfekvőbb elrendezésben, amely szerint a mozdonyon amúgyis rendelkezésre álló és szinkron motorként is használható fázisváltó, akár abban, melynél egy külön motor, a legegyszerűbb módon, *állandó fordulatszámmal* hajt egy különböző pólusszámokra átkapcsolható periódusváltót. Minden különösebb megfontolás nélkül látható, hogy ily módon a periódusváltó pólusszámától függő különböző periódusszámok a hajtómotorok részére rendelkezésre állanak.

Az I. táblázatban feltüntettük a 3000, 1500, 1000, 750 és 500 percenkénti *állandó* fordulatszámmal — a fázisváltóval vagy külön motorral — meghajtott periódusváltó állórészében indukált feszültségek periódusszámait a periódusváltó különböző pólusszámaitól, továbbá attól függően, hogy a forgórész forgómezejű gerjesztése a forgórész forgásértelmével (+) megegyező vagy ellentétes.

A táblázatból azonnal megállapítható, hogy egyetlen tekercseléssel ellátott periódusváltónál, ha a tekercselés 1 : 2 arányban átkapcsolható, a periódusváltót

3000 állandó fordulattal hajtva csak három megfelelő periódusszám, tehát három egyenletes sebességfokozat érhető el, még pedig 2 : 4 pólus esetén 50, 100 és 150 periódus,

1500 állandó fordulatszámmal 2 : 4 pólusátkapcsolásnál 25, 75, 100 periódus keletkezik, ami a hálózati 50 periódusszámmal kiegészítve négy egyenletes (számítási sorban növekvő) sebességfokozatot ad,

1000 állandó fordulatszámmal 2 : 4 pólusátkapcsolásnál 16, 33, 67 és 83 periódus érhető el, amit a hálózati 50 periódussal kiegészítve, öt egyenletesen növekvő sebességfokozat kapható.



## I. TÁBLÁZAT

Periódusváltó pólusszáma	Forgómező fordulatszama	Relatív* fordulatszám	Periódusszám
<b>A forgórész állandó fordulatszama + 3000 ford/perc</b>			
2	+3000	+6000	100
2	-3000	0	0
4	+1500	+4500	150
4	-1500	+1500	50
6	+1000	+4000	200
6	-1000	+2000	100
8	+ 750	+3750	250
8	- 750	+2250	150
<b>A forgórész állandó fordulatszama + 1500 ford/perc</b>			
2	+3000	+4500	75
2	-3000	-1500	25
4	+1500	+3000	100
4	-1500	0	0
6	+1000	+2500	125
6	-1000	+ 500	25
8	+ 750	+2250	150
8	- 750	+ 750	50
12	+ 500	+2000	200
12	- 500	+1000	100
<b>A forgórész állandó fordulatszama + 1000 ford/perc</b>			
2	+3000	+4000	67
2	-3000	-2000	33
4	+1500	+2500	83
4	-1500	- 500	16
6	+1000	+2000	100
6	-1000	0	0
8	+ 750	+1750	116
8	- 750	+ 250	16
12	+ 500	+1500	150
12	- 500	+ 500	50
<b>A forgórész állandó fordulatszama + 750 ford/perc</b>			
2	+3000	+3750	62
2	-3000	-2250	37
4	+1500	+2250	75
4	-1500	- 750	25
6	+1000	+1750	87
6	-1000	- 250	12
8	+ 750	+1500	100
8	- 750	0	0
12	+ 500	+1250	125
12	- 500	+ 250	25
<b>A forgórész állandó fordulatszama + 500 ford/perc</b>			
2	+3000	+3500	58
2	-3000	-2500	41
4	+1500	+2000	67
4	-1500	-1000	33
6	+1000	+1500	75
6	-1000	- 500	25
8	+ 750	+1250	83
8	- 750	- 250	16
12	+ 500	+1000	100
12	- 500	0	0

\* relatív mező fordulatszám (rotorgerjesztésnél) = rotor forgómező fordulatszám +  
+ állandó rotorfordulatszám.

A periódusváltót még egy 6 pólusú tekercseléssel (vagy további átkapcsolási lehetőséggel) látva el, mindhárom esetben még egy további egyenletesen növekvő fokozatot lehet létrehozni.

750 állandó fordulatszámnál és egy tekercseléssel használható periódus-számkombinációk nincsenek; 2:4 pólusszámkapcsolással és egy másod-  
dik 6 pólusú tekercseléssel azonban 12, 25, 37, 62, 75, 87 periódust kapunk, ami az 50 periódussal kiegészítve hét megfelelő sebességfokozatot ad.

500 állandó fordulatszámnál 4:8 pólusátkapcsolású tekercseléssel 16, 33, 67 és 83 periódus, és a hálózati 50 periódust is tekintetbevéve, öt egyenletes sebességfokozatot kapható. Két tekercseléssel pedig, amelyek egyike 2:4, másika 6 pólusú, 25, 33, 41, 58, 67 és 75 periódus lehetséges, vagyis az 50 periódust is figyelembe véve hét sebességfokozatot áll rendelkezésre.

Az állandó fordulatszámú járó periódusváltóval létrehozható, egymással gyakorlatilag figyelembe vehető arányban álló sebességfokozatok száma, tekintve a rendelkezésre álló hálózati 50 periódust is, a II. táblázatban van összeállítva.

II. TÁBLÁZAT

Állandó fordulatszám	Tekercselések száma*	Sebességfokozatok száma	Sebességek aránya	Periódusszám	
				min.	max.
3000	1	3	1 : 2 : 3	50	150
3000	2	4	1 : 2 : 3 : 4	50	200
1500	1	4	1 : 2 : 3 : 4	25	100
1500	2	5	1 : 2 : 3 : 4 : 5	25	125
1000	1	5	1 : 2 : 3 : 4 : 5	16	83
1000	2	6	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6	16	100
750	2	7	1 : 2 : 4 : 3 : 5 : 6 : 7	12	87
500	1	5	1 : 2 : 3 : 4 : 5	16	83
500	2	7	3 : 4 : 5 : 6 : 7 : 8 : 9	25	75

A gépek súlya és ára szempontjából gazdaságos fordulatszám a szóbanforgó mozdonyteljesítményeknél 1500 és 1000 ford/perc körül van. A gépek gazdaságosságát illetően természetesen általában a nagyobb periódusszámú változatok a kedvezőbbek.

A lehetőségeket az említett — gazdaságilag elsősorban tekintetbe veendő — két fordulatszámra összefoglalva :

1500 állandó fordulatszámú, 2:4 pólusszámra átkapcsolható egyteker-  
cselesű periódusváltóval négy sebesség (pl. 25, 50, 75, 100 km/óra) érhető el, ötödik (125 km/óra) sebességhez még egy további tekercselés szükséges. A legkedvezőbb hatásfokú gazdaságos sebesség a második sebességi fokon, azaz 50 km/óra sebességen van.

1000 állandó fordulatszámú, 2:4 pólusszámra átkapcsolható egyteker-  
cselesű periódusváltóval öt sebesség (25, 50, 75, 100, 125 km/óra), további teker-  
cseléssel hat sebességfok kapható:

\* 1 : 2 arányban átkapcsolható pólusszámú, illetve átkapcsolás nélküli tekercselések.

Egy második tekercselés természetesen többletsúlyt és többletköltséget, és egyben a szerkezet egyszerűségében csökkenést jelent, azonban megfelelő helyet biztosító normális szerkezet és nem túl nagy fordulatszám esetén általában még kellő üzembiztonsággal alkalmazható. Azt a körülményt, hogy a rotorban is 50 periódusú áram kering, a kettős tekercsfejek leszorító szerkezeténél természetesen megfelelően figyelembe kell venni.

Megjegyzendő, hogy a két megoldás közül az 1500 fordulatú fajlagos súlya a nagyobb periódusszámok miatt természetesen valamivel kedvezőbb. Különbség van azonban az egyes sebességfokok teljesítményeinek egymáshoz való arányában is. Az 1000 fordulatú kivitel 75 km sebességtől felfelé aránylag nagyobb teljesítményt ad, attól lefelé pedig az 1500 fordulatú kivitel. Ezért egyéb szempontokat egyelőre nem véve figyelembe, *teher és személyvonati mozdonyra a 4 sebességű 1500 fordulatú, gyorsvonati mozdonyra az 5 sebességű 1000 fordulatú kivitel látszott előnyösnek.*

Megjegyzendő, hogy egyes esetekben döntő szempont lehet, hogy az 1000 fordulatú kivitelnél a fázisváltó forgórésze hat pólussal *vízűtés nélkül* sokkal könnyebben oldható meg.

Fentiek után a c) megoldás szerinti lépcsős periódusváltóval — melynek fokozatai között az átmenet folyamatos — illetve annak legegyszerűbb kivitelével kívánunk foglalkozni, amelynél a periódusváltót pólusátkapcsolás segítségével *több* állandó sebességgel járatható külön motor hajtja.

Ezt megelőzőleg azonban egy nagyon lényeges kérdéssel, nevezetesen a jármű tengelyeit hajtó motorok típusával kell még foglalkoznunk.

A jármű hajtómotorjai ugyanis az *a—c* változatoktól függően lehetnek *csúsztatógyűrűsek* vagy *rövidrezárt* forgórésűek. Csúsztatógyűrűs hajtómotorokat kell alkalmazni akkor, amikor az átmenet egyik periódusszámról a másikra ugrásszerű, míg folyamatos periódusváltozásnál rövidrezárt hajtómotorok alkalmazandók.

A csúsztatógyűrűs és rövidrezárt hajtómotorok alkalmazási területe a periódusváltós rendszernél tehát a következő :

- a) változatban (folyamatos periódusváltó) rövidrezárt,
- b) változatban (lépcsős periódusváltó ugrásszerű átkapcsolással) csúsztatógyűrűs,
- c) változatban (lépcsős periódusváltó folyamatos átmenettel) rövidrezárt

hajtómotorok alkalmazandók.

Csúsztatógyűrűs hajtómotoroknál az indítóellenállás a hajtómotorok csúsztatógyűrűire van kapcsolva, és azokat gyorsítja vagy fékezi az állandó fordulatszámmal járó periódusváltó pólusátkapcsolása után az új periódusszámnak megfelelő fordulatig. Rövidrezárt hajtómotoroknál a c) megoldásban az indítóellenállás a periódusváltó gépeit gyorsítja (vagy fékezi) az egyik állandó fordulatszámtól a másikig, miközben a periódusváltóval közvetlen fémes kap-

csolatban levő rövidrezárt hajtómotorok a periódusváltóval közel szinkron együtt gyorsulnak.

A hajtómotorok típusának tisztázása után alábbiakban rátérünk a c) megoldás kiviteli lehetőségeire.

Mindenekelőtt meg kell állapítani, hogy a mozdony folyamatos gyorsításának csak a legrövidebb időre — sík pályán is legfeljebb csak néhány másodpercre — szabad kimaradnia. Ez azt jelenti, hogy a sebességfokozatok váltása csak kapcsolási művelettel történhetik, a periódusváltó fordulatszámának hirtelen változása nélkül. A periódusváltó fordulatszámának tehát állandóan folyamatosan kell 0 periódustól a legnagyobb periódusszámig változni.

Megjegyezzük, hogy a c) megoldásnak számos — pl. kettős forgórészű — változatával, minthogy ezek új és bonyolult szerkezetet kívánnak, jelen tanulmány keretében nem foglalkozunk. Alábbiakban csak azt az egyszerű változatot részletezzük, melynél egy egyszerű aszinkron gépből álló periódusváltót egy átkapcsolható pólusszámú aszinkron motor forgat.

A III. táblázatban összeállítottuk, hogy a periódusváltó-motor különböző pólusszámú kombinációival és a periódusváltó különböző pólusszámaival milyen periódusszámok adódnak. Az egyes értékek a megfelelő fordulatszámok és pólusszámok alapján az I. táblázatból könnyen meghatározhatók.

### III. TÁBLÁZAT

Sorszám	Periódusváltómotor pólusszámjai	Periódusváltó pólusszáma	Eredő periódusszámok
1	4/8	4	25, 75, 100
2	4/8	6	12, 25, 87, 125
3	6/12	4	16, 33, 67, 83
4	4/8—6	4	16, 25, 75, 83, 100
5	4/8—6	6	12, 25, 87, 100, 125
6	4/8—6	8	16, 50, 100, 116, 150
7	4—6/12	4	16, 33, 67, 83, 100
8	4—6/12	6	25, 75, 100, 125
9	4—6/12	8	16, 50, 83, 116, 150
10	4/8—6/12	4	16, 25, 33, 67, 75, 83, 100
11	4/8—6/12	6	12, 25, 75, 87, 100, 125

Valamennyi esetben a fázisváltóról rendelkezésre álló 50 periódus természetesen még külön felhasználható.

A III. táblázat kombinációi közül az 1, 3, 7, 10 és 11 sorszámúak azok, amelyeknek periódusszámjai egymáshoz gyakorlatilag tekintetbe vehető arányban állanak.

Az 1 és 3 sorszámú *egytekerceslésű*, üzemileg megbízhatóbb szerkezetű kivitelknél elérhető sebességi fokok száma 4, illetve 5. A 7, 10 és 11 sorszámú változa-

tok már *kéttekereslősűek*, tehát valamivel bonyolultabbak, az elérhető sebességi fokok száma viszont 6, 8, illetve 7.

Az említett öt változatra vonatkozóan a periódusváltó fordulatszámjai, az átkapcsolások és az eredő periódusszámok a IV. táblázatban vannak valamennyi sebességfokra összeállítva.

Mind az öt változat megfelel annak a követelménynek, hogy a periódusváltó motor fordulatszáma 0 periódustól a maximumig folyamatosan változik, mégpedig legfeljebb — 1500 fordulattól + 1500 fordulattig.

A mozdonyok indítása és gyorsítása például az 1 sorszámú változat szerint a következő módon történik. A periódusváltó motor 4 pólusra kapcsolva a mozdony nyugalmi állapotában 1500 fordulattal jár. Ekkor a periódusváltóban, mivel a relatív fordulatszám 0, feszültség nem indukálódik. Indításkor a motort 8 pólusra átkapcsolva, az indítóellenállás fokozatos rövidrezárásával a periódusváltó az első sebességnek megfelelő 750 fordulatszámra lassul, miközben a relatív mezőfordulatszám a periódusváltóban 0-ról 750-re, és ennek megfelelően a periódusszám 0-ról 25-re növekedik. A periódusváltóval fémesen közvetlenül összekötött forgórészű motorok ugyanekkor a periódusszám növekedésének megfelelően, közel szinkron fordulaton maximális nyomatékot fejtve ki automatikusan felgyorsulnak az I. sebességre. A további fokozatokra való gyorsításnál a motort — ugyancsak 8 pólusú kapcsolásban — ellenkező értelmű forgásra átkapcsolva, a periódusváltó az indítóellenállás fokozatos újra való rövidzése következtében 750 fordulatról 0-ra lassul, majd ellenkező irányban 750 fordulatra felgyorsul. Eközben a mező relatív fordulatszáma 750-ről folyamatosan 2250-re, a periódusszám 25-ről 75-re növekedik, és a rövidrezárt hajtómotorok ennek megfelelően, közel szinkron tovább gyorsulnak a III. sebességre. A IV. sebességre való áttérésnél a 4 pólusú átkapcsolt motort az indító ellenállással 750 fordulatról 1500 fordulatra gyorsítva, a mező relatív fordulatszáma 3000-re, a periódusszám pedig 100-ra növekedik. Ha a mozdonyt a II. sebességfokon kell járatni, akkor az I. és III. sebesség közötti gyorsítás közben, amikor a periódusszám eléri az 50 periódust, a motorok a periódusváltóról közvetlenül a fázisváltó háromfázisú tekereslésére átkapcsolódnak.

A 7, 10 és 11 sorszámú változatoknál teljesen hasonlóan, a 3 sorszámú változatnál pedig azzal a különbséggel történik az indítás és a gyorsítás, hogy — mivel a 6/12 pólusú motor a 0 periódushoz szükséges 1500 fordulatot nem tudja létrehozni — a periódusváltó gépcsoportot a mozdony nyugalmi állapotában nem a motor hozza fordulatra, hanem mint motor maga a periódusváltó. Az indítóellenállást a periódusváltó csúsztatógyűrűire kapcsolva, ennek fokozatos rövidrezárásával, illetve célszerűbben a csúsztatógyűrűk és a hajtómotorok közti vezetékbe egy — az üresjárású indítás következtében egész kicsire méretezhető — egyfokozatú, rövidrezárható külön ellenállást kapcsolva, a periódusváltó mint motor 1500 fordulatra gyorsul, amely fordulatszám az említett ellenállást rövidrezárva a periódusváltó mint motor a mozdony indításáig üresen jár,



## IV. TÁBLÁZAT

Sorszám	Sebességi fok	Forgómező fordulatszám	Motor-pólusszám	Motor-fordulatszám	Relatív fordulatszám	Periódus-szám	Arányszám
1	4/8 pólusú motor, 4 pólusú periódusváltó						
	0	1500	4	-1500	0	0	
	I	1500	8	-750	750	25	1
	II	1500		0		50	2
	III	1500	8	+750	2250	75	3
	IV	1500	4	+1500	3000	100	4
3	6/12 pólusú motor, 4 pólusú periódusváltó						
	0	1500		-1500	0	0	
	I	1500	6	-1000	500	16	1
	II	1500	12	-500	1000	33	2
	III	1500		0		50	3
	IV	1500	12	+500	2000	67	4
	V	1500	6	+1000	2500	83	5
7	4/12 pólusú motor, 4 pólusú periódusváltó						
	0	1500	4	-1500	0	0	
	I	1500	6	-1000	500	16	1
	II	1500	12	-500	1000	33	2
	III	1500		0		50	3
	IV	1500	12	+500	2000	67	4
	V	1500	6	+1000	2500	83	5
	VI	1500	4	+1500	3000	100	6
10	4/8-6/12 pólusú motor, 4 pólusú periódusváltó						
	0	1500	4	-1500	0	0	
	I	1500	6	-1000	500	16	2
	II	1500	8	-750	750	25	3
	III	1500	12	-500	1000	33	4
	IV	1500		0		50	6
	V	1500	12	+500	2000	67	8
	VI	1500	8	+750	2250	75	9
	VII	1500	6	+1000	2500	83	10
	VIII	1500	4	+1500	3000	100	12
11	4/8-6/12 pólusú motor, 6 pólusú periódusváltó						
	0	1000	6	-1000	0	0	
	I	1000	8	-750	250	12	1
	II	1000	12	-500	500	25	2
	III	1000		0		50	4
	IV	1000	12	+500	1500	75	6
	V	1000	8	+750	1750	87	7
	VI	1000	6	+1000	2000	100	8
	VII	1000	4	+1500	2500	125	10

anélkül, hogy a hajtómotorok eközben nyomatékot fejtenének ki. A mozdony indításakor a periódusváltó 6 pólusra kapcsolt motorjának fordulatszám a indítóellenállás fokozatos rövidrezárásával a fentiekhez hasonlóan 1500-ról 1000-re lassul, aminek következtében hajtómotorok a periódusszám növekedésének megfelelően a mozdonyt teljes nyomatékkal gyorsítják.

A II. és IV. táblázat alapján az elérhető *sebességfokozatok* szempontjából összehasonlíthatók a periódusváltós rendszer *b)* és *c)* alatti megoldásai.

*Egytekercesléses* periódusváltóval, illetve periódusváltómotorral a *b)* alatti csúsztatógyűrűs hajtómotoros megoldásnál 1500 fordulaton 4 sebességhez, 1000 fordulaton 5 sebességhez, a *c)* alatti rövidrezárt hajtómotoros megoldásnál szintén 4, illetve 5 sebességhez jutunk, míg

*kétekercesléses* periódusváltóval, illetve periódusváltómotorral a *b)* alatti csúsztatógyűrűs hajtómotoros megoldásnál 1500 fordulaton 5 sebességhez, 1000 fordulaton 6 sebességhez, a *c)* alatti rövidrezárt hajtómotoros megoldásnál a pólusszámoktól függően 6, 7, illetve 8 sebességhez jutunk.

*Sebességfokozatok* szempontjából tehát egytekercesléses gépeknél a két változat egyenértékű, kétekercesléses alkalmazásakor azonban a rövidrezárt hajtómotorú változat több lehetőséget nyújt.

*Indítási veszteségek* szempontjából a *c)* alatti megoldás kedvezőtlenebb, mivel az 50 periódusnak megfelelő sebességfokozat alatti fokról való gyorsításnál a periódusváltót hajtó motor ellenkező irányba kapcsolásával a periódusváltót előbb fékezni, majd ellenkező irányban gyorsítani kell, ami természetesen számottevően nagyobb indítási veszteséggel jár.

Az eredeti Ganz—Kandó mozdonyokon egyszerű szerkezetű, álló elektródás, vízszintváltoztatással működő folyadékindítóellenállás volt. Ez egyrészt kapcsolókészülékek szempontjából egyszerűbb, másrészt vízindítóval lehetséges volt a főmotor szekunder tekerceslésének a pólusátkapcsolásait megtakarítani. A szekunder tekerceslésnek — amely amint említettük az állórészben volt elhelyezve — sokfázisúvá való kiképzésével, az ugyancsak sokfázisú vízindító bármely pólusszámnál megfelelően működött.

A periódusváltós rendszernél a fenti körülmények az egyszerű pólusátkapcsolás miatt már nincsenek, s így minden további nélkül alkalmazható lenne bármely ismert sokfokozatú *fémindító ellenállás* is. A *c)* alatti megoldásnál a periódusváltó motorához egyetlen fémindító szükséges, a *b)* alatti megoldásnál azonban minden hajtómotor részére külön álló sokfokozatú fémindító szükséges, s ezért fémindítók alkalmazása szempontjából a *b)* alatti megoldás kevésbé kedvező.

Fentiekben részletezett, a legegyszerűbb szerkezetű aszinkron gépekből összeállítható *b)* és *c)* megoldásokon kívül nyomatékosan rá kell újra mutatni azonban az *a)* megoldásra, amelynek periódusváltója folyamatosan változtatható, tetszőleges periódusszámot tud állandóan szolgáltatni, aminek következtében a mozdony tetszőleges állandó sebességgel járhat. Ez a megoldás a vontatás

szempontjából — mint már említettük — kétségtelenül a legkedvezőbb, gépi berendezése azonban bonyolultabb, illetve súlyosabb.

E változatnak igen sok megoldási lehetősége van. Valamennyire jellemző, hogy a periódusváltó primer vagy szekunder tekercselését egy tetszőleges fordulatszámmal állandóan járatható motor forgatja, aminek következtében e motornak kommutátorosnak kell lenni.

Megemlítjük, hogy bonyolultabb szerkezetekkel, melyeknél pl a periódusváltó mindkét tekercselése forgatható, vagy amelynél a periódusváltó a fázisváltóval kettős forgórészű kivitelben összeépült, megfelelő súly- és veszteségmegtakarítást lehet elérni. Ezekkel a bonyolultabb kivitelekkel azonban — noha hasonló kettős forgórészű szerkezet a Krupp—Schön rendszerű motoroknál már a gyakorlatban is alkalmazásra került — a jelen tanulmány keretében nem foglalkozunk. Hasonlóképpen nem foglalkozunk olyan kombinált megoldásokkal sem, melyeknél az indítás és gyorsítás egy bizonyos sebességig állandó periódusszámról történik, e határsebességen felül azonban — a csúsztatógyűrűs hajtómotorokat rövidrezártként használva — a sebesség szabályozása a periódusszám változtatásával történik.

Alábbiakban az *a*) megoldásnak csak azzal az egyszerű változtatával foglalkozunk, amelynek súlya ugyan valamivel nagyobb, amely azonban csak ismert egyszerű elemekből van összeállítva. Ez a változat a periódusváltós rendszernek a Ward—Leonard rendszerrel való kombinációja, amelyet első kivitelként egy motorkocsi részére a MÁV 1940-ben meg is rendelt.

A fázisváltó ennél a változatnál közvetlenül hajtja a Ward—Leonard rendszer egyik gépét, míg a másik a periódusváltóval van mechanikailag egybekapcsolva. A periódusváltó közönséges egytekercselésű aszinkron gép, amelyet a fázisváltó háromfázisú tekercselése gerjeszt (*10. I. ábra*).

Példaképpen 4 pólusú, állórészről gerjesztett periódusváltót választva, ha az állórész 1500 fordulattal forgó mezejében a periódusváltó forgórészét a vele közvetlenül kapcsolt egyik Ward—Leonard (vagy hasonló) rendszerű gép + 1500 és —1500 fordulatszám-határok között forgatja, a periódusváltó forgórészének kapcsain 0 és 100 periódus között változó háromfázisú áram áll rendelkezésre a rövidrezárt hajtómotorok részére.

A Ward—Leonard gépcsoport — melynek gépenkénti ideális teljesítménye ez esetben teljes sebességnél kb fele a jármű teljesítményének — gerjesztésének ismert módon való szabályozásával tehát a periódusszám 0-tól 100-ig tetszőszerint változtatható és bármely értéknél ellenállásvesztés nélkül állandósítható.

Ha a periódusszámot 100 fölé is növeljük — aminek ez esetben 1500 fordulattal nagyobb fordulatszámmal is járó 4 pólusú periódusváltó felel meg — a periódusváltó, az egyenáramú gépek és a hajtómotorok súlyában a vontatási karakterisztika megfelelő kiválasztásával számottevő megtakarításokhoz juthatunk.

A jármű a fentiek szerinti megoldásban bármily sebességgel állandóan

ellenállás-veszteség nélkül járhat. Lassításkor ugyancsak ellenállás-veszteség nélkül automatikusan teljes mértékben visszatáplál.

Ennek a megoldásnak gépei és készülékei szintén régóta ismert, kipróbált legegyszerűbb elemekből állanak, ezért üzembiztonsága igen nagy. Gépi berendezésének súlya természetesen nagyobb, mint a tiszta váltakozóáramú pólusátkapcsolós megoldásoké, a súlykülönbség azonban igen számottevően csökken az indítóellenállás és a főáramkörű kapcsolóberendezés elmaradása következtében.

Mivel ugyanis a főáramkörökben az árammentes állapotban működő reverzáláson kívül más kapcsolás nem történik, főáramkörű megszakítókat tartalmazó kapcsolóberendezésre nincs szükség. A gyorsítás és a sebesség beállítása gerjesztésszabályozással történik, és így főáramkörű indítóellenállás sem szükséges. A jármű üzeme és kezelése rendkívül egyszerű és üzembiztos.

Hatásfok szempontjából a két egyenáramú gép veszteségei következtében ez a megoldás valamivel kedvezőtlenebb, gyakori gyorsításnál és fékezésnél azonban a veszteségmentes indítás és a visszatápláló fékezés folytán a hatásfok hátrány kiegyenlíthető.

Rá kell mutatnunk végül még a fenti megoldásnak egy, a *b)* és *c)* megoldásokkal szembeni számottevő előnyére, mégpedig arra, hogy a gyorsítás teljesen folyamatos lévén, a mozdony vonóereje rövid időre sem szünetel. A *b)* és *c)* megoldásnak ez a hátránya sík jellegű pályákon teljesen elhanyagolható, azonban nehéz hegyi pályákon mind az átkapcsolási idő alatt bekövetkező lassulás, mind a nagy vonóerőnek hirtelen megszűnése okozta esetleges rángatás bizonyos esetekben zavaró lehet.

Megemlítendő — anélkül, hogy részletekbe bocsátkoznánk — hogy a nehéz hegyi pályákon esetleg mutatkozó említett hátrányon a *b)* és *c)* megoldásnál is lehet bizonyos mértékben segíteni, mégpedig oly módon, hogy a hajtómotorokat a sebesség-fokozat váltásánál nem egyidejűleg vagy nem hirtelen kapcsolják át. Ennek biztosítása azonban természetesen bizonyos komplikációkat okoz. Aránylag egyszerűen (kettős indító ellenállással, vagy a hajtómotorok egy része számára áthidaló rövidzáró kapcsolással) megoldható a kérdés, ha a leírt átkapcsolási mód csak az 50 periódus körüli sebességeknél szükséges. Ha pedig a folyadék-ellenállás körében valamennyi hajtómotornál áthidaló rövidzáró, és a folyadék-indítót kezdő állásba előkészítő kapcsolást alkalmazunk, az egyes fokozatok átkapcsolási ideje néhány tizedmásodpercre csökkenthető.

Végül még rámutatunk arra, hogy a periódusváltós rendszer bármely változatánál a Kandó-féle egybeépített fázisváltó helyett ugyanúgy használható bármely olyan kitesztelt háromfázisú szinkronmotor, amelyet a munkavezetésekről transzformátoron át egyfázis táplál, és melynek háromfázisú tekercselése a periódusváltót gerjeszti. A transzformátor feszültségesezésének megfelelő kiválasztásával ugyanúgy biztosítani lehet a szükséges karakterisztikát, mint az egybeépített megoldásnál. Így a jármű, mind a motorfeszültség, mind a  $\cos \varphi$

szempontjából teljesen azonosan működhetik, mint az eredeti Ganz—Kandó mozdonyok. Kis teljesítményű motorkocsiknál az egyenáramú gépet meghajtó szinkron motor helyett szóbajöhet egyszerű rövidrezárt motor is. Nagyobb teljesítményű, vagy nagy számban forgalomban levő motorkocsiknál azonban, valamint mozdonyoknál — az 50 periódusú vontatás gazdaságosságára annyira fontos  $\cos \varphi$  miatt — csak szinkronmotoros megoldás jöhet tekintetbe.

Fentiekben összefoglalva a Ganz—Kandó—Ratkovszky-féle periódusváltós rendszernek az 1935—38 években létrehozott és a Ganz-gyár keretében kifejlesztett fontosabb változatait és azok legfőbb jellemzőit, a következőkben a periódusváltós rendszer szerint készült tényleges kivitelek ismertetésére térünk át.

## II.

A kiválasztandó megoldás végleges megállapítása céljából a Ganz-gyár a fontosabb változatokat súly és gazdaságosság szempontjából részletesen összehasonlította. Ezenfelül azonban a legdöntőbb szempontok egyike a legmegfelelőbb megoldás megállapításánál az volt, hogy a mozdony — a villamosítás addig kényszerű stagnálása után — nagyobb kockázat nélkül, üzembiztos kivitelben minél gyorsabban kifejleszthető legyen.

Erre való tekintettel mind a Ganz-gyár, mind a MÁV véleménye szerint a mozdonyt lehetőleg, egyszerű elemekből kellett felépíteni, melyek működését és üzembiztonságát illetően meglepetésekkel nem kell számolni. Ezért a már említett legkínálkozóbb triviális *b*) megoldást összeépített periódusváltóval annak idején el kellett ejteni, mert a Ganz-gyár akkori véleménye szerint az 1500 fordulatú, amúgyis bonyolult szerkezetű fázisváltóval két csapágyas kivitelben egybeépítendő, 50 periódusú árammérétezett bandázsú, kéttekerceseléses periódusváltó kifejlesztési ideje, a teljesen új, elég bonyolult szerkezeteknél várható, általában csak később mutatkozó különböző hibák miatt nem volt kellőképpen áttekinthető. Az akkori vélemény szerint az új mozdonyok sorozatgyártásának megkezdése emiatt esetleg évekre menő halasztást szenvedhetett volna.

Ezért mind a Ganz-gyár, mind a MÁV első kivitelként az *egyszerű szerkezeti elemekből* alkotott *különmotoros* lépcsős periódusváltós megoldást választotta. Ennél a megoldásnál ugyan egy géppel több volt a mozdonyon, ami kétségekívül hátrány, azonban mind a MÁV-nak, mind a Ganz-gyárnak az volt a véleménye, hogy a vasútvillamosítás akkori állapotában és sürgősségére való tekintettel, *sokkal kisebb hátrányt jelent egy egyszerű, ismert szerkezetű gép többlete, mint egy bonyolult, teljesen új, kipróbálatlan szerkezet* alkalmazása. A külön gépes megoldás természetesen bizonyos súlytöbblettel is járt, a MÁV azonban nagyon helyesen arra az álláspontra helyezkedett, hogy a *nagyobb üzembiztonság és a sorozatgyártás gyors megindítása sokkal fontosabb, mint néhány százalékos súlykülönbség*

A hajtómotorokat illetően akár csúsztatógyűrűs, akár rövidrezárt forgórész tekintetbe jöhetett. Amint az előzőkből látható, külön motorral hajtott

periódusváltónál a periódusváltó gépcsoport egyszerűsége szempontjából a két változat között nincsen különbség.

A rövidrezárt hajtómotor maga azonban az eszményi megoldást jelenti járművek részére. Semmiféle karbantartást, felügyeletet nem kíván, kényes alkatrészei nincsenek, teljesen zárt (a szellőztetést nem tekintve) kivitelben készíthető és ha a szerkezet jó, az üzemben egyáltalán nem kell vele törődni.

A rövidrezárt hajtómotor az állandó ütéseknek, rázásnak, nedvességnek és piszoknak kitett *hajtómotorok részére kétségkívül a legüzemiztosabb megoldás: lényegesen egyszerűbb és üzembiztosabb, mint bármely más rendszer a világon.* Erre való tekintettel a MÁV annakidején a Ganz-gyárral egyetértően a rövidrezárt motorok mellett foglalt állást, noha a rövidrezárt hajtómotorok indítási vesztesége és a mozdony súlya — amint erre már az előzőkben is rámutattunk — valamivel nagyobb, továbbá a mozdony kezelése esetleg valamivel nehezekebb. A csúsztatógyűrűs megoldást csak arra az esetre tartotta a MÁV fenn, ha a Ganz-gyár részéről elvégzendő előkísérlet nem várt módon negatív eredménnyel járna. Annakidején mind a MÁV, mind a Ganz a rövidrezárt hajtómotorok semmi karbantartást nem kívánó egyszerű szerkezetét és nagyobb biztonságát lényegesen többre értékelte, mint az említett hátrányokat.

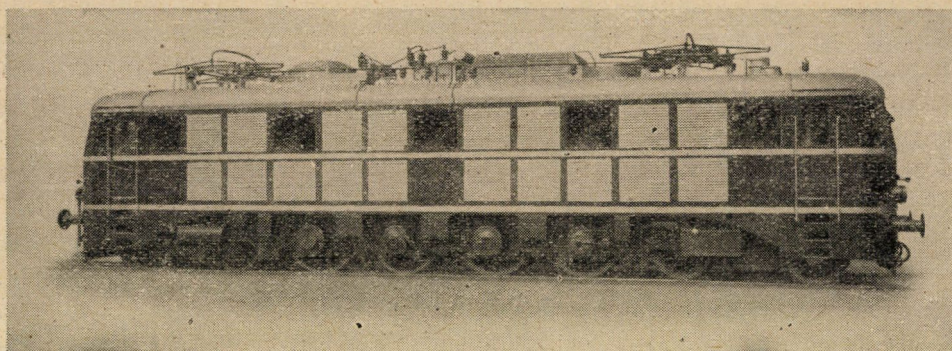
A gyártandó mozdonyokkal kapcsolatban a MÁV és a Ganz-gyár között csak egy kérdésben volt számottevő nézeteltérés, ez a tengelyszám és tengelyelrendezés volt. A Ganz-gyár a lényegesen könnyebb 6 tengelyes Co—Co elrendezéssel és a tengelyeket fogaskerékkel közvetlenül hajtó marokcsapágyas motorokkal kívánta a mozdonyt elkészíteni. Ez az elrendezés igen számottevő — kb 20%-os — súlymegtakarítást jelentett, és ez a megoldás a periódusváltós rendszer részére különösen alkalmas volt, tekintve annak igen kis hajtómotor-súlyait.

A MÁV ezzel szemben akkor még idegenkedett ettől a megoldástól, nem látván azt még világviszonylatban kellően biztosnak és kipróbálnak. Ezért rügös, Secheron-féle hajtással felszerelt 8 tengelyű 2-Do-2 elrendezést kívánt.

A Ganz-gyár tervezte első periódusváltós mozdony két változatának adatai a következők voltak:

	I.	II.
Tengelyelrendezés .....	Co—Co	2-Do-2
Összsúly t .....	115	144
Legnagyobb tengelynyomás t .....	19,5	20
Órás teljesítmény Le .....	4000	4000
Legnagyobb vonóerő t .....	22	22
Sebességfokozatok km/ó .....	25, 50, 75	25, 50, 75,
	100, 125	100, 125
Fajlagos súly kg/Le .....	28,7	36





8. ábra. Az első periódusváltós, 50 periódusú mozdony (4000 Le, 2—Do—2)  
Rendelési év: 1939. Üzembekeült 1943-ban

A MÁV a tőle kívánt 2-Do-2 tengelyelrendezéssel, és a fent megadott II. alatti adatoknak megfelelően 1939 év augusztusában két kísérleti mozdonyt meg is rendelt.

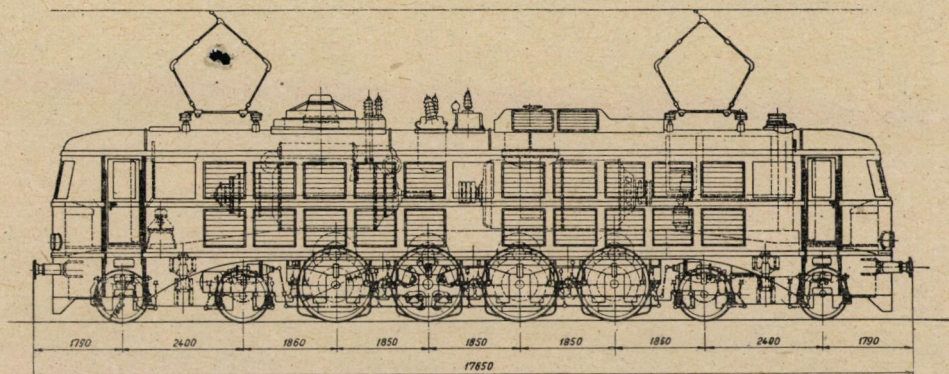
A már említett, a várakozásnak teljesen megfelelő eredményű előkísérlet elvégzése és annak eredményei alapján a IV. táblázat 3. sorszámának megfelelő változat szerinti rövidrezárt hajtómotorú két kísérleti mozdony a második világháború alatt el is készült (8. és 9. ábra). A gyártás, bár a világháború következtében természetesen csak vontatottan haladt, teljesen normális menetű volt, különös gyártási nehézségek — mint ez a gépek ismert egyszerű szerkezete következtében nem is volt várható — egyáltalán nem mutatkoztak.

A mozdony főáramkörű elvi vázlatát (a gépek belső kapcsolásának feltüntetése nélkül) a 10. II. ábra mutatja. Az elvi vázlat arra az esetre vonatkozik, amikor a periódusváltó az állórész oldalról van gerjesztve. Az áttekinthetőség kedvéért nincs feltüntetve a periódusváltót üresjáratban megindító segédellenállás, valamint az sem, hogy a periódusváltó a tényleges kivitelezésnél az első két fokozaton az álló- és forgórész feladatát feleserelve — a forgórész oldalról volt gerjesztve. Ilyen módon ugyanis a stator és rotor áttételét az 1 : 1 aránytól eltérőleg választva elérhető, hogy az első fokozatokon — amikor rövid ideig nagy vonóerők szükségesek — a hajtómotorok nagyobb feszültséget kapva még jobban legyenek kihasználhatók, anélkül, hogy a többi fokozatokon a motor feszültsége feleslegesen nagy lenne.

A Ganz-gyár a gépek számítása közben megállapította, hogy a rövidrezárt motorokat a 0 körüli kis indítási periódusszám miatt a szokásosnál nagyobb rotorellenállással és igen kis stator ellenállással kell készíteni. Ezért azok a megállapítás szerint nem könnyebbek, mint csúsztatógyűrűs kivitelben, hanem ellenkezőleg, súlyuk valamivel még nagyobb. A periódusváltót ugyancsak a 0 körüli kis indítási periódusszám miatt szintén valamivel nehezebbre kellett méretezni.

Az 1943 évben elkészült első mozdony vontatási próbái teljes mértékben





9. ábra. A 2—Do—2 4000 Le-s, 50 periódusú periódusváltós mozdony elrendezési vázlata

igazolták, hogy a periódusváltós új elvi rendszer a nagyvasúti vontatás következményeinek kifogástalanul megfelel.

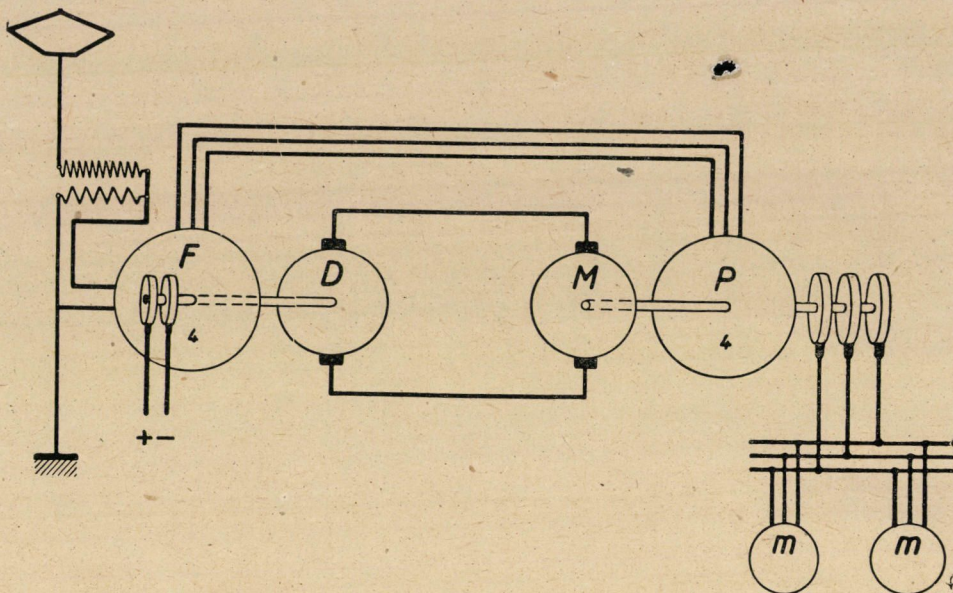
A mozdony mind a próbatermi, mind a vontatási próbákon a szerződésben kikötött összes előírásoknak megfelelt, sőt teljesítményben erősen túlméretezettnek bizonyult. A periódusváltó tekercslefogása — egyszerű szerkesztési hiba miatt — annak következtében, hogy a forgórész tekercsfejeit lefogó bandázs a slip periódusnál lényegesen nagyobb rotor periódusszám miatt erősen melegegett, kétszer megsérült. Ezt követően az ideiglenes átvételhez szükséges próbameneteket a háborús események miatt már 15 800 km után 1944 év elején abba kellett hagyni.

Bár az új rendszer szempontjából egyáltalán nincs jelentősége, a teljesség kedvéért a kiváló vontatási és egyéb próbaeredményeken kívül a próbameneteken tapasztalt mellékjelenségeket is meg kívánjuk említeni.

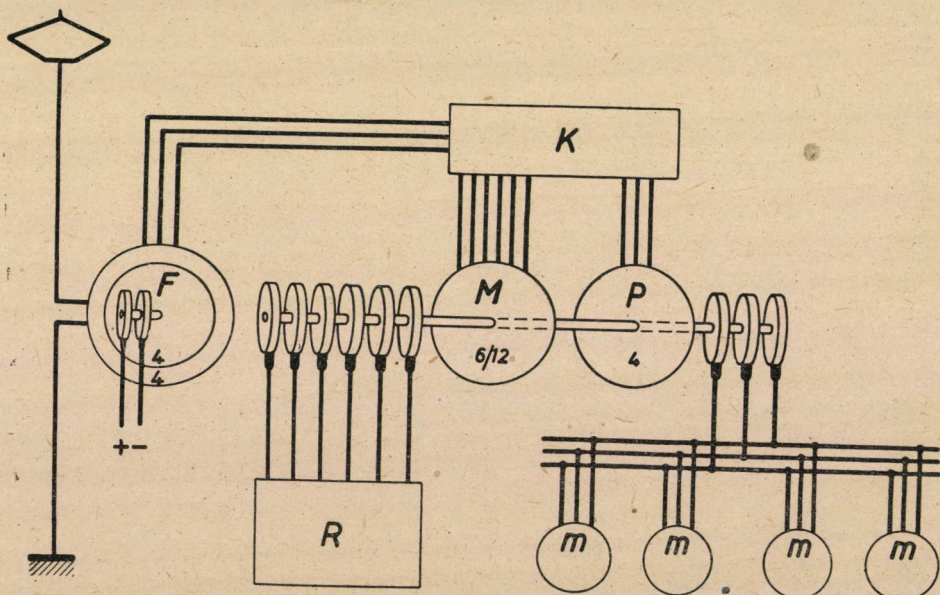
A próbák legelső időszakában időnkénti lengésjelenségek mutatkoztak a hajtómotorok áramkörében, amelyet a segédindítóellenállás meg nem felelő átmeneti ellenállása okozott. Megfelelő kontaktusok alkalmazása után a jelenség teljesen megszűnt és többé nem ismétlődött. Bizonyos nehézségek és kényelmetlenségek mutatkoztak ezután a mozdony kezelésében és üzemében a III-ik sebességre átkapcsoló periódusrelé nem kifogástalan szerkezete és működése következtében, meg azért, mert a terhelés újra felvétele hosszabb időt vett igénybe, amikor a fázisváltó valamely ok miatt fázisból kiesett. A rendszer elvi részétől teljesen független ezen mellékjelenségeknek teljes kiküszöbölését az 1944 évi súlyos háborús események már meggátolták, a rendszer elbírálását azonban ez természetesen nem akadályozhatta.

A kedvező próbaeredmények alapján a MÁV — szembehelyezkedve a Németország részéről kifejezett ama kívánságnak, hogy a villamosítás Magyarországon, legalább is az országok között átmenő fővonalakon, 16 periódussal történjék — a kormányzat részére 1943—44 években előterjesztést tett a



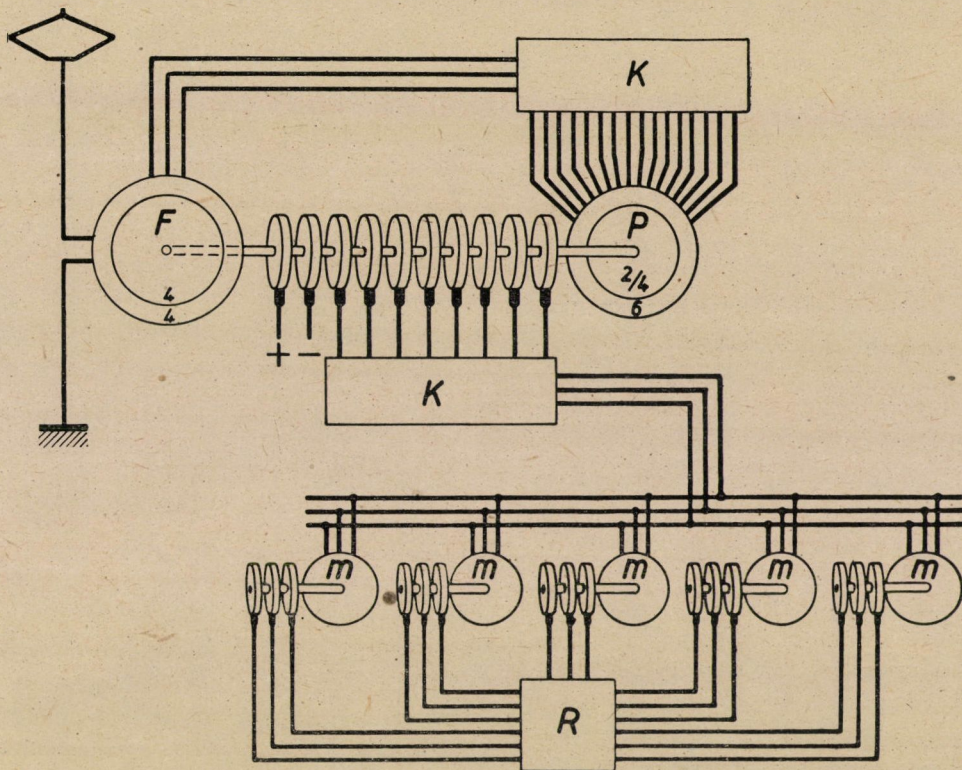


I. Az 1940-ben megrendelt 660 Le-s kísérleti motorkocsi főáramkörű sémája. (Folytonos periódusváltó, a) megoldás)



II. Az 1939-ben megrendelt 2—Do—2 4000 Le-s mozdony főáramkörű sémája. (Lépcsős periódusváltó, rövidrezárt hajtómotorok, c) megoldás)





III. Az 1948-ban megrendelt Bo—Co 3200 Le-s kísérleti mozdony főáramkörű sémája (Lépcsős periódusváltó csúsztatógyűrűs hajtómotorok, b) megoldás)

10. ábra. A periódusváltós rendszer különböző megoldásainak főáramkörű sémái

$F$  = Szinkronfázisosztó, illetve fázisváltó,  $D$  = Egyenáramú gép,  $P$  = periódusváltó,  $M$  = a periódusváltó motorja,  $m$  = hajtómotorok,  $K$  = főáramkörű kapcsolóberendezés,  $R$  = indító ellenállás.

Kétkereselesű gépek kettős körrel ábrázolva. A számok a gépek pólusszámát tüntetik fel Budapest—Hatvan-i 67 km hosszú fővonal villamosítására, és egyben 17 periódusváltós 50 periódusú mozdony beszerzésére tett javaslatot. A MÁV ezenfelül 1944 év folyamán a Budapest—Hegyeshalom-i vonal részére további négy mozdonyt rendelt. Ez utóbbi mozdonyokat a sürgősség miatt azonos kivitelben rendelték meg, mint a két periódusváltós kísérleti mozdonyt, pedig a MÁV akkor már elfogadta a Ganz-gyár javasolta egyszerű marokcsapágyas Co—Co kivitelét. A kedvező próbaeredmények alapján a jövőben sorozatosan rendelendő mozdonyok részére — mint ezt a MÁV 1944 elején nyilvánosságra is hozta — a próbamozdonyok gyakorlati tapasztalatainak felhasználásával a Ganz-gyár által az 1943 évben kidolgozott alábbi két (gyorsvonalati és tehervonalati) sorozattípus bevezetését határozta el. A két típus csak a mechanikai részben tért el egymástól, villamos berendezésük legnagyobb része egységes gyártás, tartalékok stb. szempontjából azonos volt.

Tengelyelrendezés .....	1Bo—Bol	Co—Co
Teljes súly t .....	111	120
Legnagyobb tengelynyomás t .....	19,5	20
Órás teljesítmény Le .....	5000	5000
Legnagyobb vonóerő t .....	24	36
Sebességfokozatok km/ó .....	25, 50, 75,	16, 33, 50,
	100, 125	67, 87
Fajlagos súly kg/Le .....	22,2	24

A MÁV által a próbamozdonyok kedvező eredményei alapján elfogadott sorozatmozdonyok e két típusa (MÁV V45 és V65) rövidrezárt hajtómotoros típusú, és egyébként is teljesen azonos rendszerű volt, mint a két próbamozdony. Fajlagos teljesítménye azonban a túlméretezett próbamozdonyok mérési eredményei és tapasztalatai alapján lényegesen növelhető volt. Ezenkívül mint már említettük, a lényegesen könnyebb kivitelű megengedő tengelyelrendezést lehetett alkalmazni. E két körülmény következtében a mozdonyok fajlagos súlya rendkívül kicsi volt, *kisebb mint bármely más addig* üzembe került akár egyenáramú, akár 16 periódusú mozdonyé. Fajlagos súlyban ebben az időben csak a svájci, akkor gyártott 16 periódusú, kitűnő tulajdonságokkal és könnyű súlyukkal (20 kg/Le) az egész világon feltűnést keltő 4000 Le-s BBC és a 6000 Le-s Oerlikon mozdonyok voltak valamivel kedvezőbbek. Ezeknél azonban összehasonlításkor a későbbiekben még említendő szempontokat is figyelembe kell venni. Ebben az időben tehát az 50 periódusú periódusváltós mozdonyok fajlagos súly szempontjából *bármely áramnemű rendszerrel szemben is az egész világon a legelső helyek egyikén voltak.*

Az 1944 évben megrendelt 2-Do-2 típusú 4 mozdonyt a háború miatt már nem vették munkába. Az 1944 év második felében bekövetkezett súlyos háborús események következtében pedig a 2 kísérleti mozdony is súlyosan megsérült.

Mielőtt a legújabb idők eredményeire és a jövő perspektívájára rátérnénk, néhány szóval meg kell említeni a nagyvasúti *villamos motorkocsik* kérdését is. Korszerű nagyvasúti forgalom motorkocsik és motorvonatok nélkül ma már nem képzelhető el, és így természetesen az 50 periódusú nagyvasúti motorkocsik kérdését is meg kellett oldani, annál is inkább, mert a vasútvillamosítás egyik további előnye, hogy a leggazdaságosabban teszi lehetővé a gyors és kényelmes személyszállító motorvonat-forgalmat, nyersolajmotorok és nyersolajfogyasztás nélkül.

Nyilvánvaló, hogy az eredeti Ganz—Kandó mozdonyok rendszere motorkocsik részére nem volt alkalmas, mert motorkocsikhoz csak a forgózsámolyokban elhelyezett, gyorsfordulatú motorok jöhetnek tekintetbe. Kandó ezért már annakidején foglalkozott motorkocsik részére alkalmas megoldás kidolgozásával is, ez azonban — különös tekintettel a motorkocsikkal szemben támasztott lényegesen megnövekedett igényekre — nem vezetett gyakorlatilag is megfelelő megoldáshoz.

Előre kell bocsátani, hogy 50 periódusú motorkocsik részére, más megoldás híján, a régóta ismert egyfázisú szinkronmotorral hajtott, Ward—Leonard-féle egyenáramú rendszer is megfelel, s ezért motorkocsik részére új rendszer kifejlesztése nem is lett volna okvetlenül szükséges. Mozdonyok számára a nagy teljesítmények miatt ez a megoldás, a nagy teljesítményű egyenáramú gépek kedvezőtlen tulajdonságai miatt mint ismeretes kevésbé kedvező, bár természetesen szintén alkalmazható.

A fejlődés Magyarországon kb 15 évvel ezelőtt nagyteljesítményű motor-kocsikra vonatkozólag is megindult, és kétféle rendszernek próbarendeléséhez vezetett. A MÁV 1940-ben a Ganz-gyárnál egy-egy négytengelyű próbamotor-kocsit rendelt, a hazai periódusváltós és a Siemens-féle kommutátormotoros rendszer szerint.

A megrendelt periódusváltós motorkocsinál a periódusváltós rendszernek az előzőkben *a)* alatt leírt, a motorkocsik teljesítményének, a sűrű indításoknak és fékezéseknek jobban megfelelő, és a távolabbi jövőben mozdonyok részére is tervbevett, tetszőleges állandó sebességet, veszteségmentes gyorsítást és fékezést biztosító megoldása került alkalmazásra a 146 oldalon már ismertetett Ward-Leonard kombinációban (*10. I. ábra*). Az egyenáramú gépek rugalmas karakterisztikát biztosító kombinált mellék- és főáramkörű (anticompound) gerjesztéssel működtek, ami a jármű részére igen egyszerű kezelést és nagy gyorsításoknál is kényelmes egyenletes indítást biztosított.

Az összes gépek — amint említettük — ismert egyszerű szerkezetűek, a hajtómotorok rövidrezárt forgórészűek voltak.

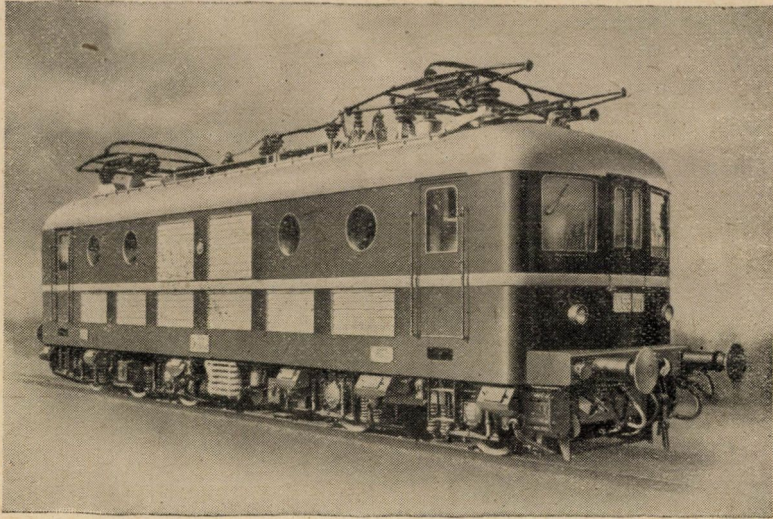
Az 1940 évben megrendelt periódusváltós motorkocsi órás teljesítménye 660 Le, legnagyobb indítási vonóereje 4,6 tonna, villamosberendezésének teljes súlya két maroksapágyas rövidrezárt hajtómotorral 17 tonna, legnagyobb sebessége 125 km/óra, illetve fogaskerékáttétel cserével 150 km/óra volt.

Az ugyancsak 1940 évben megrendelt *Siemens rendszerű kommutátormotoros* motorkocsi órás teljesítménye 16%-kal kisebb, mégpedig 550 Le volt, 2,8 tonna legnagyobb indítási vonóerővel. Villamos berendezésének súlya két kommutátoros motorral 14 tonna, visszatáplálásra alkalmas megoldással 16 tonna, hajtómotorainak súlya egyenként 2,5 t, míg a 20%-kal nagyobb teljesítményű periódusváltós motorkocsi hajtómotorának súlya 1,5 t volt.

A kétféle megoldást — melyek mindegyike hosszabb motorvonatok részére többes vezérlésű volt — összehasonlítás céljából választották.

A Siemens-motorkocsi előnye: kisebb súlya, amely azonban a bonyolult motor és a berendezések lényegesen nagyobb fajlagos ára miatt árban nem jelentett előnyt, és az, hogy nem tartalmaz forgó segédgépeket. Ezzel szemben hátránya a kommutátoros hajtómotorok bonyolultabb, és számottevő karbantartást kívánó szerkezete, valamint ezek lényegesen nagyobb — azonos teljesítményre vonatkoztatva csaknem kétszeres — súlya, továbbá a kedvezőtlen teljesítmény tényező.





11. ábra. A Bo—Co 3200 Le-s 50 periódusú periódusváltós kísérleti mozdony  
Rendelési év 1948. Üzembekerült 1950-ben

Miután a rendszer fékezésekor általában nem táplál vissza, a gyakori gyorsításokkal és fékezésekkel járó motorkocsi üzemben jobb hatásfokának előnye elvész.

A periódusváltós motorkocsi összsúlya kétségtelenül valamivel (kb 3—5%-kal) nagyobb, aminek azonban gyakorlati jelentősége nincsen, és ezenfelül a villamos berendezés fajlagos súlya — miként a mozdornál is — még csökkenthető is lett volna. Ezenfelül forgó segédgépeket tartalmaz, ezek azonban egyszerű szerkezetű, ismert gépek. Kétségtelen előnye a könnyű és üzembiztos rövidrezárt hajtómotor, továbbá a jó teljesítménytényező.

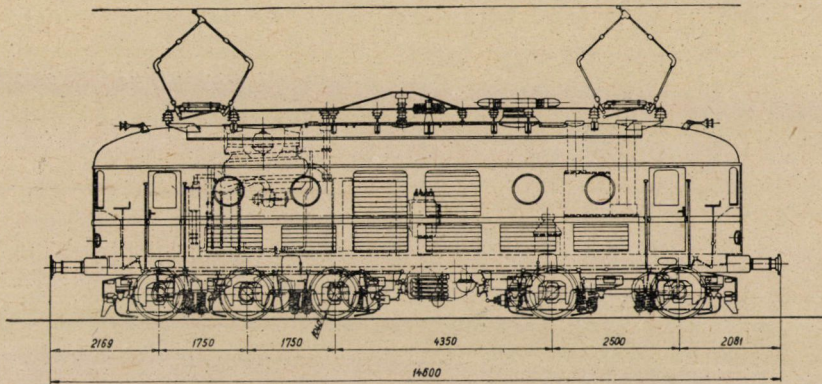
Mindkét motorkocsi gyártása az időközben bekövetkezett második világháború miatt csak nagyon vontatottan haladt előre, végül pedig az éppen elkészült berendezések 1944. évben a háborús események miatt részben el is pusztultak.

\*

Magyarországon a háború pusztításai után, az ország minél gyorsabb gazdasági talpraállítása érdekében nagyon hamar ráterelődött a figyelem a nagyvasutak villamosításának folytatására. A kormányzat azonnal átlátta a kérdés fontosságát és 1948-ban haladéktalanul elhatározta első lépésként a Budapest—Hatvan—Miskolc 182 km hosszú kétvágányú vonal villamosítását és két újabb 50 periódusú próbamozdonyt vettetett a Ganz-gyárral sűrűszen munkába.

Az anyagtakarékosság fontos népgazdasági szempontjait is szem előtt tartva a MÁV az új mozdonyokat 1943. évi elhatározásának megfelelően már forgósámolyokban elhelyezett marokcsapágyas motorokkal rendelte,





12. ábra. A Bo—Co 3200 Le-s periódusváltós mozdony elrendezési vázlata

minek következtében most már ténylegesen is lehetővé vált a már említett lényegesen könnyebb típus gyártása. Ugyancsak a súlymegtakarítás érdekében a Ganz-gyár e rendelésnél visszament a csúsztatógyűrűs kivitelre, elvállalta a fázisváltó és periódusváltó közös tengelyű két csapágyas súlyban könnyebb, de elég bonyolult kivitelének megszerkesztését, miután a MÁV megváltoztatta az annak idején a Ganz-gyárral egyező álláspontját a rövidrezárt hajtómotorok alkalmazását illetően. Mind a MÁV-nál, mind a Ganznál ebben az időben az a vélemény uralkodott, hogy a rövidrezárt hajtómotorok egyszerűbb, karbantartást egyáltalán nem kívánó szerkezete, valamint nagyobb üzembiztonsága nem elég ok a nagyobb indítási veszteségnek, és a *c)* vagy *a)* megoldás súlytöbbletének vállalására, és a Ganz-gyár ezuttal inkább egy kisebb súlyú de teljesen új szerkezet kockázatát vállalta. Bár a két kísérleti mozdony az említett okok miatt csúsztatógyűrűs hajtómotorokkal készült, a rövidrezárt hajtómotorok kérdésére a későbbiek folyamán még szükségesnek látjuk visszatérni. A MÁV a népgazdaság egyetemes szempontjait figyelembe véve, arra a megállapításra is jutott, hogy az 1939-ben megrendelt mozdonyok 4000 Le-s és az 1943-ban tervbevett 5000 Le-s teljesítménye feleslegesen nagy. Ezért megelégedett 3200 lóerő óráteljesítménnyel, azonban a legnagyobb tengelynyomást a pályaviszonyok romlására való tekintettel, egyben 20 tonnáról 18 tonnára csökkentette.

Az új kísérleti mozdonyok (11. és 12. ábra) fő jellemző adatai a következők:

Tengelyelrendezés .....	Bo—Co
Teljes súly .....	89 t
Legnagyobb tengelynyomás .....	18 t
Órás teljesítmény .....	3200 Le
Legnagyobb vonóerő .....	21 t
Sebességfokozatok .....	25, 50, 75, 100, 125 km/ó
Fajlagos súly .....	27,8 kg/Le

A periódusváltó az előzőekben ismertetett *b)* szerinti megoldásnak elvben a legegyszerűbbnek kínálkozó, de szerkezetben kényes azon változata szerint készült, amelynél a periódusváltó a fázisváltóval összeépítve állandó 1500 fordulattal forog, és amelynél 5 sebesség eléréséhez két tekerceselés szükséges. A hajtómotorok ez esetben természetesen csak csúsztatógyűrűs motorok lehetnek (10. III. ábra).

Ez a megoldás, amint az már a periódusváltós rendszer kifejlesztésének idején is megállapítható volt, súlyban kétségkívül valamivel kedvezőbb. Fajlagos súlya csak a mozdony lényegesen kisebb teljesítménye miatt nagyobb, mint az 1943 évben kifejlesztett 5000 Le-s rövidrezárt hajtómotoros típusé. Viszont egyrészt elejti a rövidrezárt motorok igen nyomós okkal latbaeső előnyét, másrészt a kényes szerkezet üzembiztos kifejlesztésének ideje — mint már említettük — nem tekinthető kellő alapossággal át, és ezért a sorozatgyártás megindításáig már eleve hosszabb idővel kellett számolni.

A két próbamozdony közül az első 1950 augusztusában, a második 1952 januárjában került üzembe.

A mozdonnyal végzett próbák szerint a villamos berendezés elve — mint ez az eddigi eredmények alapján másképp nem is volt várható — a vontatási követelményeknek teljes mértékben megfelelt. Ez a megoldás is *teljes mértékben igazolta tehát a periódusváltós rendszernek nagyvasúti mozdonyok részére kiválóan alkalmas voltát*. A próbák egyben azt is igazolták, hogy a marokcsapágyas motoroknak annakidején a MÁV részéről vitatott alkalmazhatósága is megfelelt a kívánalmaknak.

Maga a szerkezeti megoldás — amint az a bonyolultabb új szerkezeti megoldásokkal szerzett tapasztalatok alapján előrelátható is volt — ismételten is bizonyos mértékű változtatásokra szorult. Ez, továbbá különböző kivitelezési hibák a próbaüzemet és a vonalak villamosításának tervezett ütemét meg is zavarta és késedelmet okozott. Az ismételt javítások miatt az első mozdony 1 1/2 évi próbaüzem alatt csak kb 45 000 km-t tudott megtenni.

Az említett két kísérleti mozdonyon kívül 1950-ben a MÁV még két tolatómozdonyt és két motorkocsit rendelt meg a Ganz-gyárban, még pedig a Ganz-gyár javaslatára valamennyit szinkron motorral kapcsolt egyszerű Ward—Leonard hajtással, hogy azok előzetes kísérletek nélkül mielőbb elkészíthetők legyenek.

A Ward—Leonard hajtású 660 Le-s új motorkocsi villamos berendezése 17 tonna, tehát gyakorlatilag ugyanolyan súlyú, mint az 1940-ben megrendelt periódusváltóval kombinált Ward—Leonard rendszer volt. Előnye azzal szemben a teljesen ismert szerkezet, hátránya viszont, hogy az 50%-kal nehezebb hajtómotor súlya miatt a rúgózatlan tömegek nagyobbak és ezenfelül az egyenáramú motor nagyobb méretei a tengelyenkénti teljesítményt korlátozzák. A Ward—Leonard rendszert a MÁV a teljesen ismert szerkezet gyorsabb kifejlesztési lehetősége miatt választotta, annál is inkább, mert a Ganz-gyár abban

az időben a periódusváltós rendszer rövidrezárt hajtómotorú kivitelevel nem kívánt foglalkozni.

Végül még megemlítjük, hogy 1951-ben a Ganz-gyár további két mozdonyt vett munkába, melyek — további szerkezeti javításokkal és egyelőre csak egy tekerccseléssel ellátott periódusváltóval négy sebességfokozat részére — lényegében azonosak a már gyártott két próbamozdonyval.

### III.

A periódusváltós mozdonyokkal szerzett eddigi tapasztalatok, továbbá a lehetséges különböző változatok alapján, a jövőt illetően a következő megállapítások tehetők.

Kétségtelen, hogy *amennyiben* helyesnek lehetne elfogadni azt a szempontot, hogy a semmi karbantartást nem kívánó rövidrezárt hajtómotorok a világon levő összes rendszereknél lényegesen nagyobb üzembiztonságáért bizonyos áldozatokat hozni nem érdemes — amely szempontra még vissza fogunk térni — akkor a periódusváltós rendszernek legkönnyebb megoldása a *b)* alatti, fázisváltóval egybeépített periódusváltó, amely a legkisebb súlyú és veszteségű elrendezést adja. E megoldás sorozatgyártásra alkalmas kivitelének és további típusainak kifejlesztésénél az összeépített elég bonyolult szerkezetű gépcsoportnak szerkezeti nehézségei miatt azonban számolni kell olyan hibákkal is, melyek csak a próbaüzem folyamán kerülnek felszínre. Ennek következtében számolni kell a sorozatgyártások elkezdésének esetleg számottevőbb eltolódásával is. Nagyobb (4000—5000 Le) teljesítményű típusok összeépített gépcsoportja már nem oldható meg a most kifejlesztett gépek egyszerű hosszabbításával, azoknak újra való kifejlesztése és kipróbálása szükséges.

A legrövidebb idő alatt és a legbiztosabban — mint már említettük — a külön motoros periódusváltós típus fejleszhető ki, mivel az a legegyszerűbb elemekből áll, súlya és hatásfoka azonban valamivel kedvezőtlenebb. Ez a megoldás akár csúsztatógyűrűs, akár rövidrezárt motorokkal készíthető.

Az egyes változatok közül természetesen egyiket sem lehet mint a legkedvezőbbet kiválasztani, mivel mindegyiknek vannak előnyei és hátrányai.

Minden szempontot figyelembe véve az a megállapítás látszik a leghelyesebbnek, hogy *amennyiben* középsebességű mozdonyokhoz 4, nagysebességű mozdonyokhoz pedig 5 sebesség elegendő és a rövidrezárt hajtómotorok előnye elejthető, akkor

teher- és személyvonati mozdonyok részére az 1500 fordulátú 4 sebességű, gyorsvonati mozdonyok részére pedig az 1000 fordulátú 5 sebességű változat

a legcélszerűbb.

Mindkét megoldás, mint láttuk, megoldható egytekerccselésű periódusváltóval.

A tengelyrendezést illetően a kívánt teljesítményektől és megengedett tengelynyomásoktól függően Bo—Bo, Co—Co, vagy Bo—Co kivitel alkalmazandó. Tájékoztatólag megemlítjük, hogy 20 t legnagyobb tengelynyomásnál a 4 sebességű Bo—Bo típus kb 3000 Le, az 5 sebességű Co—Co típus pedig kb 5500 Le teljesítményre készíthető.

Amennyiben több sebességfokozat szükséges, a periódusváltón mindkét esetben második tekerceselést is alkalmazva, egy-egy további sebességfokozat kapható, a mozdony teljesítményének egyidejű kisebb mértékű csökkenése mellett.

A hazai viszonyokat illetően a legközelebbi évekre vonatkozóan, a jelenlegi megoldásban lényegében már kifejlesztett típus alapján a következőket lehet megállapítani, amikor a rendszer későbbi továbbfejlesztését egyelőre nem is vesszük még figyelembe. Mivel népgazdasági érdekből *a nagyvasutak villamosítása rendkívül fontos és sürgős*, továbbá, mert az gazdaságosan — ma már a magyarországi véleményen túlmenően általános vélemény szerint is — csak 50 periódussal történhetik, az 50 periódusú mozdonyok eddigi próbaeredményeit ebből a döntő fontosságú szempontból kell megítélni. Az 1 1/2 éves próbaeredményekből megállapítható, hogy bár kisebb-nagyobb szerkezeti átalakításokkal még mindig számolni kell, azonban egytekerceselésű, tehát négy sebességű kivitelben — amely a magyarországi és hasonló viszonyoknak egyelőre teljesen megfelel — a kifejlesztett típus gyártható. Az 5-ik sebességfokozat üzembiztos kivitelének kérdése még tanulmányozást és kísérleteket kíván. Rá kell mutatni, hogy néhány mozdony későbbi aránylag kisebb mértékű átalakításának költsége — amivel még az említettek alapján számolnunk kell — teljesen eltörlül az egyetemes népgazdasági érdekek mellett, és semmiesetre sem szabad megakadályoznia a vasútvillamosítás sürgős folytatását.

A periódusváltós kísérleti mozdonyok eredményei és az említett megfontolások alapján a legközelebbi jövőt illetően tehát az alábbi megállapításokat kell tenni:

1. A periódusváltós rendszer nagyvasutak 50 periódusú villamosítására minden szempontból teljes mértékben bármily teljesítményű és sebességű mozdonyok számára mind sík, mind hegyipályákon alkalmas.

2. Lényegében a kísérleti mozdonyok szerkezete szerint, Magyarország és egyes más országok kívánalmait is általában még hosszú ideig kielégítő négysebességű (25, 50, 75, 100 km/óra), egytekerceselésű mozdonyok gyártása a szükségletnek megfelelő keretben megindítható.

3. Az 1. és 2. alattiak alapján a vasútvillamosítást sürgősen és minél nagyobb keretben folytatni kell.

4. Az 5 sebességű kivitel esetleges sorozatgyártása csak a tekintetbe jövő kivitelek *alapos* kipróbálása után kezdhető meg. Az öt sebességű esetleges kivitel kísérleteinek a négysebességű, *sorozatban gyártandó mozdonyok üzembiztonságát és gyártását semmiben sem szabad megzavarnia.*



5. Fenti, a legközelebbi idők szükségletének fedezésére alkalmas intézkedéseken kívül azonban sűrűsően foglalkozni kell a *periódusváltós rendszerű továbbfejlesztésével*, figyelembevéve a külföldi fejlődést, igényeket és szükségleteket.

A periódusváltós rendszer továbbfejlesztését illetően az alábbiakat hangsúlyozzuk.

Semmiesetre sem helyes az, hogy a típus kifejlesztésénél mint legfőbb szempont a mozdony fajlagos súlya legyen irányadó. Épp oly kevésbé helyes legalább két mozdonytípus (teher és gyorsvonati) helyett egyetlen ú. n. egységtypust erőltetni. Egyetlen típus általános alkalmazása kétséggkívül jelent komoly előnyöket, azonban ha a vasútvillamosítás megfelelő mértékű, ez a megoldás kevésbé gazdaságos, mert a mozdonyok bizonyos mértékű túlméretezését teszi szükségessé, amely megfelelő számú mozdony használatánál már nagyobb hátrányt jelent, mint az egységtypus előnye.

Lényeges szempont azonban az, hogy az 50 periódusú periódusváltós rendszernek a 16 periódusú, egyenáramú, továbbá a más rendszerek szerinti 50 periódusú mozdonyokkal való összehasonlításánál itt-ott mutatkozó esetleges *hátrányai* — még akkor is, ha azok nem nagy jelentőségűek — *minél jobban kiküszöbölhetők, előnyei pedig minél jobban kihasználhatók legyenek.*

Ilyen, bizonyos esetekben mutatkozó esetleges hátrányként kell felemlíteni

- a sebességfokozatok kis számát,
- a vonóerő kimaradását sebességváltáskor,
- a fázisváltó vízűtését,
- folyadékellenállás alkalmazását,
- egyes megoldások bonyolult szerkezetét.

A legfőbb előnyök pedig a következők :

- a teljesítménytényező  $\cos \varphi = 1$  körüli értéke,
- egyszerű, kipróbált szerkezeti elemekből összeállítható szerkezet,
- legkisebb súlyú hajtómotor, kommutátor helyett csúsztató gyűrűvel,
- illetve a legegyszerűbb szerkezetű, karbantartást és felügyeletet egyáltalán nem igénylő, *rövidrezárt* hajtómotorok alkalmazásának lehetősége.

Fentiekől következik, hogy a már kifejlesztett típuson kívül a jövőt illetően olyan korszerű és az általános igényeket is kielégítő típusok kifejlesztésének irányába kell haladni, melyeknél

- a legegyszerűbb szerkezeti elemekkel a legtöbb, illetve tetszőleges sebességfokozat állítható elő,*
- a vonóerő egyáltalán nem, vagy csak korlátozottan és rövid időre marad ki,*
- a fázisváltó vízűtés helyett léghűtésű,*
- a folyadékellenállás mellőzhető, vagy fémellenállással pótolható.*

A *rövidrezárt hajtómotorok* kérdését újra és *alaposabban* meg kell vizsgálni, mert kétségtelen, hogy üzemi szempontból ideális típus a vasúti üzem számára.

Részletesen meg kell vizsgálni az *a)* pontban említett folyamatos periódusváltós megoldás lehetőségeit, mivel *vonatási szempontból az az ideális megoldása* a periódusváltós rendszernek. Sajnálatos, hogy az ezen rendszer szerint 1940-ben már megrendelt és nagyrészt el is készült motorkocsit a háború alatt megsérült néhány alkatrész pótlásával nem állították össze és nem próbálták ki. Ez a megoldás mind motorkocsik, mind (különösen hegyi pályán) mozdonyok részére a legnagyobb mértékben érdekes, mert

tetszőleges sebességgel járhat fokozatok nélkül,  
gyorsítása folyamatos, tehát a vonóerő nem marad ki,  
több jármű kapcsolható össze, függetlenül a kerékkarima kopásától,  
folyadékindítója nincsen, mivel a főáramkörben ellenállás nem szükséges,  
indítása és fékezése veszteségmentes,  
rövidrezárt hajtómotorjai vannak,  
teljesen ismert egyszerű elemekből van összeállítva,  
vonatási tulajdonságai a legkedvezőbbek,  
automatikusan visszatáplál mind állandó sebességnél, mind fékezéskor.

E megoldás felsorolt számos és igen fontos előnyével szemben áll a mozdony valamivel nagyobb súlya és valamivel kedvezőtlenebb hatásfoka. A különbséget azonban erősen csökkenti a vízindító és a főáramkörű kapcsolóberendezés elmaradása továbbá, hogy a veszteségmentes indítás és fékezés folytán a kedvezőtlenebb hatásfok részben kiegyenlítődik. Megfelelő módon biztosítani kell természetesen a fázisból való esetleges kiesés esetére a gyors újraindítást is.

A fent általánosságban felsorolt hátrányokkal és előnyökkel kapcsolatban még az alábbiakat kell megjegyezni.

Közepes hőmérsékletű éghajlaton a fázisváltó vízhűtésének kiküszöbölése és a folyadékindító mellőzése esetleg kívánatos lehet, de nem szükséges. Hideg éghajlaton — pl. a Szovjetunióban — azonban sem a vízhűtés, sem a folyadékindító egyáltalán nem jöhet tekintetbe.

Sík pályán a vonóerő átkapcsoláskor való kimaradásának nincs jelentősége, a sebességfokozatok számának növelése bár kívánatos, de szintén nem szükséges. A Budapest—Hegyeshalom-i pályának *20 éves üzeme ezt a megállapítást teljes mértékben igazolta.* Hegyi pályán azonban mind a vonóerő kimaradásának kérdése, mind a sebességfokozatok számának szaporítása lényeges szempont lehet.

A szerkezetek egyszerűsítése és ezzel a különböző típusok gyors kifejlesztési lehetősége és az üzembiztonság növelése minden esetben kívánatos. Hangsúlyozni kell, hogy *a gyakorlatban sokkal kevésbé hátrányos eggyel több, egyszerű, bevált szerkezetű elemnek, mint bonyolult új szerkezeti megoldásoknak alkalmazása. Lényegesebb szempont az egyszerű üzembiztos szerkezet, mint a valamivel kisebb súlyú és veszteségű bonyolultabb megoldás elméleti nagyobb gazdaságossága.* Figyelembe véve a kifejlesztés költségeit és munkaerőszükségletét, a kifejlesztési idő elhúzódását — ami azt jelenti, hogy a gyártási kapacitás hosszú időre feles-

legesen le van foglalva anélkül, hogy a kívánt előnyök már igénybe vehetők lennének — a kifejlesztési idő üzemzavarait, azok következményeit és költségeit, nem hangsúlyozható eléggé, hogy *a gyakorlatban végül mindig az egyszerű és üzembiztos szerkezet bizonyul gazdaságosabbnak.*

*A rövidrezárt hajtómotorok alkalmazásával kapcsolatban nem szabad szem elől téveszteni, hogy a periódusváltós rendszernek a rohamos fejlődésnek indult kommutátormotoros és egyenirányítós rendszerekkel szemben két döntő jelentőségű előnye van. Egyik a jó  $\cos \varphi$ , a másik az egyszerű szerkezetű, minél kisebb karbantartást kívánó hajtómotor. A  $\cos \varphi$ -vel kapcsolatos előny a soros kondenzátorok gazdaságosságának és üzembiztonságának gyors fejlődése miatt mindinkább veszt a jelentőségéből. A csúsztatógyűrűs aszinkron motorok kétségkívül egyszerűsítést jelentenek a kommutátoros motorokkal szemben. Nem szabad azonban szem elől téveszteni, hogy olyan egyszerű hajtómotort, mint a rövidrezárt kivételű, amelynek kefeje és kopásnak kitett része nincsen, karbantartást és felügyeletet egyáltalán nem kíván, a periódusváltós rendszeren kívül semmiféle más rendszernél a világon nem lehet alkalmazni. Ezért ez a kérdés, melynek jelentőségét a Francia Államvasutak az Annecy-i konferencián is igen nyomatékosan hangsúlyozták, és a jelenlegi hazai Bo—Co mozdonyokon alkalmazott megoldással szemben a fejlődésnek erre az útjára mutattak a leghatározottabban rá, a periódusváltós rendszer jövőjét illetően is a legnagyobb figyelmet érdemli, és azzal alaposan kell foglalkozni.*

#### IV.

A következőkben befejezőül néhány jellemző szempont alapján röviden összehasonlítjuk a periódusváltós és a különböző külföldi 50 periódusú mozdonyrendszereket. Előre kell bocsátanunk, hogy az összehasonlítás csak igen nagy vonalakban lehetséges, egyrészt, mert egyik rendszerről sem ismeretesek az adatok kellő mértékben, másrészt pedig, mert valamennyi még erősen a fejlődés állapotában van.

Az V. táblázatban tájékoztatásul összeállítottuk a különféle rendszerű összes 50 periódusú mozdonyok legfőbb jellemzőit.

Az egyes rendszereket a mozdony súly, hajtómotorsúly,  $\cos \varphi$  hatásfok és szerkezet szempontjából állítottuk egymás mellé, felemlítve ezenkívül az esetleges egyéb számottevőbb különbségeket is. Az összehasonlítás a külföldi rendszerek közül az egyenirányítós és kommutátormotoros rendszerekre terjed ki.

**I. Mozdony súly.** Rá kell mutatni, hogy a fajlagos mozdony súlyok összehasonlítása csak nagy vonalakban ad képet a mozdonyokról. A fajlagos súly a mozdony teljesítményétől, a megengedett legnagyobb tengelynyomástól, a mozdony tengelyeinek számától és elrendezésétől is függ, ezért a rendszerekre egyedül természetesen nem jellemző. Nem ad azonban ezenfelül helyes összehasonlítást azért sem, mert az egyes rendszerek vonóereje és teljesítménye a sebesség-





V. TÁBLÁZAT

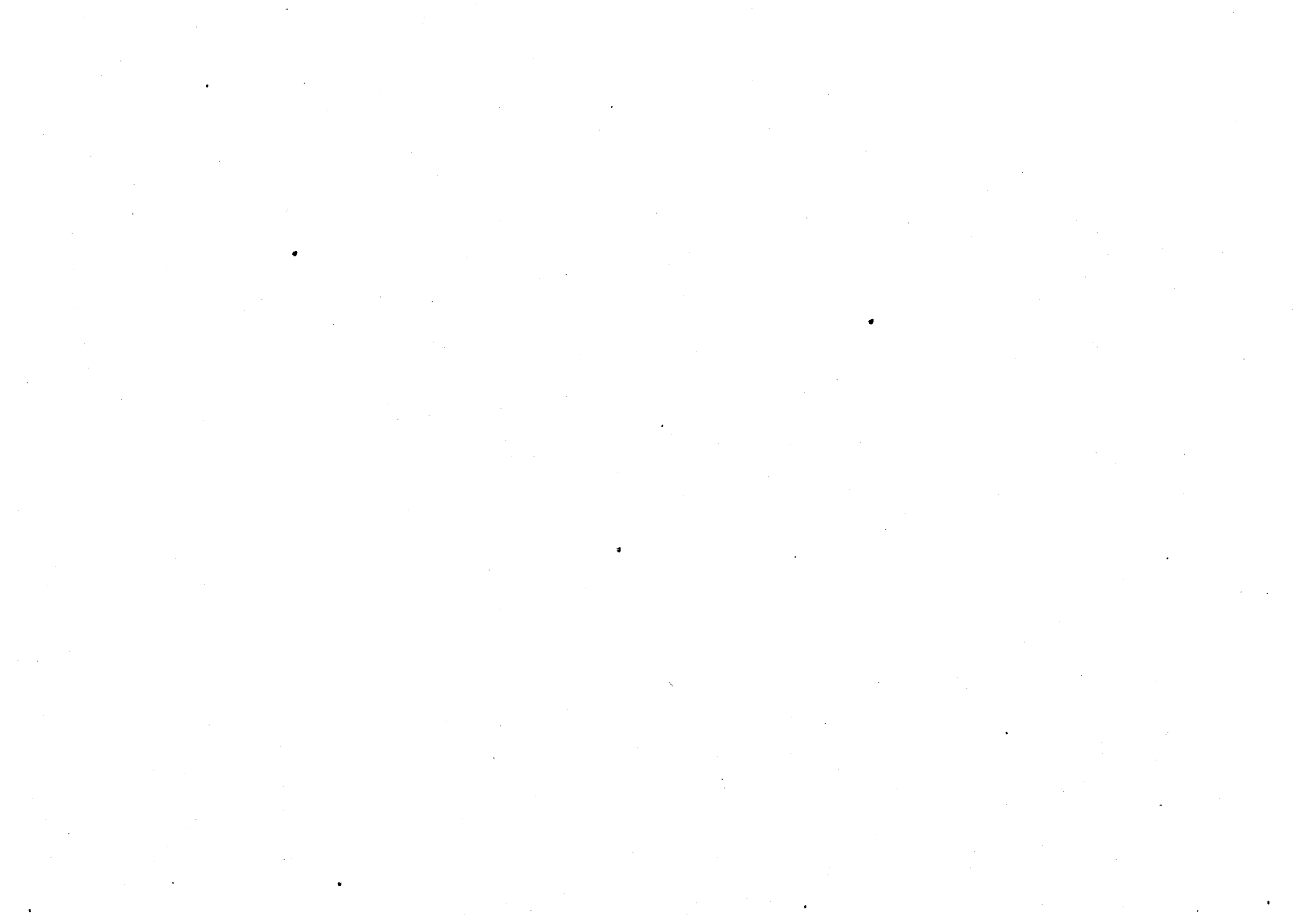
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Rendelési év .....	1918	1931	1931	1939	1939	1943	1943	1948	1951	1934	1948	1934	1934	1948	1934	1947	1948	1948	1951	1951	1951	1951	
Darab .....	1	3	29	2+4	—	—	—	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—	—	—	—	
Gyártó .....	Ganz	Ganz	Ganz	Ganz	Ganz	Ganz	Ganz	Ganz	Ganz	Krupp	Creusot MÉSW.	BBC	AEG	Alsthom	SSW	AEG	Oerlikon	Alsthom	O e r l i k o n				
Rendelő .....	MÁV	MÁV	MÁV	MÁV	—	MÁV	MÁV	MÁV	MÁV	DRB	SNCF	DRB	DRB	SNCF	DRB	DRB	SNCF	SNCF	—	—	—	—	
Rendszer .....	fázisváltós			periódusváltós								Krupp Schön	f orgóát- alakítás	egyenirányítós				k o m m u t á t o r m o t o r o s					
Tengelyrendezés .....	0E0	0F0	1D1	2-Do-2	Co-Co	1Bo-Bo1	Co-Co	Bo-Co	Bo-Co	Bo-Bo	Bo-Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Bo-Bo	Co-Co	Co-Co	Co-Co	Bo-Bo	Bo-Bo	Co-Co	
Teljes súly, t .....	80	98	98	144	115	111	120	89	89	83	114	85	85	79	85	85	104	118	98	66	78	115	
Legnagyobb tengelynyomás, t .....	16	17,5	18	20	19,5	19,5	20	18	18	21	19	21,3	21,3	19,8	21,3	21,3	17,5	19,8	17	17	19	19	
Órás teljesítmény, Le .....	2700	2500	2500	4000	4000	5000	5000	3200	3200	2730	3820	3250	2700	2840	2800	3120	3780	4050	4200	2800	4000	6000	
Legnagyobb vonóerő, t ...	20	23	16	22	22	24	36	21	24	24	28	24	24		24	26	29						
Legnagyobb sebesség, km/óra .....	25, 33, 50, 66	17, 34, 51, 68	25, 50, 75, 100	25, 50, 75, 100	25, 50, 75, 100	25, 50, 75, 100	16, 33, 50, 67, 83	25, 50, 75, 100, 125	25, 50, 75, 100, (125)	35, 60, 83	100	85	85	105	85	85	100	100	100	100	125	125	
Fajlagos súly kg/Le .....		39,2	39,2	36	28,7	22,2	24	27,8	27,8	30,4	30	26,2	31,5	27,9	30,4	27,3	27,6	29,2	23,3	23,6	19,5	19,2	

A feltüntetett adatok a szavatolt értékekre vonatkoznak. A 4. típusból 1944-ben megrendelt további négy mozdony a háborús események miatt már nem került szállításra. A 14, 17 és 18 jelű mozdonyok súlyai magukban foglalják az SNCF-nek egyenáramról való segéd táplálásra vonatkozó különleges kívánságát is. (A 17. jelű Oerlikon mozdornál kb. 6 tonna súlytöbbletet jelent.)

Megemlítendő még a Pennsylvániai vasutak részére 1950-ben a General Electric Co-nál és a Westinghouse Electric Co-nál rendelt egy, illetve két ignitronos ikermozdonyok, melyek bár 25 periódusra készültek, azonban a rendszer természetesen 50 periódusra is használható, s melyek kísérletül is szolgálnak az 50, illetve 60 periódusú villamosításhoz. A mozdonyok főbb adatai: GeCo: ikermozdony 2(Bo-Bo), összsúly 218 tonna, órás teljesítmény 5000 Le, legnagyobb vonóerő 55 tonna, legnagyobb sebesség 99 km/óra, fajlagos súly 43,5 kg/Le, WE-Co: Ikermozdony 2(Co-Co), összsúly 330 tonna, órás teljesítmény 6000 Le, legnagyobb vonóerő 85 tonna, legnagyobb sebesség 96 km/óra, fajlagos súly 57 kg/Le. Megjegyzendő, hogy a mozdonyok fajlagos súlya összehasonlításra nem alkalmas, miután a szükséges igen nagy vonóerők miatt kell nagyoknak lenni. A mozdonyokat 1952-ben leszállították.

Megemlítendő továbbá, hogy a Belga-Kongó-i vasutak 1951-ben 8 db 1680 Le-s, 22 kV-os, 50 periódusú kommutátoros mozdonyt rendeltek a Jeumont-Charleroi gyáraknál, melyek szerelés alatt, illetve szállítás előtt vannak.





A 30-as évek végén a 16 periódusú mozdonyok fajlagos súlya 25—27 kg/Le-re csökkent.

A 40-es évek második felében 4000—6000 Le teljesítménynél mind a 16 periódusú, mind az 1500 V-os egyenáramú mozdonyok fajlagos súlya 20 kg/Le értéket ért el.

Az 50 periódusú járművek továbbfejlesztése Magyarországon a periódusváltós rendszer szerint, és külföldön különböző más rendszerek szerint, a 30-as évek közepén kezdődött.

A német Hölletal-vasút kísérleti mozdonyai közül a Siemens-gyártmányú egyfázisú kommutátormotoros Bo—Bo mozdony fajlagos súlya 30,4 kg/Le, az annakidején Magyarországon kifejlesztett periódusváltós rendszerű mozdonyok fajlagos súlya pedig — az előzők szerint említett 6 tengelyű futóművel — 28,8 kg/Le. Ezek a súlyok körülbelül szintén megegyeztek a 30-as évek 16 periódusú és egyenáramú mozdonyai fajlagos súlyaival, sőt egyenlő alapra átszámítva, utóbbi még azok alatt is volt.

Mint már említettük a Ganz-gyár részéről 1943-ban megtervezett 5000 Le-s rövidrezárt forgórészű periódusváltós mozdony fajlagos súlya 22,2 kg/Le volt, amely akkor mind a 16 periódusú, mind az egyenáramú rendszerekkel szemben is egyike volt a legkisebb fajlagos súlyoknak a világon.

A 40-es évek második felében kifejlesztett különféle rendszerű 50 periódusú mozdonyok fajlagos súlya, amint a táblázatból látható — kivéve a forgóátalakító egyenáramú mozdonyt — 27,3 és 29,2 kg/Le értékek között van, amelyeknél nincs figyelembevéve még az, hogy az egyfázisú kommutátoros mozdonyok fajlagos súlya az összehasonlításhoz megnövelendő. Látható, hogy az egyes rendszerek súlyai között gyakorlatilag számbavehető különbség akkor nem volt. Ebből a szempontból tehát — kivéve a számottevően nehezebb forgóátalakító egyenáramú rendszert, amely a gyakorlatban általában számottevően súlyosabb az V. táblázatban megadott számított értéknél — *valamennyi rendszer kb egyenértékűnek* tekinthető, amivel kapcsolatban még azt is meg kell jegyezni, hogy *a mozdonyok súlya* — természetesen észszerű határok között — egyáltalán *nem döntő szempont* a mozdony kiválasztásánál. Az esetleges súlykülönbséget ugyanis a vonat súlyához viszonyítva teljesen elhanyagolható azokhoz az egyéb tulajdonságokhoz és előnyökhöz képest, amelyeket a különböző rendszerek nyújtanak.

2. *Hajtómotorsúly.* A különféle mozdonyok összehasonlításánál a hajtómotorok súlyát általában nem szokták kellő mértékben figyelembe venni, noha a motorsúly a mozdonyok mechanikai szerkezetének egyszerűségére, a tengelyeket terhelő rúgózatlan tömegekre, és ezzel a pályafenntartási költségekre *elég nagy jelentőségű.*

Ebben a vonatkozásban a periódusváltós mozdony 2,9 kg/Le-s fajlagos motorsúlyával kiemelkedően a legkedvezőbb, szemben az AEG és Oerlikon

mozdonyok 4,6, illetve 4,7 és a Siemens mozdony 7,2 kg/Le fajlagos motorsúlyával.

A VI. táblázatban tájékoztatásul összeállítottuk a különféle villamosítási rendszerek, valamint az 50 periódusú különféle mozdonyrendszerek fajlagos motorsúlyait.

## VI. TÁBLÁZAT

Fajlagos hajtómotorsúly kg/Le  
(órárs teljesítményre vonatkoztatva)

Rendszer		Év	Fajlagos súly
Egyfázisú .....	16 periódus	1930—35	5,5—6,5 kg/Le
	16 »	1945—50	3,8—4,2 kg/Le
Egyenáramú .....	3 kV	1945—50	7,8—9,0 kg/Le
Egyfázisú .....	50 periódus		
Kommutátoros rendszer			
Siemens .....	Bo—Bo	1934	7,2 kg/Le
AEG .....	Bo—Bo	1947	4,6 kg/Le
Oerlikon .....	Co—Co	1948	4,7 kg/Le
Egyenirányítós rendszer			
BBC .....	Bo—Bo	1934	4,4 kg/Le
AEG .....	Bo—Bo	1934	4,7 kg/Le
Periódusváltós rendszer			
Ganz .....	Bo—Co	1948	2,9 kg/Le

A periódusváltós rendszer rendkívül kis motorsúlya lehetővé teszi a legnagyobb sebességű mozdonyoknál is marokcsapágyas felfüggesztés alkalmazását. Ez a tengelyek mechanikai hajtását lényegesen egyszerűsíti, anélkül, hogy ennek következtében a rúgózatlan tömegek nagyobbak lennének, mivel a kis motor-méreték ezenfelül még lényegesen kisebb kerékátmérőket és súlyokat is lehetővé tesznek.

Jellemzésül megemlíthjük még, hogy a periódusváltós rendszerben a kis motorsúly következtében a rúgózatlan tömegek a legnagyobb teljesítményű és sebességű mozdonyokon is kisebbek, mint a marokcsapágyas egyfázisú kommutátoros motorokkal felszerelt közepes teljesítményű motorkocsikon.

A motorsúlyokat illetően, ami a pálya kímélése szempontjából fontos, a periódusváltós rendszernek kétségtelenül döntő előnye van.

3. *Cos φ*. Minthogy az 50 periódusú áram induktív feszültségesése háromszorososa a 16 periódusúnak, mind a kommutátoros, mind az egyenirányítós rendszerekre való tekintettel a 16 kV-os feszültséget 20—25 kV-ra kellett növelni, hogy az állomások kellő távolságai mellett lehessen 50 periódussal villamosítani.

Bár a periódusváltós rendszernél a jó  $\cos \varphi$  következtében nincs kényszerítő ok a feszültségnek 20—25 kV-ra való növelésére, a feszültség fokozása természetesen további előnyöket biztosít, mert az alállomások távolságai még nagyobbak lehetnek.

A periódusváltós rendszernek az *indításnál és minden terhelésnél állandóan*  $\cos \varphi = 1$ , vagy akár elősiető teljesítménytényezőjével szemben van az 50 periódusú egyfázisú kommutátoros mozdonyoknak  $\cos \varphi = 0,70—0,72$  átlagértéke, amely azonban indításnál természetesen még sokkal kedvezőtlenebb. (A teljesítménytényező indítástól a legnagyobb sebességig kb 0,35 és 0,9 között változik.) Az egyenirányítós mozdonyoknál a viszonyok — különösen az indításoknál — ugyan kedvezőbbek, de még korántsem kielégítőek. Amint már az előzők folyamán említettük, azonos alállomás-távolságnál  $\cos \varphi = 0,7$ -nél a feszültségesés 4—5-szöröse annak, amely  $\cos \varphi = 1$ -nél mutatkozik. A feszültségesés miatt az alállomások számát ennek megfelelően növelni kell, de ugyanakkor az alállomások összteljesítménye is kb 50%-kal növekedik. Mind az alállomások szaporítása, mind teljesítményüknek növelése természetesen a beruházási költségekben számottevő módon mutatkozik.

Az Aix-les-Bains-i pályán az alállomástól 38 km távolságra egyetlen kb 4000 Le-s egyfázisú kommutátormotoros mozdony indításakor több mint 40%-os feszültségesést is mértek a próbaüzem alatt. Ezért Aix-les-Bains és Annecy között 4 helyen máris soros kondenzátor telepeket kellett beépíteni, egyelőre összesen 2000 kVA teljesítménnyel.

A vezetékvesztesség  $\cos = 0,7$ -nél azonos keresztmetszetek mellett kb kétszer akkora értékre nő, amely többlet azonban természetesen csökken az alállomások szaporításával.

**4. Hatásfok.** A periódusváltós mozdonyok hatásfoka az egyenirányítós és egyfázisú kommutátoros mozdonyokéval szemben kétségkívül néhány százalékkal kedvezőtlenebb és ez a hátrány nem is küszöbölhető ki, tekintettel a szükséges fázis- és periódusátalakításra. Ha azonban az egyes rendszerek  $\cos \varphi$  okozta többlet-vezetékvesztéseit is figyelembe vesszük, ez a hátrány eltűnik, sőt általában ellenkező irányúvá válik.

Tájékoztatásul megjegyezzük, hogy az egyenirányítós 50 periódusú mozdonyok hatásfoka kb megegyezik a 16 periódusú korszerű kommutátoros mozdonyokéval, míg az 50 periódusú kommutátormotoros mozdonyoké ezeknél 3—5%-kal kedvezőtlenebb.

**5. Szerkezeti szempontok.** A periódusváltós rendszer hátránya, hogy a hajtómotorokon kívül a mozdonyokon még más forgógépek is vannak. Azonban valamennyi gép egyszerű, robusztus kivitelű. Ilyenek különösen a legkényesebb — a rázás, piszok és nedvesség érte — hajtómotorok, mert mind a csúsztatógűrűs aszinkron motor, mind és méginkább a rövidrezárt aszinkron motor, amint ismeretes, a legegyszerűbb és legüzembiztosabb gép.

Ezzel szemben az 50 periódusú egyfázisú kommutátoros motor érzékeny

szerkezetű és nagyon nehéz, különleges tekerceselése és erősen igénybevett kommutátora (mozdonyonként összesen kb 400—500 kefével) van. A motor feszültsége a kommutációs nehézségek miatt igen kicsi, csak kb 200 V körüli értékű lehet, és ezért motoronként igen nagy, az órás teljesítménynél 2500—3000 Amp körüli, az indítások alkalmából pedig még lényegesen nagyobb áramerősségre van szükség.

Bár az utóbbi évtizedek alatt a 16 periódusú kommutátoros motorok rendkívül erősen fejlődtek és üzembiztossá váltak — ma a kommutátor javítása nélkül már 300 000—500 000 km-t futnak — mégis a kommutátorok és kefék a mozdonyoknak kétségtelenül kényes, felügyeletet és karbantartást kívánó részeit képezik.

Az 50 periódusú kommutátoros motorok megalkotásában a Siemens-cég volt az úttörő, legyőzte az addig megoldatlan nehézségeket és először készített mozdonyok részére megfelelő 50 periódusú egyfázisú kommutátoros motorokat. Ezek kommutációja azonban lényegesen nehezebb, és a szükségképpen alkalmazott kifestés miatt áramerősségük 2—3-szorosa a 16 periódusú motorokénak, ami a viszonyokat kétségtelenül számottevően megnehezíti. Különösen nehéz indításoknál és kis sebességeken mutatkoznak a kommutációs nehézségek, ezért — figyelembe véve a már említett igen kedvezőtlen indítási teljesítménytényezőt is — az egyfázisú kommutátoros 50 periódusú mozdonyok gyakori nehéz indításokra egyelőre még kevésbé látszanak alkalmasnak.

Rá kell azonban mutatni arra is, hogy az 50 periódusú kommutátoros motor említett és ismert szerkezeti nehézségei ellenére pl. az Oerlikon mozdony a legkitűnőbb üzembiztonságot mutatta. Ennek a próbák alapján megállapított tényleges teljesítménye (4300 Le) jóval felül is multa a szavatolt értéket (3800 Le) — és már eddig is, 1 1/2 év alatti megszakítás nélküli üzemben minden javítás nélkül több mint 250 000 km-t futott.

Az egyenirányítós rendszer hajtómotorok szempontjából számottevően kedvezőbb, mint a kommutátormotoros rendszer, az egyenirányító berendezés és főleg annak segédberendezései (hűtés, légszivattyúk stb.) azonban ma még igen bonyolultak és kényes szerkezetűek. Ha azonban figyelembe vesszük, hogy pl. a BBC részéről a Höllental-vasút részére szállított egyenirányítós mozdony eddig kb 1 millió km-t futott, azt — miként az Oerlikon mozdony fentebb említett kiváló üzemi eredményét — egy teljesen újrendszerű, első kísérleti kivitelezésnél egész különlegesen kimagasló teljesítménynek kell tekinteni. Hasonló kitűnő eredményt mutatott a Westinghouse Electric Co. 1948-ban üzembehelyezett kísérleti ignitronos motorkocsija, amely 2 év alatt szintén több mint 200 000 km-t teljesített kifogástalan üzemben. E jó eredmények ellenére is az egyenirányítós rendszer berendezései a jövőben még mindig lényeges egyszerűsítésre szorulnak.



Összefoglalva a különbségeket :

*Súly* szempontjából egyenlő alapon számítva — eltekintve a számottevően nehezebb forgóátalakítós egyenáramú rendszertől, amelyre éppen ezért az összehasonlítást ki sem terjesztettük — végeredményben *ma* nincsen a mozdonyok között számottevő eltérés. Valószínűnek látszik azonban, hogy a kommutátoros és egyenirányítós rendszerek továbbfejlesztésével ezekhez képest a jövőben a periódusváltós rendszer fajlagos súlya valamivel nagyobb lesz.

*Hajtómotorsúly* szempontjából, ami a rúgózatlan tömegek miatt lényeges, a periódusváltós rendszer minden más rendszernél sokkal kedvezőbb.

A három rendszer ebből a szempontból a következő sorrend szerint osztályozható :

periódusváltós,  
egyenirányítós,  
egyfázisú kommutátormotoros mozdony.

*Hatásfok* szempontjából a periódusváltós mozdony kétségkívül a legkedvezőtlenebb. Sorrend :

egyenirányítós,  
egyfázisú kommutátormotoros,  
periódusváltós mozdony.

*Cos  $\varphi$*  szempontjából a periódusváltós mozdony kiemelkedően a legkedvezőbb. A *cos  $\varphi$* -ben mutatkozó nagy különbség a vezetékveszteségek miatt a hatásfokot lényegesen befolyásolja a periódusváltós mozdonyok javára. Sorrend :

periódusváltós,  
egyenirányítós,  
egyfázisú kommutátormotoros mozdony.

*Szerkezet.* A periódusváltós rendszer hajtómotorai messze a legegyszerűb-  
bek, minthogy a legrobosztusabb kivitelű csúsztatógyűrűs vagy rövidrezárt  
aszinkron motorok. Ezzel szemben villamos berendezése a hajtómotorokon kívül  
több gépegységet tartalmaz, ezek azonban szintén mind egyszerű, robusztus,  
ismert elemekből vannak.

Sorrend a hajtómotorokat illetően :

periódusváltós,  
egyenirányítós,  
egyfázisú kommutátormotoros mozdony.

Sorrend egyéb berendezéseket illetően :

kommutátormotoros,  
periódusváltós,  
egyenirányítós mozdony.

A felsorolt 5 szempontot tekintetbe véve, a *periódusváltós* mozdony tehát 3 szempontból (motorsúly, *cos  $\varphi$* , szerkezet) a legkedvezőbb helyen van. Hatás-

fok szempontjából a legkedvezőtlenebb, súlyban számottevő különbség ma nincsen.

Az *egyenirányítós* mozdonynak van a legjobb hatásfoka, motorsúly és motorszerkezet szempontjából előnyösebb, mint a kommutátormotoros rendszer, cos  $\varphi$ -t illetően ennél szintén kedvezőbb, egyéb berendezések bonyolultságát illetően azonban a legkedvezőtlenebb.

A *kommutátormotoros* mozdonynak ma az a nagy előnye van, hogy berendezése az utolsó évtizedek folyamán igen tökéletessé fejlesztett 16 periódusú mozdonyokéval sokban megegyezik. Ezért a kommutátormotoros mozdonyok eddigi próbaeredményei a legbiztosabbaknak is mutatkoztak.

A fent felsoroltakon kívül természetesen még számos más szempontból is szükséges lenne a rendszereket összehasonlítani. Így pl. megemlítendő, hogy a periódusváltós és az egyenirányítós rendszer hátránya a mozdonyon helyetfoglaló forgó- illetve higanygőzös-átalakító, a periódusváltós rendszer egyes megoldásainál hátrányt jelenthet az állandóan használható sebességek aránylag kis száma, valamint a vonóerőnek az átkapcsoláskor való kimaradása vagy csökkenése. Az egyfázisú kommutátoros rendszernél hátránynak kell tekinteni azt, hogy a nagy áramerősségeknél nem tökéletes a kommutáció, és az igen kedvezőtlen indítási teljesítménytényező miatt nehéz és hosszantartó indításokra kevésbé alkalmas. Az egyenirányítós mozdonyoknál az egyenirányítóberendezés már említett bonyolult voltán kívül hátrányt jelent a lüktető egyenáram. Egyrészt, mert emiatt tekintélyes fojtótekercecseket kell a mozdonyba beépíteni, másrészt, mert a mozdony üzeme a hálózatot zavaró felső harmónikusokkal terheli, amelyek hatása kiküszöbölhető ugyan, de természetesen külön védőberendezéseket tesz szükségessé. Ezzel szemben az egyenirányítós rendszer vontatási tulajdonságai igen kedvezőek.

Hangsúlyozni kell, hogy a fenti összehasonlítás csak egészen általánosnak tekinthető, a kérdést sokkal alaposabban kell tanulmányozni ahhoz, hogy határozottabb ítéletet lehessen alkotni az egyes rendszerekre vonatkozóan.

Az azonban mindenesetre megállapítható, hogy az 50 periódusú nagyvasúti mozdony ma *mindhárom rendszer szerint megvalósítható*. Az egyes rendszerek előnyeit és hátrányait egybevetve, nem látszik valószínűnek, hogy valamelyik rendszer javára rövid időn belül olyan döntő jelentőségű különbség mutatkozik, amely más rendszernek teljes mellőzését okozná. Valószínűnek látszik, hogy legalábbis egyelőre, mindhárom rendszert párhuzamosan fogják használni és továbbfejleszteni. A továbbfejlődést illetően a legtöbb lehetőséget — amennyire ezt ma meg lehet ítélni — az egyenirányítós rendszer látszik rejtetni, ahol az amerikai *ignitronos* kísérleteket a legkomolyabban tekintetbe kell venni.

A továbbfejlődéssel kapcsolatban rá kell mutatni, hogy mindhárom rendszer fejlődésének még egészen az elején van és ezért e téren még igen nagy eredményekkel kell a jövőben számolni. Jellemzésül megemlítendő pl, hogy a kommutátormotoros rendszerrel a motorsúlyok már eddig is milyen rohamos

fejlődésen mentek keresztül. Míg az 1934 évi SSW mozdony fajlagos motor-súlya 7,2 kg/Le volt, addig az 1947—48 évi AEG és Oerlikon mozdonyoknál ez már csak 4,6—4,7 kg/Le-t tett ki. Az Oerlikon-gyár legújabb motorjainak fajlagos motorsúlya pedig — amelyeknek kifejlesztésénél az első Oerlikon mozdony tapasztalatai is figyelembe vehetőek voltak — már csak 4,0 kg/Le. Látható, hogy egy-két mozdony próbaeredményei alapján is milyen nagy mértékű haladás volt már biztosítható. Ebből előre lehet látni, hogy milyen nagy mértékű további haladásnak nézhetünk még elébe.

Hogy a jövő 50 periódusú mozdonya milyen lesz, azt ma nem lehet megmondani, mert valamennyi rendszer igen sokat fog még fejlődni. Egyet azonban már kétségkívül meg lehet állapítani — és ez egyik leglényegesebb szempontja a jelen tanulmánynak — hogy 50 periódusú nagyvasúti mozdonyok gazdaságosan és üzembiztosan, a vontatás minden követelményének megfelelően már mindenestre építhetőek, még pedig lényegében kb azonos súllyal és gazdaságossággal, mint más rendszerek mozdonyai.

A jövőben mind nagyobb gazdasági jelentőségű és mind nagyobb keretekben történő vasútvillamosítás *beruházási költségeiben és nyersanyagszükségletében döntő mértékű a különbség az 50 periódus javára*. A vasútvillamosításnak országos szempontból is igen nagy jelentőségű, sok évtizedre terjedő beruházása ennél fogva *semmiesetre sem kezdhető el, vagy folytatható nagy keretekben* — néhány átmeneti évnél tovább — *egy kevésbé gazdaságos rendszer szerint*. 50 periódusú járművek már ma is kb azonos feltételek mellett szállíthatók mint más rendszerűek. Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a legközelebbi néhány évben további igen nagy mértékű tökéletesedés várható az 50 periódusú járművek építésében, tekintve, hogy az általános érdeklődés középpontjába kerültek és használatuk már a gyakorlatba is átment.

A magyar mérnöki munka és a magyar ipar a nagyvasutak 50 periódusú villamosításában világviszonylatban egyedülálló, döntő jelentőségű úttörő munkát végzett. Nem elégedett meg ugyanis annak elvi megállapításával, hogy a nagyvasutak villamosítása 50 periódussal helyes, hanem a mindenkori követelményeknek általában megfelelő 50 periódusú mozdonyokat el is készítette, és az 50 periódusú villamosítást — az új rendszer fáradságos kifejlesztését és kockázatát vállalva — már több mint 20 évvel ezelőtt meg is alkotta.

A Kandó és a Ganz-gyár által annakidején kifejlesztett mozdony típusa ma, 20 év múltán természetesen már idejét multa, azonban *az akkori* követelményeknek és fejlődési foknak — figyelembe véve az 50 periódusú rendszer perspektíváját is — megfelelt. Midőn pedig a követelmények teljesítmény, sebesség, egyes hajtás stb. szempontjából továbbfejlődtek, aránylag rövid, néhány évi stagnálás után a 30-as évek második felében *ugyancsak Magyarországon elkészült az új 50 periódusú periódusváltós rendszer, amely az akkori és mai körülményeknek ismét teljes mértékben megfelel*.

Nem kétséges, hogy a műszaki tudomány mai fejlődése mellett 1—2 évtized

mulva még korszerűbb mozdonyok fognak készülni. A kérdéssel ma Magyarországon kívül már számos más ország, mint pl. *Franciaország, Németország, a Szovjetunió, Belgium, USA, Itália, Románia, Lengyelország, Anglia, Bulgária, India* stb. vasútjai a legbehatóbban foglalkoznak. A Ganz-gyáron kívül pedig a legkitűnőbb műszaki felkészültségű külföldi világcégek, mint *Siemens, AEG, BBC, Oerlikon, Alstom, General Electric Co., Westinghouse Electric Co., Jeumont, Charleroi* stb. a legkomolyabban megkezdték a gyártást és továbbfejlesztést. Már is igen kitűnő és döntő fontosságú eredményeket értek el, melyek még sokkal tovább is fognak fejlődni. Ez a nagymértékű továbbfejlődés azonban csak oly módon jöhetett létre, hogy az 50 periódusú villamosítás ténylegesen megindult, továbbfejlődött és fejlődésében a kor színvonalán meg tudott maradni. *Ebben a munkában Magyarország az egész világon egyedülállóan döntő munkát végzett.*

Végül rá kell mutatnunk ezzel kapcsolatban még arra, hogy míg azelőtt a külföldi fejlődés más úton igyekezett a kérdést megoldani és eddig elzárkózott a fázis- és periódusváltós rendszertől, a legutolsó időben, még pedig már *a többi rendszer eredményeinek birtokában* — és épp ezért ennek különös jelentőséget kell tulajdonítani — a külföldi figyelmek kezd *a periódusváltós rendszer és főleg annak rövidrezárt hajtómotorú* megoldásai felé is fordulni.

Ezzel kapcsolatban idézzük a Francia Államvasutak vezérigazgatójának, *Armand*-nak — akinek munkájához és nevéhez fűződik elsősorban az 50 periódusú villamosításnak 1945 óta külföldön újra megindult, és ma már igen nagy eredményeket felmutató alkalmazása — az Annecy-i kongresszuson tartott beszédéből a következőket :

»Ami engem illet — mondotta *Armand* vezérigazgató — nem vagyok távol annak feltételezésétől, hogy az elkövetkező években *Kandó* munkái révén születik meg az egyik legérdekesebb mozdonytípus. Az ő gondolatai lehetővé teszik valóban, hogy forgómezős motorral helyettesíthessük a kollektoros vontató motort, amelyhez való ragaszkodásunk nem teljesen mentes a műszaki előítéletektől. Ennek révén remélhetjük, hogy minimális fenntartási költségekhez jutunk, csaknem nullára, a mozdonyban csak kurrens típusú forgógépekkel, melyek karbantartása ugyanolyan egyszerű, mint a helyhez kötött gépeké, amelyek a tengelyekhez rendkívül robusztus elemekkel csatlakoznak.

Lehet, hogy ez a mozdony valósítja majd meg a mérnök és a felhasználó álmát és majd mintegy karterben, portól védett berendezéseket láthatunk, amelyek a kilométereket halmozzák anélkül, hogy mást kívánának, mint áramot és abroncs cserét.

Ezek azok a szép távlatok a vasút részére, amelyet *Kandó*-nak köszönhetünk és majd hallani fogunk még azokról a legutóbbi tanulmányokról, amelyek ezen a téren történtek.«

A Francia Államvasutak az 50 periódusú villamosítás kérdését a lehető legalaposabban tanulmányozták, igen sok döntően érdekes megállapítást és

számítást végeztek. Nagyvonalú kísérleti rendelkezéseket eszközöltek és az 50 periódusú villamosítást a Francia Államvasutak részére el is határozták. Éppen ezért különös súlyt és fontosságot kell tulajdonítani a Francia Államvasutak vezetője előbb említett nyilatkozatának. Ebből látható, hogy ma már nemcsak a gyakorlatilag Magyarországról kiinduló 50 periódusú villamosítás, hanem esetleg az ugyancsak Magyarországon elgondolt és az 1935—1943 években kifejlesztett szerkezeti megoldás is felhasználásra és továbbfejlesztésre kerül, és ezzel a Magyarországról évtizedekkel ezelőtt elindított gondolat teljes mértékben fogja a világ valamennyi népének érdekeit elősegíteni.

## IRODALOM

*L. Verebely*: A New System for Main Line Electrification. World Power Conference London, 1924.

*Verebely L.*: A MÁV villamosítási munkálatai. Magyar Mérnökök és Építészek Közölnye, 1924 október, 41—43. sz.

*L. Verebely*: A New System of Main Line Electrification. The Engineer, December, 1924.

*L. Verebely*: Der elektrische Probetrieb der ung. Staatsbahnen. ETZ. 1924, Heft 28.

*L. Verebely*: Die elektrotechnischen Grundlagen eines neuen Phasenumformer-Systems zur Elektrifizierung von Hauptbahnen. ETZ 1925. Heft 2.

*L. Verebely*: Die Phasenumformerlokomotive für 50 periodigen Wechselstrom der K. ung. Staatsbahnen. E. u. M. 1925. Heft 7.

*L. Verebely*: Die Verwendung von 50 periodigen Wechselstrom zur Elektrifizierung von Haupt- und Vorortbahnen. Bericht für den III. Internationalen Kongress des Internationalen Strassenbahn- und Kleinbahnvereines 1925.

*L. Verebely*: Het gebruik van wisselstroom met 50 perioden voor de electrificatie. Spoorweg Techniek, den Haag 1925. H. 10 11.

*L. Verebely*: Novo sistema monotrifasico para a electrificacao de grandes linhas de estradas de ferro. — Boletim do Inst. de Engenharia. Sao Paulo, Brasil, 1925. Nr. 29.

*F. Punga u. K. Schön*: Das 50 periodische Bahnsystem mit Krupp-Motoren. E. u. M. 1927.

*A Budapest—Hegyeshalom-i vasútonal villamosítása.* Ganz. Közlemények 1931.9., 1932. 10. és 11. szám.

*L. Verebely*: Die Elektrifizierung der Linie Budapest—Hegyeshalom. Elektrische Bahnen Februar 1932.

*L. Verebely*: Main Line Electrification with 50 Cycles A. C. Bericht der Weltkraftkonferenz in Scandinavia 1933 und Ergänzungen zum Bericht.

*Th. Boveri*: Stromsystem für elektrische Bahnen. Bericht der Weltkraftkonferenz in Scandinavia 1933.

*Verebely L.—Klein F.*: A Kandó-féle fázisváltós villamosítási rendszer és annak alkalmazása a MÁV vonalain. Révai kiadás 1933.

*L. Verebely*: A propos de l'électrification des Chemins de fer de l'État Hongrois. Traction Electrique 1933. Dec.

*L. Verebely*: Betriebserfahrungen auf der mit 50 Hz Wechselstrom elektrifizierten Linie Budapest—Hegyeshalom. Elektrische Bahnen, April 1934.

*Elektrische Bahnen*, 1936, Heft 9. (Über die 50 Hz Elektrifizierung der Höllentalbahn).

*Elektrische Bahnen*, 1937, Heft 3/4. (Über die 50 Hz Lokomotiven der Höllentalbahn).

*E. Kilb*: Die Stromversorgung von 50 Hz-Betrieben. Elektrische Bahnen 1941. Ergänzungsheft S. 89—96.

*A MÁV V44 sorozatú Ganz—Kandó—Ratkovszky rendszerű villamosmozdony műszaki leírása.* Ganz kiadvány, 1943.

*R. Fritsche u. E. Kilb*: Ergebnisse des 50 Hz-Betriebes auf der Höllenthalbahn. Elektrische Bahnen 1944. Heft 3/4.

*F. Krohne*: Zur Systemfrage für elektrische Fernbahnen. Elektrizitätswirtschaft 1944. S. 3.

*L. Armand*: Problèmes Techniques posés par la Traction Monophasé á 50 P/s et leurs Solutions. Rev. gén. Chem. fer 1948. S. 40.



- Mándi A.*: A magyar államvasutak villamos járművei. Magyar Technika 1947. 1.
- P. Sztrokay*: Le nouveau développement de l'équipement de transformation des locomotives monophasées à 50 périodes, à convertisseur de phase, et l'influence du service de traction sur le réseau industriel. Bericht für die Conference Internationale des Grands Réseaux Électriques à Haut Tension, 1948.
- P. Müller*: Die elektrischen Vollbahnen und das 50 Perioden-System. Fortschritte der Technik 1948. Heft 5.
- Az egyfázisú 50 periódusú fázisváltós vontatási rendszer újabb fejlődése.* Ganz kiadvány, 1948.
- F. Moldenhauer*: Der Einfluss der Betriebsbedingungen auf die Beanspruchung der Induktoren von Turbogeneratoren. Elektrizitätswirtschaft 1949. S. 53/56 und 86/88.
- P. Leyvraz*: Elektrische Traktion mit Einphasenstrom von 50 Hz. Bull. Schweiz. E. T. V. 1950, Nr. 20.
- Elektrische Traktion mit Einphasenstrom 50 Per/s.* Bulletin Oerlikon, 1950. Nr. 285.
- Sztrokay Pál*: Az új Ganz—Kandó rendszerű villamos mozdonyok üzemi viszonyai. Elektrotechnika, 1950 november.
- L. Armand*: Le projet d'électrification de la ligne Valenciennes—Thionville. Rev. française de l'énergie 1951. S. 273/78.
- Bulletin de la Société Française des Électriciens 1951. No. 9. *La traction par courant monophasé à 50 Hz.*
- Revue Générale des Chemins de Fer 1951. Novembre. *L'Électrification en courant monophasé 50 Hz et les Journées Techniques d'Information d'Annecy 1951. Octobre.*
- H. Kother*: Zur Wahl von Bahnstromsystemen. Elektrische Bahnen 1951. S. 159/69. u. 189/97.
- L. N. Mathur*: Main Line Electrification in India and Effect of Some Recent Developments of 50 Cycles Monophase Commutator Motor Thereon. World Power Conference New Delhi, 1951.
- Sztrokay Pál*: Korszerű villamos mozdonyok. Mérnöktoábbképző, 1952.

### Összefoglalás

A tanulmány az 50 periódusú vasútvillamosítás fejlődését ismerteti. Bevezetőben megemlíti az éppen 50 évvel ezelőtt üzembekeült Valtellina vasutat, melyet Kandó Kálmán és a budapesti Ganz-gyár 1898-ban tervezett. Ez volt a világon az első nagyteljesítményű és nagyfeszültségű vasútvillamosítás. Ismerteti továbbá az egyfázisú 16 periódusú és egyenáramú rendszerek fejlődését.

A tanulmány az 50 periódusú nagyvasúti villamosítással kapcsolatban rámutat dr. h. c. *Kandó Kálmán* úttörő munkásságára. Meghatározván az 50 periódusú villamosítás szükséges műszaki feltételeit, Kandó már 1917-ben megkezdte a tőle kifejlesztett rendszer szerint a világ első nagyteljesítményű — 2700 Le-s — 50 periódusú mozdonyának szerkesztését, amely 1923-ban a Budapest—Alag-i 16 km-es kísérleti vonalon megkezdte próbaüzemét. A Magyar Államvasutak 1928-ban elhatározták az 50 periódusú villamosítás bevezetését, és 1932 évben üzembe került a Budapest—Wien-i fővonal 50 periódussal villamosított 187 km hosszú magyarországi szakasza 32 Ganz—Kandó rendszerű 2500 Le teljesítményű mozdonnyal. Megemlíti az 1936-ban 50 periódussal kísérletképpen üzembe helyezett Höllental-vasutat, és az 1950-ben üzembehelyezett Aix-les-Bains La-Roch-s-Foron-i ugyancsak kísérleti vonalat. Ezen utóbbival kapcsolatos igen részletes tanulmányok és a kedvező eredmények alapján a Francia Államvasutak elhatározták a villamosításnak 50 periódussal való

folytatását. Így módon az 50 periódusú villamosítás Magyarországon kívül is az egész világon elindult.

Részletesen ismerteti a tanulmány az 50 periódusú *periódusváltós rendszert*, melyet jelen tanulmány szerzője az 1935—1938 években fejlesztett ki a Ganz-gyárban. A periódusváltós rendszer különböző változatainak részletes ismertetése után rámutat, hogy a periódusváltós rendszer az egyetlen a világon, amelynél a legüzembiztosabb szerkezetű, karbantartást és felügyeletet egyáltalán nem kívánó *rövidrezárt hajtómotorok* is alkalmazhatók. Ezután ismerteti a periódusváltós rendszer szerint gyártott mozdonyokat, azok tulajdonságait és próbaeredményeit.

Az egyes változatok tulajdonságai és a próbák eredményei alapján megállapítja, hogy a periódusváltós mozdonyok a magyarországi szükséglet fedezésére egyelőre négysebességű kivitelben sorozatosan gyárthatók. A népgazdasági szempontból döntő fontosságú vasútvillamosítást 50 periódussal tehát minél gyorsabban folytatni kell. Rámutat azokra az irányelvekre, melyek szerint — a külföldi szükségleteket is figyelembe véve — a periódusváltós rendszer korszerű továbbfejlesztésének haladnia kell.

Végül a tanulmány összehasonlítja a periódusváltós mozdonyokat a német és francia kísérleti vonalak részére szállított egyenirányítós és kommutátoros mozdonyokkal. Az összehasonlítás alapján — mely egyelőre csak általánosságban végezhető el — megállapítja, hogy határfok szempontjából a periódusváltós rendszer a többivel szemben hátrányban van. De a hajtómotorok súlyára, ezek egyszerű szerkezetére, továbbá az 50 periódusú villamosítás gazdaságosságára való tekintettel annyira fontos  $\cos \varphi$  szempontjából a periódusváltós rendszer valamennyi között kiemelkedően a legkedvezőbb. A mozdonyok fajlagos súlyát illetően a három rendszer között ma gyakorlatilag számottevő különbség nincsen. Az egyes rendszerek néhány egyéb előnyös és hátrányos tulajdonságát felsorolva a tanulmány rámutat Magyarországnak az 50 periódusú vasútvillamosítás terén végzett úttörő munkájára és eredményeire. Megállapítja továbbá, hogy az 50 periódusú mozdonyok ma már többféle rendszer szerint is megfelelő minőségben és gazdaságosan gyárthatók és szállíthatók. Így a vasutak villamosítása a kétségtelenül, és ma már az egész világ részéről elismerten leggazdaságosabb 50 periódusú rendszer szerint mindenütt elkezdhető. Mivel az összes szempontokat figyelembe véve egyik rendszer sem mutat olyan előnyt vagy hátrányt fel, amely a többivel szemben döntő jelentőségű lenne, egyelőre mindhárom 50 periódusú mozdonyrendszer párhuzamosan fog alkalmazásra kerülni és gyors ütemben tovább fejlődni.



# A MAGYAR ÁLLAMVASUTAK VILLAMOSÍTÁSÁNAK IDŐSZERŰ KÉRDÉSEI

CSANÁDI GYÖRGY,

a műszaki tudományok kandidátusa

A szocialista társadalmi-gazdasági rendszer egyik jellemzője az elmélet és gyakorlat egysége. A tudományos munka és a termelő munka kérdéseinek összekapcsolása. A Szovjetunió élenjáró tudósainak példájából azt látjuk, hogy ez a kapcsolat a mindennapi termelő munka kérdései és a tudomány folyamatos munkája közt éppúgy meg van, mint a nagy, a népgazdaság jövő fejlődését döntően befolyásoló műszaki alkotások megteremtése és kivitelezése terén.

A hazai tudomány fejlesztésében tehát a Szovjetunió nyomdokain haladunk akkor, amikor népgazdasági alkotásaink terveit a munka és a gyakorlat embereinek véleményeivel egyaránt megvilágítjuk és amikor a kivitelezésünkben kéz a kézben haladnak az elmélet és a termelő munka szakemberei.

Ezek a megfontolások vezettek akkor, amikor előadásom tárgyaként a Magyar Államvasutak vonalvillamosítási programjának elvi szempontokból történő megvilágítását tűztem ki célul. A MÁV vonalvillamosítási munkái ugyanis jelenlegi és következő 5 éves tervünk fontos, komoly beruházásokat képviselő célkitűzései. E tervek megvalósítása korszerűsíti vasútunk üzemét, javítja a fuvarozási munka termelékenységét, csökkenti a fuvarozási önköltségeket, növeli a vasút teljesítőképességét és kedvező irányban fejleszti országos energiagazdálkodásunkat. Mindezek folytán tehát jelentősen növeli nemzeti vagyónkat és hatékonyan szolgálja a szocialista bővített újratermelés megvalósulását.

A kitűzött cél megvalósítása érdekében előadásom első részében röviden összefoglalom azokat az általános elvi szempontokat, amelyek a vasutak villamosításával kapcsolatban a hazai és külföldi elmélet és gyakorlat elfogadott megállapításai. Előadásom második részében azután megvizsgálom, hogy az elméleti megfontolások alkalmazásával miként tudjuk optimálisan a MÁV vonalvillamosítási programját megvalósítani.

A MÁV-nál az üzemi dologi ráfordításoknak egyik legjelentősebb részét teszik a vontatási költségek. Különösen a vontatási szén és villamosenergia költségek, amelyeknek csökkentése nemcsak a vasút, de az egész népgazdaság energiagazdálkodásának fontos feladata. A vasúti vontatás energiagazdálkodásának jelentőségére jellemző, hogy az ország energiafogyasztásának

88—90%-a esik a szénre és az összes szénfogyasztásnak körülbelül 1/5 részére rúg az Államvasutak szénfogyasztása.

A vasúti energiaszükségletnek az országos energiafogyasztásban mutató jelentős hányada indította Pártunkat és kormányzatunkat arra, hogy a Párt II. Kongresszusa által felemelt tervben a vasútvonalak villamosításának továbbfejlesztése útján jelentős lépéssel vigye előbbre a szén gazdaságosabb felhasználásának ügyét.

A vasútvonalak villamosítása hazánkban a szénnel való takarékos gazdálkodásnak azért is fontos eszköze, mert szénkincsünk nagyrésze gyenge minőségű, kis fűtőértékű és nagy salaktartalmú szénféleség, amelyeknek a hőegységre eső termelés költségét a fuvarozás költségei lényegesen megnövelik. Azonfelül nagy salaktartalmuk miatt a gőzmozdonyok tüzelőberendezésében való felhasználásra kevésbé alkalmasak. A kis fűtőértékű szenek sokkal gazdaságosabban tüzelhetők el helyhez kötött tüzelőberendezésekben, és a hőenergiának elektromos energiává való átalakítása útján nemcsak az ország energiagazdálkodását javítják, hanem a vasúti üzemben egyéb lényeges előnyök kihasználását is lehetővé teszik. A gyenge minőségű barnaszénnek helyhez kötött üzemekben való felhasználásának gazdaságosságát bizonyítják a tatai égőpala, a gyöngyösvidéki lignit és a várpalotai gyengébb minőségű barnaszén felhasználására épült Bánhidai-, Mátravidéki- és Inotai November 7. Erőművek.

A vasútvonalak villamosításának gazdasági előnyei különösen érvényesülnek a nagy vasúti vontatásra hazánkban először alkalmazott 50 periódusú vontatási rendszerrel, mert az iparival azonos áramnem a közös erőműveknek jobb kihasználását és gazdaságosabb üzemét teszi lehetővé.

Az 50 periódusú villamos vontatási rendszer gazdaságosságát fokozza a rekuperatív energiavisszatermelési lehetőség, a lejtőben futó vonat energiájának hasznosításával a vontatási energiaszükséglet csökkentése.

A vasútvonalak villamosításának előnyei között meg kell még említenem a villamos vontatás szociális egészségvédelmi kihatásait, amelyek különösen a sűrűn lakott területeken, a nagyvárosok pályaudvarai és vasútvonalai közelében érvényesülnek. A vasútvonalak közelében fekvő lakott területek levegőjét nem szennyezi a mozdony füstje, a munkába járó dolgozók és a vonat-személyzet tisztább és egészségesebb környezetben utazik, azonkívül a villamos üzemeltető és karbantartó személyzet munkakörülményei is kedvezőbbek.

A villamos vontatásnak az általános népgazdasági és szociális előnyeinek kívül számos vasútiüzemi és vasútgazdasági előnye van, amelyek közül a legjelentősebbeket a következőkben említtem meg. A villamos vontatásnál a szerkocsi, a szén, a víz és a salak meddő súlyának a szállítása elmarad. A gőzmozdony üzemmel szemben a villamos mozdony hatásfoka kevésbé függ a személyzet ügyességétől. A mozdony kezelésének egyszerűbb volta miatt a forgalom biztonsága növekszik, mert a személyzet több figyelmet fordíthat a pályára.



és a jelzésekre. A mozdonyok általános utazási sebessége lényegesen növelhető, mert a motorok rövid ideig tartó túltérhelhetősége miatt a villamos mozdonyoknál a gyorsítás lehetősége nagyobb, mint a gőzmozdonyoknál, az emelkedők, azaz szinkronmotorok előnyös tulajdonságai folytán gyakorlatilag teljes sebességgel leküzdhetők, és a mozdonykezelési idők (mozdonyfordítás, vízkezelés) elmaradnak.

A villamos mozdonyok kihasználhatósága több mint kétszerese a gőzmozdonyokénak, mert a mozdonykezelési idő túlnyomó részének és a gőzmozdonyok fűtőházi munkáinak (szénszerelés, vízvétel, kazánmosás stb.,) elmaradása ezt lehetővé teszi.

A MÁV fővonalai villamos mozdonyainak átlagos évi futása kb. 130 000 km, míg a hasonló teljesítményű gőzmozdonyoké kb. 60 000 km.

A villamos vontatás további előnye a kocsi fordulódő megrövidítése folytán a járóműparkok jobb kihasználásában mutatkozik. A járóműpark kapacitását a költségmegtakarítás mellett növeli a szén- és salakszállítás elmaradása is. Ezek az előnyök indokoltá teszik a vasútvonalak villamosításának szélesebb kiterjesztését.

Azonban a villamosítás előnyeivel szemben van a vonalak villamosításának jelentős beruházási igénye. Ezért a villamosítás csak akkor indokolható, ha az évenként elérhető megtakarítás értéke nagyobb, mint a szükséges beruházásoknak egy évre eső hányada. A vonalvillamosítás beruházási költsége a különböző villamosítási rendszereknél lényegesen eltér egymástól. A legegyszerűsebb nagy vasúti villamosítási rendszerek között legkisebb beruházási költséget kíván *Kandó* Kálmán rendszere, a Magyar Államvasutaknál alkalmazott 50 periódusú vontatású rendszer.

A szocialista gazdálkodásnak a beruházások hatékonyságára vonatkozó követelményei még a leggazdaságosabb villamos-vontatási rendszernél is csak akkor elégíthetők ki, ha a villamosítás gazdaságosságát részletes és minden jelentős szempontra kiterjedő vizsgálattal előzetesen megállapítottuk. Mivel részletes vizsgálatok ismertetésére ez alkalommal nem térhetek ki, csupán a gyakorlati tapasztalatokból kapott adatok felhasználásával és átlagos fajlagos értékek felhasználásával végzett költségszámítás alapján fogom vizsgálni, hogy a MÁV legnagyobb forgalmú vonalainak villamosítása milyen mértékben indokolt.

A villamos vontatási szakértők gyakorlati tapasztalatai szerint a villamosítás akkor gazdaságos, ha a villamosított vonal 1 km-ére vonatkoztatott összes villamos energia-fogyasztás eléri a 250 000—300 000 kWó értéket. A vonal egy kilométerére vonatkoztatott villamosenergia-fogyasztás jellemző értéke az egyes országok szénhelyzete szerint változó. Magyarország jelenlegi szénhelyzetét figyelembevéve a villamosítás gazdaságosságának elbírálásánál a 300 000 kWó felső határt tekinthetjük mértékadó alapnak. A 300 000 kWó értékét általános tapasztalatok alapján megállapított 1 kWó = 2,5 kg szén átszámítási tényezővel szénben is kifejezhetjük, azaz évenként 750 000 kg szén vonalkm. az a szénfogyasztás,

amelynek elérésekor a vonalak villamosítása gazdasági szempontból indokolt. Ha a villamosítás gazdaságosságának vizsgálata során az mutatkoznék, hogy a vizsgálat időpontjával több vasútvonalnak a vonalkilométerenként számított szénfogyasztási értéke meghaladja az említett évi 750 000 kg-ot, a villamosítandó vonalak sorrendjét további szempontok figyelembe vételével kell eldönteni.

A vonalkilométerre eső szénfogyasztás jellemző adat a vonatsűrűsége, a szállított elegendőre, az átlagos vonatterhelésre, a pályaviszonyokra, stb. Ezért a villamosítás indokoltságának elbírálásánál helyesnek és mértékadónak tekintjük. Arra vonatkozólag, hogy mely vonalak villamosítása sürgősebb feladat, két szempontot kell figyelembe venni.

Az egyik szempont szerint a nagy települések helyi elővárosi forgalmának kiszolgálására, forgalmi, vontatási és gazdasági szempontból is a villamosvontatás a legmegfelelőbb.

Nagy gyorsítási képességével és utazási sebességével, a mozdonykezelési idők elmaradásával, a menetrendszerinti, pontos közlekedés lehetőségével válik erre alkalmassá. Különösen vonatkozik ez a Budapestről kiinduló vonalakra, amelyeken a környékről bejáró dolgozók szállítása gazdasági fejlődésünknek már a mai fokán is a legsúlyosabb feladatok elé állítja a vasutat. A forgalom megzavarása miatt bekövetkező késések jelentős munkaidővesztést és súlyos népgazdasági kárt okoznak. Ennek a ténynek a felismerése vezette a MÁV-ot arra, hogy megvizsgálja, vajjon a Hatvan-miskolci vonal villamosításának végrehajtása előtt nem lenne-e indokoltabb a Budapest-környéki vonalak villamosítása.

A másik szempont, mely a villamosítás sorrendjét meghatározza, a nagyforgalmú távolsági vonalak villamosítása bizonyos forgalomsűrűség elérésekor. A távolsági forgalomban ugyanis a villamosítás előnyei még nagyobb mértékben mutatkoznak, mert a vonatok az egész távolságot a gépkezelés és a közbeeső gépcsere miatt elkerülhetetlen hosszabb tartózkodás nélkül, a villamos üzem természetében rejlő vontatási lehetőségek kihasználásával futtatják be.

Ezeket a szempontokat mérlegelve elvileg elsőbbséget kell adni a rövidtávú, helyi forgalmú vonalak villamosításának, mégis tekintettel a forgalom várható alakulására, szükséges a szóbajöhető egyetlen távolsági vonal villamosításának elsőbbségi kérdését is megvizsgálni.

A vonalvillamosítás sorrendjének helyes megállapítása érdekében felvetett két szempontot mérlegelve a Magyar Államvasutak jelenlegi és várható forgalmi és üzemi viszonyai alapján a következő vonalak villamosítását kell figyelembe venni: (1. ábra).

1. Hatvan—Miskolc
2. Budapest-keleti—Rákos—Újszász—Szolnok
3. Budapest-nyugati—Cegléd—Szolnok

4. Budapest-déli—Pusztaszabolcs

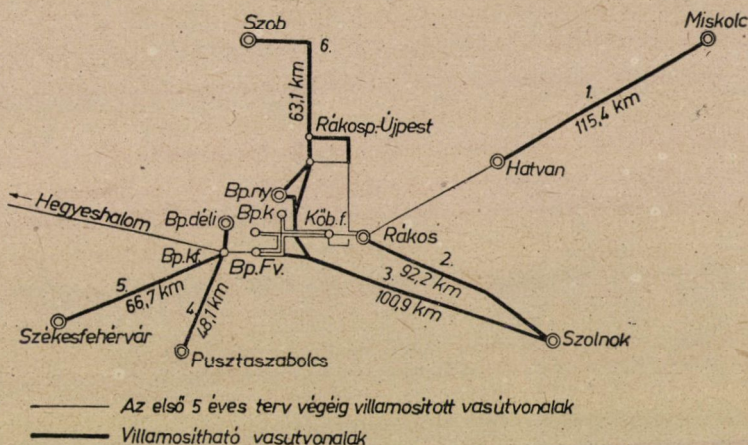
5. Budapest-déli—Székesfehérvár

6. Budapest-nyugati—Szob

A felsorolt vonalak terhelési szakaszainak változását a 2. ábra mutatja.

A felsorolt vonalak közül :

1. A Hatvan—miskolci vonal az 1954. év végéig villamosítandó Budapest—hatvani vonal folytatása. Ez a vonal az ország legnagyobb és legfejlődőképesebb iparvidékét köti össze 181 km hosszúságban Budapesttel és Budapesten keresztül az ország többi részével. A vonal forgalmának nagyarányú növekedésével számolhatunk növekedő ipari termelése, a borsodi kooperáció kifejlesztése és



1. ábra

a borsodi szénmedence kiszolgálása miatt. A vontatás költségeire közvetlen befolyást gyakorló terhelési szakaszok mindkét irányban általában a II. terhelési szakaszba tartoznak.

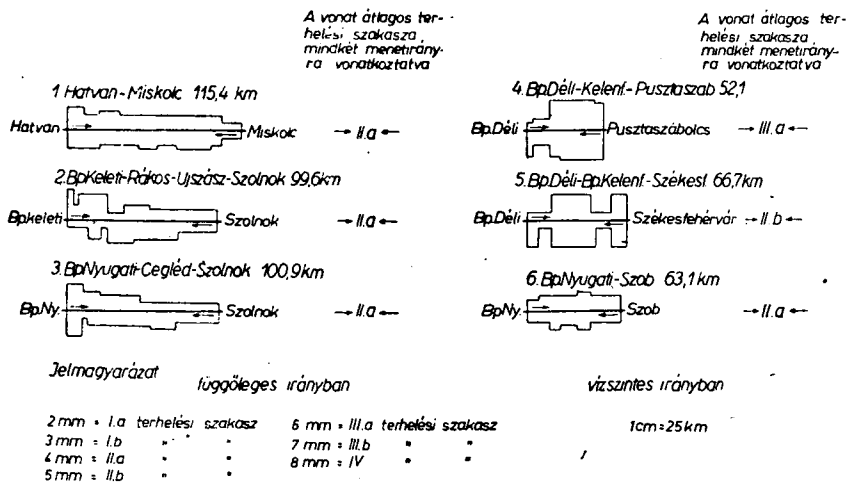
2. A Budapest-keleti—Újszász—szolnoki vonal a már villamosított Budapest—hatvani vonalból Rákoson ágazik ki. A Rákostól Szolnokig villamosítandó hossza 92 km. A háború alatt elpusztult felépítményből jelenleg csak az egyik vágánya van helyreállítva, a második vágány megépítése az első 5 éves tervbe van felvéve, tehát a villamosítás esetleges megkezdése idejére a vonal kétvágányú lesz. Egyvágányú volta miatt jelenlegi forgalma nem felel meg a természetes forgalmi viszonyoknak. Ipari forgalma kevésbé jelentős, de mint Budapest elővárosi vonala nagy munkásvonat-forgalmat bonyolít le.

A vonalnak a lejtéviszonyai változatosabbak, mindkét irányban I. és III. terhelési szakasz között váltakoznak. Átlagosan azonban nem tér el lényegesen a Hatvan—miskolcitól.

3. A Budapest-nyugati—Cegléd—szolnoki vonal legnagyobb forgalmú vonalaink egyike, különösen a ceglédi és lajosmizsei munkásvonat-forgalom

nagysága miatt. Teheráruforgalmát mesterségesen növeli az újszászi vonalról ideterelt áruszállítás, mely csak az újszászi II. vágány helyreállítása után terelhető vissza. Villamosítandó hossza 101 km. Terhelési szakaszai szerint nagyjában megegyezik a Budapest—újszászi vonallal.

4. A Budapest-déli—pusztaszabolcsi vonal a dombóvári vonal első szakasza. Munkásforgalma mérsékelt, mint az előző vonalaké, átmenő forgalma a székesfehérvári vonal jelenleg még egyvágányú volta miatt nagyobb, mint természetes adottságaiból következnek. A Budapest—székesfehérvári II. vágány megépítése után, amelynek befejezése az első 5 éves tervben várható, tehermentesüléssel számolhatunk. Forgalmát a Sztálinvárosi Vasmű termelése erőteljesen fogja növelni. Hossza 52 km, terhelési szakasz szerinti változása



2. ábra

a vizsgált vonalak közül a legnagyobb, amennyiben mindkét irányban I—IV. terhelési szakasza van.

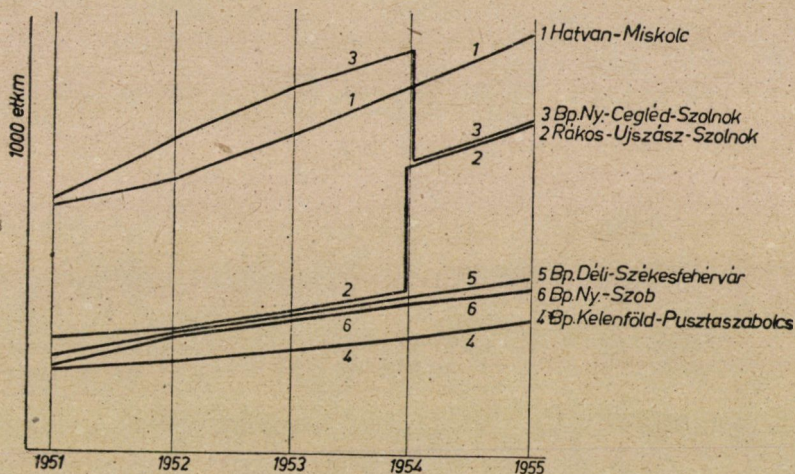
5. A Budapest-déli—székesfehérvári vonal a balatoni vonal első szakasza, forgalma tehát a nyári hónapokban a személyforgalom miatt lényegesen növekszik. II. vágányának kiépítése folyamatban van. A kiépítés befejeztével részben tehermentesíti a pusztaszabolcsi vonalat. Villamosítandó hossza 67 km, hapedig a Budapest—pusztaszabolcsi vonal villamosítása előbb történik meg, a Budapest—déli-kelenföldi szakasz kiépítése miatt 4 km-rel rövidül. Terhelési szakasz beosztása mindkét irányban nagyobb, részben III. terhelésű.

6. A Budapest-nyugati—szobi vonal. Villamosítására csak a ceglédi vonal villamosítása után kerülhet sor. 63 km hosszú, a vonal teljes hosszában lenne villamosítandó. Tehát a vonalon gépcsere nem volna szükséges. Forgalma jelenleg túlnyomó részben helyi munkásvonat-forgalom, áruforgalma főleg a CSD felől és felől jelentős. A vonal mindkét irányban I.—II. terhelési szakaszú.



Az említett vonalak villamosítási sorrendjének eldöntésénél számos vasútüzemi és forgalmi követelményt kell figyelembe venni, amelyek helyes vasútgazdasági mérlegelése szolgálhat a sorrend megállapításának alapjául. A villamosítás sorrendjének megállapítását befolyásoló vasútüzemi és forgalmi tényezők közül csak a leglényegesebbekre fogok kitérni és az értékelésnél várható forgalmi viszonyokat részben a felemelt 5 éves terv tervszámai, részben vasútüzemi átlagértékek szerint fogom tekintetbe venni.

A vonalvillamosítás sorrendjének eldöntésénél, amint említettem egyéb — kevésbé jelentős tényezők mellett — mértékadónak tekinthető a vonal 1 km hosszúságára eső évi energiafogyasztás, tehát a vonal forgalmának várható alakulása, amely megszabja a kilométerenként várható energiafogyasztás



3. ábra

nagyságát. Az említett vonalaknak az 1951—1955. években részben tényleges, részben várható teherelegytonnakilométer teljesítményének alakulását a 3. ábrán mutatom be.

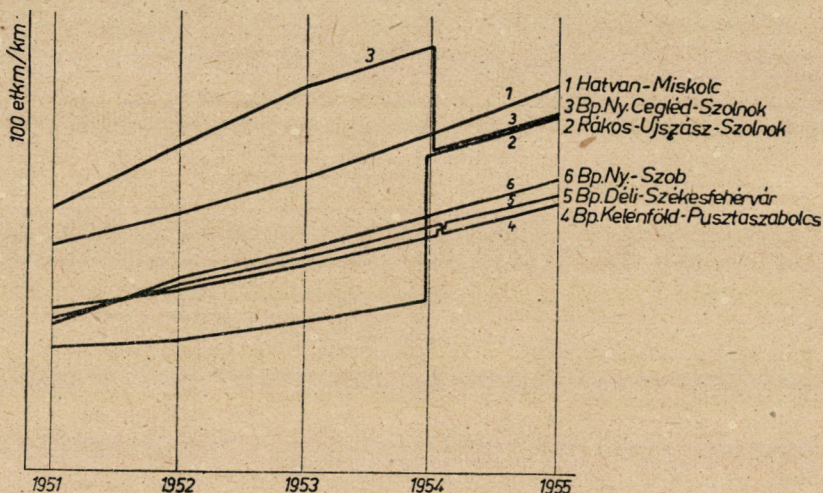
Az ábra 1954-ig ténylegesen felmerülhető forgalom alakulására mértékadónak tekinthető, azonban 1954-től kezdve egyrészt az újszászi és a ceglédi, másrészt a pusztaszabolcsi és székesfehérvári vonalak teljesítményi értékeit módosítani kell, mert az egyvágányú újszászi vonalon 1954-ig nem alakulhat ki olyan forgalom, amilyen a II. vágányának 1954-re tervezett megépítése után fog mutatkozni. A II. vágány hiányában az újszászi vonal áruforgalmának nagyrésze ez idő szerint a ceglédi vonalon bonyolódik le, amely a forgalom áttelése következtében már jelenleg is túlszűfolt.

1954-től kezdve tehát akkor értékeljük helyesen a forgalom alakulását, ha a ceglédi és az újszászi vonal várható forgalmát összegezzük és a két vonal között egyenletesen osztjuk el, mert ezt az elegyáramlás iránya lehetővé teszi.



Ezért 1954-től a megosztást már tekintetbe vettem. Hasonlóképpen jártam el a székesfehérvári, jelenleg még egyvágányú vonal forgalmának a pusztaszabolcsi kétvágányú vonalra való átterelésével.

A 3. ábrából látható, hogy egyrészt a miskolci, újszászi és a ceglédi vonal, másrészt a pusztaszabolcsi, székesfehérvári és szobi vonal összes teljesítménye egymáshoz elég közelálló értékszoportokat alkot. Az ábrán feltüntetett 1000 eleytonnakilométerben kifejezett teljesítmények közel lineáris növekedése a villamosításra szóba kerülő vonalakon felmerülő összes tüzelőanyagfogyasztásra, tehát a vontatási költségek nagyrészen alakulására is tájékoztatást nyújt s egyben alapot szolgáltat a villamosítással elérhető üzemanyagmegtakarítás számítására.



4. ábra

A 3. ábra teljesítményi adatainak felhasználásával készült a 4. ábra, amely a 100 eleytonnakm alakulását tünteti fel az egyes vizsgált vonalakon, a vonal 1 km hosszára vonatkoztatva az 1951/1955. években.

Ennek a grafikonnak az értékére a vonalak 1 km-ére eső szénfogyasztás megállapításánál lesz szükségünk, ami — mint láttuk — a villamosítás indokoltságának megállapításánál döntő tényező.

A vonalak teljesítményi viszonyára jellemző az 1 km vonalhosszra vonatkozó értékek növekedését megmutató ábra, tehát ez ad az összehasonlításra alkalmas alapot. Ezen ábra szerint a vizsgált 6 vonal teljesítményi értékei meglepően közel vannak egymáshoz, ami arra mutat, hogy a villamosítás szempontjából megvizsgálandó vonalak kiválasztása helyesen történt. Az 1954. évben az újszászi és a ceglédi vonal, valamint a székesfehérvári és pusztaszabolcsi vonal teljesítményében mutatkozó törést illetően az előzőekben már utaltam

az újszászi, illetőleg a székesfehérvári vonal II. vágányának megépítése után bekövetkező forgalom átertelésére.

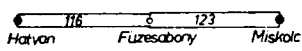
Ezen ábra vizsgálatánál nem szabad szem előtt téveszteni, hogy az adatok évi értékek, azokból sem a havi, sem a napi teljesítményi egyenlőtlenségek nem állapíthatók meg.

Ezen ábra teljesítményi adataiból a vonalak 1 km hosszúságára eső tüzelőanyagfogyasztás kiszámítható, ha figyelmen kívül hagyjuk a forgalom egyenlőtlenségét, amely elhanyagolás — átlag értékekről lévén szó — a számítás helyességét nem befolyásolja.

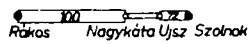
A vonatsűrűség vizsgálatánál azonban a forgalom egyenlőtlenségét már

1951. Csúcsforgalmi hónap napi átlaga

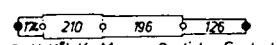
1. Hatvan-Miskolc 115,4 km



2. Rákos-Ujszász-Szolnok 92,2 km

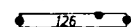


3. Bp. Nyugati-Cegléd-Szolnok 100,9 km



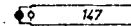
Bp. Ny. Kőb. Kp. Monor Cegléd Solnok

4. Bp. Kelenföld-Pusztaszabolcs 48,1 km



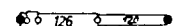
Bp. Kelenföld Pusztaszabolcs

5. Bp. Déli-Székesfehérvár 66,7 km



Bp. D.K. Székesfehérvár

6. Bp. Nyugati-Szob 63,1 km



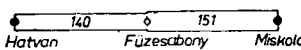
Ny. R.R. Ujp. Vác Szob

Jelmagyarázat:

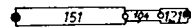
A villamosítás előleltételeit elért vonatok kezdő és végpontja  
 Statisztikai szakaszok

Csúcsforgalmi hónap napi átlaga a villamosítás idején.

1. Hatvan-Miskolc 115,4 km.

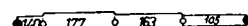


2. Rákos-Ujszász-Szolnok 92,2 km



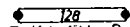
Rákos Nagykáta Ujszász Solnok

3. Bp. Nyugati-Cegléd-Szolnok 100,9 km



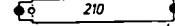
Bp. Ny. Kőb. Kp. Monor Cegléd Solnok

4. Bp. Kelenföld-Pusztaszabolcs 48,1 km



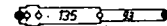
Bp. Kelenföld Pusztaszabolcs

5. Bp. Déli-Székesfehérvár 66,7 km



Bp. D.K. Székesfehérvár

6. Bp. Nyugati-Szob 63,1 km



Ny. R.R. Ujp. Vác Szob

5. ábra

tekintetbe kell venni. A vonatsűrűsége jellemző a vonal 1 km-ére eső vonat-kilométer értéke, azaz a közlekedő vonatok átlagos mennyisége. A tárgyalt vonalak forgalomsűrűségét mutatja az 5. ábra.

Az ábrán a Budapest—újszászi vonal Rákos—nagykátai szakaszának forgalomsűrűsége 100%-nak van feltüntetve, a többi vonalszakasznak forgalomsűrűsége ehhez van viszonyítva. Ha a közlekedő vonatok száma bizonyos értéket meghalad, a pálya adottságainak megfelelően (állomások és térközök távolsága, állomások befogadóképessége, stb.) bekövetkezhetik a vonal telítettsége, azaz a vonatok olyan sűrűn követik egymást, hogy több vonat már nem helyezhető forgalomba. A telítettség határa csak a vonal kapacitásának növelésével fokozható. A kapacitás növelésének több hatékony eszköze van,

amelyek között egyéb gazdasági kihatásai miatt egyik legjelentősebb a vonalak villamosítása. A villamos vontatás a vonatok átlagos sebessége, jobb gyorsítási lehetőségei, a terheléstől és a pálya lejtésviszonyaitól független menetidő-tartási képessége, a vontatási kezelési idők lényeges csökkenése folytán — bár a pálya berendezéseitől és a forgalom viszonyaitól függően — de a gőzvontatáshoz viszonyítva lényegesen több vonat közlekedtetését teszi lehetővé.

A vonalak villamosítási sorrendjének eldöntésénél tehát össze kell hasonlítani a vonalak forgalmának sűrűségét. Ez az ábra mutatja az 1951. évi csúcsforgalmi hónap vonatkilométer teljesítményeiből számított átlagos vonatszámok arányát, a napi forgalmi egyenlőtlenségek figyelembevétele nélkül. Az ábrán a vonalvillamosítás időpontjában várható forgalomsűrűség arányai is láthatók.

Ebből az ábrából a sorrend kérdésének a vizsgálata előtt is megállapítható, hogy a forgalom sűrűsége a napi átlagos vonatszám a villamosítás idején az összes vonalakon eléggé közel esik egymáshoz. A napi átlagos vonatszám abszolút értékei mind a 6 vonalon nagyok. A vonatsűrűség nagy értékei és a vonalak villamosításának indokolt voltára hívják fel a figyelmet.

A miskolci távolsági vonalnak a többi vonalétól eltérő jellegzetessége, hogy a vonatsűrűsége aránylag kisebb, de a vonatsűrűségben csak kisebb egyenlőtlenségek állapíthatók meg a vonal teljes hosszában. Ez az egyenletes, tartós terhelés villamosítási szempontból határozott előnyt jelent.

A villamosítás tervezett időszakában a szolnoki vonalak vonatsűrűsége valamivel kedvezőbb még a miskolci vonalénál, de a villamosítás sorrendjének eldöntésénél a beruházás hatékonysága szempontjából az elegytonna/km fajlagos értéke fontosabb, döntőbb, mint a forgalomsűrűség értéke. A vonatsűrűségi ábrán a villamosítás tervezett időszakában a többi vonalhoz képest lényegesen nagyobb értéket mutat a székesfehérvári vonal. Ez az érték a nyári balatoni csúcsforgalom jellemzője, de a vonal teljesítménye mellett nincs döntő jelentősége.

A vonalvillamosítás sorrendjének eldöntésénél, — amint említettem — a vonatsűrűségnél fontosabb szempont a vonalak 1 km-ére eső elegytonna/km teljesítménye. A 6. ábra mutatja a tárgyalt vonalak várható elegytonna terhelésének a viszonyát.

Ugyancsak az 1951. évi csúcsforgalom tényezőiből számítva az 1951. évre és a villamosítás várható idejére (1954.) itt is, hasonlóan az előbbi ábrához, a Rákos—nagykátai vonalszakasz elegytonna terhelése 100%-nak van feltüntetve, a többi vonalszakasz forgalomsűrűsége ehhez van viszonyítva.

Az ábrán feltűnik a ceglédi vonalat jellemző jelentős elővárosi forgalomból adódó kiemelkedő elegytonna arány, amely azonban csak rövid, 27 km-es szakaszon mutatkozik. A forgalomnak ez az erősen hullámzó jellege fő vasúti villamosítási szempontból kevésbé gazdaságos. A belső forgalom legnagyobb részét kitevő személyszállítási igény kielégítésére alkalmasabbnak látszik az



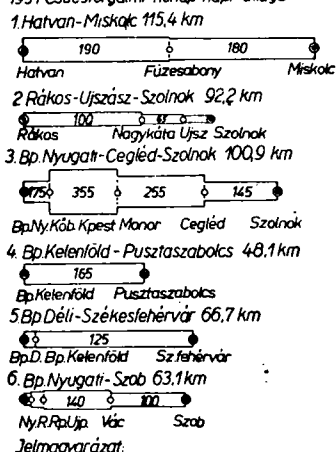
erre a távolságra még gazdaságosan használható, rugalmasabb helyi forgalmú villamos üzem (a HÉV korszerűsített alakja).

Vonalvillamosítási szempontból a ceglédinél sokkal kedvezőbb a miskolci, pusztaszabolcsi és székesfehérvári vonal. A két utóbbi vonal villamosítását kisebb és idényjellegű forgalmuk csak későbbi időben teszi indokolttá.

A MÁV főbb vasútvonalainak villamosításáról eddig elmondottakat összefoglalva a következőket állapíthatjuk meg;

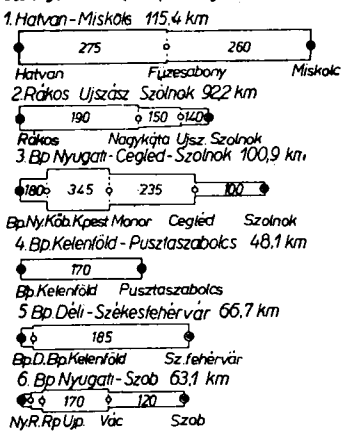
1. A terhelési szakaszok szerint a miskolci, újszászi, ceglédi vonalak között lényeges eltérés nincs. Jelentősebb az eltérés a székesfehérvári, de főleg

1951 Csúcsforgalmi hónap napi átlaga



Jelmagyarázat:  
 A villamosítás előfeltételeit elért vonalak kezdő és végpontja ●  
 Statisztikai szakaszok ○

Csúcsforgalmi hónap napi átlaga a villamosítás idején



6. ábra

a pusztaszabolcsi vonalnál, azonban nem olyan nagy, hogy a sorrend megállapítását befolyásolhatná.

2. Láttuk, hogy az összes évi elegytonnakilométer teljesítményben a miskolci, újszászi és ceglédi vonalak kiemelkedő csoportot alkotnak. Évi teljesítményük az évi szénfogyasztásukkal arányos, ezért a villamosítás sorrendjének megállapítására már jellemző.

3. A tárgyalt vonalak 1 km-ére eső évi 100 elegytonna kilométer arányait nézve a sorrendiség kérdésének megállapításánál az eredmények a következők:

A miskolci, újszászi és a ceglédi vonal fajlagos teljesítményei itt is kiemelkednek, ezenkívül a miskolci vonal fajlagos teljesítményének a növekedése a villamosítás idejéig jól megállapítható.

4. A vonatsűrűség egy napi csúcsertékét nézve a ceglédi vonal tűnik ki nagy egyenlőtlenségével, de abszolút értékben a miskolci vonaltól nem különbözik lényegesen. A vonatsűrűség csúcsertékei a nehézségekre már felhívja a figyelmet,

de egy napra vonatkozó értékük miatt a villamosítás sorrendjének megállapításánál nincs döntő jelentőségük.

5. A fajlagos eleytonna napi csúcsértékeit nézve, abszolút értékben a miskolci vonal teljesítménye kerül első helyre, de az előbb említett napi csúcs jelentőségére vonatkozó megállapításunk itt is érvényes. Az elmondottakból már eddig is a miskolci vonal villamosításának az elsőbbsége bontakozik ki. Amint a bevezetésben már említettem, a villamosítás indokoltságára a vonalhossz 1 km-ére eső összes tüzelőanyagfogyasztásnak van döntő jelentősége. Az 1 km-re eső tüzelőanyagfogyasztás 2 tényező alapján állapítható meg. Ez a két tényező a megtervezett virtuális eleytonnakilométer teljesítmény (a mozdony átszámított súlyának és a szerelvény súlyának összege szorozva az úttal) és a virtuális 100 eleytonnakm teljesítményre eső szénfogyasztás. A mellékteljesítmények arányát a számítás egyszerűsítése érdekében az összes vonalra egyenlőnek vehetjük fel.

A virtuális eleytonnakilométer számításánál a megtervezett tényleges eleytonnakilométer értékét megszorozzuk a tapasztalatok alapján megállapított 1,4 tényezővel, mert a vontató járművek átszámított elegysúlya átlagosan 40%-kal növeli a vontatott eleytonna továbbításához szükséges mozdony teljesítményt. A 100 eleytonnakilométerre eső szénfogyasztást a jelenlegi mozdony zsinórmértékek alapján vehetjük figyelembe, az egyes vonalakra a következő középértékekkel ;

	<i>kg/100 etkm</i>
1. a Hatvan—miskolci vonalon .....	4,4
2. a Budapest—újszászi—szolnoki vonalon .....	4,3
3. a Budapest—Cegléd—szolnoki vonalon .....	4,3
4. a Budapest—pusztaszabolcsi vonalon .....	5,1
5. a Budapest—székesfehérvári vonalon .....	4,6
6. a Budapest—szobi vonalon .....	4,2

Ezeknek a fajlagos szénfogyasztási értékeknek és az előbb felvázolt adatoknak a felhasználásával készült a 7. ábra, amely a vonalhossz egy km-ére eső tüzelőanyagfogyasztást mutatja a villamosításra szóba jöhető vonalakra vonatkozóan.

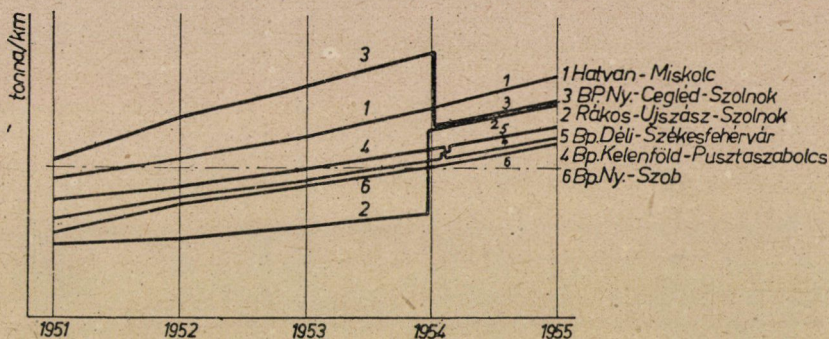
Ezzel az ábrával részletesebben kell foglalkoznunk, mert amint említettem, a szakértők a vasútvonalak villamosításának indokoltságát a vonalhossz egy kilométerére eső tüzelőanyagfogyasztástól teszik függővé.

Ezen az ábrán az eredményvonal mutatja a fajlagos szénfogyasztásnak a villamosítás kritériumát képező értékét. Az eredményvonal feletti fajlagos szénfogyasztási értékeket vizsgálva megállapítható, hogy 1952-ben a ceglédi és a miskolci, 1954-ben pedig a többi 4 vonal forgalmának a fejlődése is indokolja a villamosítást, tehát az ábrából levonható az a következtetés, hogy a második



5 éves terv idejére a vizsgálatunk tárgyát képező mind a 6 vonal villamosítása indokolttá válik.

Az első 5 éves tervben csak a Budapest—hatvani vonal villamosításával számolhatunk, ezért a helyes villamosítási sorrend megállapítása érdekében kérdést tovább kell vizsgálnunk. Ebből az utolsó ábrából látható, hogy 1954-ig a ceglédi vonal villamosítása a legindokoltabb. A megállapítás alapját képező fajlagos szénfogyasztási értékek azonban nem a villamosítás idejére vonatkozó valóságos helyzetet jellemzik, hanem azt a tényt igazolják, hogy a ceglédi vonal átmenetileg túl van terhelve. A jelenleg egyvágányú újszászi vonal kapacitása ugyanis lényegesen elmarad a kétvágányú vonalakéhoz képest, ezért forgalmának tekintélyes részét át kellett terelni a ceglédi vonalra. Az újszászi



7. ábra

vonal második vágányának 1954-ben való helyreállításával a forgalom természetes egyensúlyi helyzete megvalósul.

Tekintve, hogy a ceglédi és az újszászi vonal vontatási szempontból lényeges különbséget nem jelent, az 1954. utáni teljesítményeiket úgy vettem fel, hogy a várható elegytonnakilométer teljesítményeik összegét a két vonal között egyenlő mértékben elosztottam. Tekintettel arra, hogy a tárgyalt vonaloknak a villamosítására csak 1954. után kerülhet sor, sorrendjük elbírálásánál forgalmuknak a villamosítás idejében való alakulását kell vizsgálnunk.

A miskolci vonal forgalmának alakulásánál figyelembe kell venni azt a tényt, hogy Miskolc az ország egyik legnagyobb és legfejlődőkésebb ipari centruma. A miskolci vonal forgalma tehát jobban fog fejlődni, mint a szolnoki vonalaké, vagyis a vonal 1 km-ére eső szénfogyasztás értéke nagyobb mértékben túl fogja szárnyalni az utána következő két szolnoki vonalét.

A várható szénfogyasztás abszolút értéke 1954. után a miskolci és a két szolnoki vonalnál 30—40%-kal meghaladja az előzőekben megállapított minimális határt. Ezeknek a vonaloknak a villamosítása tehát ebből a szempontból teljesen indokolt.

Annak a hangsúlyozásával, hogy a villamosítás sorrendjének kérdésében a vonal 1 km-re eső szénfogyasztása a döntő, ezen utolsó ábra adatainak számszerű értékelése az alábbi sorrendet adja ;

1. a miskolci vonal
2. az újszászi és ceglédi vonal
3. a székesfehérvári vonal
4. a pusztaszabolcsi vonal
5. a szobi vonal

Az eddig elmondottakban megállapítottuk, hogy a forgalmi helyzet alakulása a második 5 éves terv idejére a vonalak villamosítását a vonal 1 km-ére eső tüzelőanyagfogyasztás alakulása folytán a vizsgált vonalak mindegyikén indokoltá teszi. A vonalak villamosításának végrehajtására azonban csak akkor kerülhet sor, ha a villamosítás beruházási költségei meghatározott időtartamon belül fedezetet találnak a megtakarításokban. Ezért vizsgálni kell a vonalvillamosítási költségeket és a villamosított üzemben elérhető megtakarításokat.

A villamosítással elért megtakarításoknak ugyanis biztosítaniok kell a beruházási kiadásoknak átlagosan 30 éven belüli megtérülését. Ha a megtérülés hamarabb bekövetkezik, akkor a villamos üzem előnyei a népgazdaság számára korábban mutatkoznak.

A vonalvillamosítás beruházási költségei km-ként átlagértékben egymillió forintra becsülhetők, beleértve a felsővezeték és az alállomások létesítésének, a távközlő-bérendezések átalakítási költségeit és egyéb költségeket.

Egyes vonalakon azonban a helyi adottságok miatt a km-kénti 1 millió forint beruházási költségen felül többletköltségek merülnek fel, amelyeket a továbbiakban figyelembe kell venni.

1. a miskolci vonalon egyelőre csak az okvetlenül szükséges vágányokat villamosítjuk és eltekintünk a miskolci állomás teljes villamosításától. Így a rendező p. u. egy része gőzüzemű marad. Ezáltal Füzesabony állomás többletköltségével együtt összesen 4 millió forinttal kell növelnünk a vonalvillamosítás költségeit.

2. Az újszászi vonalon Szolnok állomásra 3 millió forint többletköltséget veszünk fel a Miskolcnál említettek értelmében.

3. A ceglédi vonalon nagyobb költséget jelent Budapest-nyugati p. u. és Rákosrendező p. u. villamosítása és a Nyugati pályaudvaron építendő villamos mozdonyszín. Ezeknek a költségei együttesen 20 millió forintra becsülhetők. Szolnok állomás villamosítási többletköltségét az újszászi vonallal egyezően ugyancsak 3 millió forintra értékelhetjük. Ez a 3 millió többletköltség vagylagosan mutatkozik az újszászi vagy ceglédi vonalon, aszerint, hogy melyik vonalat villamosítjuk előbb.

4. A pusztaszabolcsi és a székesfehérvári vonalon csak Buda-déli p. u. villamosítása jelent többletköltséget, amelyet vagylagosan 3 millió forintra

veszünk fel. Ez a költség annak a vonalnak villamosítását fogja terhelni, amelyikre előbb kerül sor. Pusztaszabolcs, illetőleg Székesfehérvár állomáson nagyobb villamosítási munkát nem lenne indokolt végezni, ezeknek az állomásoknak a kiszolgálása továbbra is gőzmozdonyokkal történék.

5. A szobi vonalon nem vesszünk fel villamosítási többletköltséget, mert ezt a vonalat csak a ceglédi vonal villamosításának végrehajtása után tartjuk indokoltnak villamosítani, amikor a Nyugati p. u. villamosítása már megtörtént.

A többletköltségekkel módosított beruházási költségeket az 1 km-re eső fajlagos értékekkel együtt a következő táblázat tartalmazza ;

Vonalszakasz	Vonalhossz km-ben	Összes költség millió Ft	1 km-re eső költség millió Ft
1. miskolci .....	115,4	120	1,04
2. újszászi .....	92,6	95	1,04
3. ceglédi .....	100,9	124	1,23
4. pusztaszabolcsi .....	48,4	55	1,06
5. székesfehérvári .....	62,7	70	1,05
6. szobi .....	63,1	63	1,00

A szükséges vontató járművek számát a várható vonatkm teljesítmény és az egy vontatójárműre tervezett átlagos évi futás alapján állapítjuk meg. A szükséges mozdonyszámot a várható vonatkm teljesítménynek és egy mozdony átlagos évi futására felvett 130 000 km-nek a hányadosa adja. Az így számított mozdonyszámot a javítások miatt szükséges mozdonyok számával meg kell növelni. Az egyes vonalakon szükséges mozdonyok száma a következő ;

Vonal	Mozdonyükséglet db	Költség millió forintban
1. miskolci .....	24	87
2. újszászi .....	18	65
3. ceglédi .....	20	72
4. pusztaszabolcsi .....	13	47
5. székesfehérvári .....	14	50
6. szobi .....	12	43

A villamos mozdonyok beruházási költségei jelentősek, azonban a villamos vontató járművek költségei közel megegyeznek a velük egyenértékű, azonos teljesítményt továbbító gőzmozdonyok költségeivel, ugyanis a gőzmozdony üzemben 2,5 gőzmozdonyal lehet egy villamos mozdony teljesítményét ellátni. Ezért a villamos mozdonyok beszerzési költségei nem írhatók közvetlenül a villamosítás terhére.

A pályaépítési kiadások általában nem terhelik a villamosítás költségeit, mert a korszerűsítésekre a villamosítás nélkül is szükség van.

A vasútvonalakat azonban csak a pálya megfelelő állapotában gazdaságos villamosítani. A villamosítás utáni pályakorrekciók, állomásbővítések és egyéb korszerűsítések költségei jelentős kiadást okoznak, különösen akkor, ha a korszerűsítést a villamosítás után rövid idő múlva kell végrehajtani.

Ezért a pálya korszerű felújításával és a felújítás költségeivel is foglalkoznunk kell, mert a villamosítás sorrendjére a pálya állapota is befolyást gyakorol.

A vonalak végleges állapotba hozatalára az alábbi lényegesebb beruházásokat és felújításokat kellene elvégezni.

A miskolci vonalon : Hatvan, Füzesabony, Miskolc állomások korszerűsítése.

Az újszászi vonalon : a II. vágány megépítése, Szolnok állomás korszerűsítése.

A ceglédi vonalon: Bp-nyugatip. u. Cegléd, Szolnok állomások korszerűsítése.

A pusztaszabolcsi vonalon : nem szükséges jelentősebb beruházás.

A székesfehérvári vonalon : a II. vágány építésének befejezése, Székesfehérvár állomás korszerűsítése.

A szobi vonalon : a 3,6 m-es vágánytávolság 4 m-re való növelése.

Az egyes vonalak villamosítása után elérhető megtakarítások a következőképpen számíthatók :

Az összes vontatási költség a villamos mozdonyt legjobban megközelítő 424 sor. mozdonnyal végzett vontatás esetén 2.— forint/100 etkm-re vehető.

A villamos vontatás teljesítményszükséglete 3,2 kWó/100 elegytonnakilométer, amelynek a költsége 0,2 Ft/kWó egységár mellett 0,64 Ft/100 elegytonnakilométer. Az egyéb vontatási költség a rendelkezésre álló adatok szerint 0,60 Ft/100 etkm. Tehát az összes vontatási költség

villamos vontatással 0,64 + 0,60	.....	1,24 Ft/100 etkm
gőzüzemű vontatással	.....	2,00 « «
megtakarítás villamos vontatás esetén a gőzüzemhez képest		
	.....	0,76 « «

A mozdonyok javítási költsége a rendelkezésre álló statisztikai adatok szerint

villamos üzemnél	.....	0,50 Ft/100 etkm
gőzüzemnél	.....	0,70 « «
megtakarítás villamos üzem esetén	.....	0,20 « «

az üzemi és fenntartási költségekben elérhető megtakarítás tehát együttesen  $0,76 + 0,20 = 0,96$  Ft/100 etkm.

Meg kell még vizsgálni mind a gőz-, mind a villamos üzemben a megtérülési (amortizációs) költségek alakulását is. Ez a költség



gőzüzemnél.....	0,25 Ft/100 etkm
villamos üzemnél .....	0,35 « «
ebből a gőzüzem javára mutatkozik .....	0,10 « «

Ennek figyelembe vételével számítható a megtakarítás a villamos üzemnél  $0,96 - 0,10 = 0,86$  Ft/100 etkm. Ezt a fajlagos értéket csökkenteni kell a megtérülési költséget jelentő  $0,35$  Ft/100 etkm értékkel. A megtérülés szempontjából figyelembevehető megtakarítás tehát  $0,86 - 0,35 = 0,51$  Ft/100 etkm, azaz  $5,10$  Ft/100/etkm. A megtérülési idő a vizsgált vonalakon a fajlagos megtakarítás figyelembe vételével a következő táblázatban látható;

Vonal	Összes vill. beruházás millió Ft	Megtérülési idő évben
Miskolci .....	207	20
Újszászi .....	160	18
Ceglédi .....	196	20
Pusztaszabolcsi .....	102	26
Székesfehérvári .....	120	25
Szobi .....	106	24

Ebből a táblázatból látható, hogy a miskolci, újszászi és ceglédi vonalak beruházási költségeinek megtérülése között lényeges eltérés nincsen, de megelőzik a többi vonalakat.

Meg kell azonban jegyezni, hogy forgalmi szempontból a miskolci vonal  $115,4$  km, az újszászi  $99,6$  km, a ceglédi pedig  $100,9$  km hosszú.

Az elmondottakban a vonalvillamosítás kérdését az Államvasutak szóbajozható vonalaira megvizsgáltuk. Vizsgálatunk csak a jelentős és összehasonlításra alkalmas szempontokra terjedhetett ki, mert a kérdés sokoldalú volta miatt egy előadás keretében részletesebb tárgyalásra ez nem alkalmas.

Az átfogó adatok ismertetéséről a vonalvillamosításnak a következő sorrendjét állapíthatjuk meg: először a Budapest—miskolci vonal Hatvan—miskolci szakaszának villamosítása.

1. A miskolci vonal elsőbbségét indokolja az a tény is, hogy Miskolc környéke Budapest után az ország legjelentősebb és erősen fejlődő ipari centruma. Ezért ez a fővonal az ország iparosítása szempontjából elsőrangúan fontos. Népgazdaságunk rohamos fejlődése folytán a miskolci vonalon jelentkező szállítási igényeket csak villamos vontatással elégíthetjük ki gazdaságosan. A vonal már megkezdett villamosításának folytatása révén a villamosítás összes előnyei az egész vonalon érvényesülnek. (Pl. a mozdonycsere elmaradása miatt növekszik az átlagos utazási sebesség).

A vonallal szemben támasztott szállítási igények az egész vonal mentén egyenletesen jelentkeznek, ezáltal a villamosítás beruházási és üzemi költségei jobban kihasználhatók.



A vonal egyenletes és fejlődő terhelése miatt az évi szénfogyasztás abszolút értéke a legnagyobb és mivel a fajlagos megtakarítás értékeiben az egyes vonalak között lényeges eltérés nincs, az évi szénmegtakarítás is a miskolci vonalon a legnagyobb.

A vonal 1 km hosszára eső szénfogyasztás értéke, ami a vonal összes jellemzőit magában foglalja és döntő jelentőségű, ezen a vonalon éri el a legnagyobb értéket.

A pálya állapota folytán a vonal villamosítása végleges alakjában hajtható végre. A villamosítás fajlagos beruházási költsége és a beruházás megtérülésének időtartama a legkedvezőbb.

2. és 3. A miskolci vonal után a Budapest—Cegléd—szolnoki és a Budapest—Újszász—szolnoki vonalakon érvényesülnek legjobban a villamosítás előnyei. Az újszászi vonal II. vágányának megépítése után a két vonal terhelése kiegyenlíthető. Ebben az esetben a villamosítás előnye is közel azonosak.

A két vonal évi teljesítményei a kiegyenlítés lehetőségei miatt egyformák és a miskolci vonal teljesítményei után következnek.

A villamosításra döntő jelentőségű km-kénti összes szénfogyasztás a két vonalon közel egyforma és közvetlenül követi a miskolci vonalét.

A beruházási költség megtérülési időtartama mindkét vonalra nézve kedvező. A ceglédi vonal villamosítását sürgeti a vonal nagy munkásvonat-forgalma, amely a személyforgalom telítettségének határán mozog. Ezen a vonalon azonban a villamosítás előnyei a lajosmizsei forgalom becsatlakozása miatt a vegyes üzem következtében csak részben érvényesülnek.

A vonal ideiglenes villamosítása — Budapest-nyugati p. u. és az állomások korszerűsítése nélkül — később felesleges költségtöbbletet okozna és a villamosítás lényeges előnyei elmaradnának, mert Budapest-nyugati p. u. jelenlegi állapotában a nagyobb forgalom kiszolgálására már nem alkalmas.

A ceglédi vonal villamosítása Bp-nyugati p. u. üzemét vegyessé tenné, a vegyes üzem minden hátrányával együtt.

Az újszászi vonal a Bp-keleti pu.-ról kiinduló villamos vonalakhoz csatlakozik, ezért 7,4 km hosszúságban már villamosítva van. Az újszászi vonal villamosításával Bp-keleti p. u. üzemének vegyes jellege lényegesen tovább csökkenne.

A vonal villamosítása a már kétvágányú korszerűen átépített vonalakon hajtható végre.

Mivel a ceglédi vonal villamosítása a jelen forgalmi viszonyok mellett nem oldja meg a munkásvonat-forgalom és egyéb személyvonat-forgalom telítettsége okozta problémákat, az újszászi vonal villamosításának előnyeit a ceglédi vonallal szemben döntőnek tekinthetjük.

4. A Budapest—székesfehérvári vonal villamosítása mellett szól a nagy utasforgalma és az Észak-Dunántúl iparvidékének erőteljes fejlődése.

Villamosításra ez a vonal is megérett, de a villamosítás megvalósítása előtt számolni kell az egyébként is korszerűsítésre szóló, a mozdonycserék folytán még nehezebb forgalmi viszonyok közé kerülő állomás fejlesztésének szükségességével.

5. A Budapest—pusztaszabolcsi vonal villamosítását a vonal III. IV. terhelési szakaszai a vonal várható terhelése és az 1 km-re eső szénfogyasztás nagysága egyaránt indokolja.

6. A Budapest—szobi vonal villamosítása is indokolt, ha a forgalom-sűrűség és a gazdasági szempontok csak az előbb említett vonalak villamosítása után teszik is lehetővé.

Előadásom során az Államvasutak tárgyalt fővonalainak jelenlegi helyzete és felemelt ötéves terve során várható fejlődés figyelembevételével a népgazdasági szempontok, a vasútiüzemi és forgalmi követelmények egybevetésével igyekeztem a villamosításra leginkább megérett vonalak villamosítási sorrendjét megállapítani.

Vizsgálataim során csak a legdöntőbb szempontokra tértem ki, a beruházási költségek számításánál és a várható megtakarításoknál pedig részletes számítások helyett a tapasztalatból kapott átlagértékeket vettem figyelembe, azonban a részletes számítások nem befolyásolhatják a számított értékek nagyságrendjét, sem a villamosítandó vonalak sorrendjét nem változtathatják meg.

Rá kell azonban mutatnom arra, hogy a vasútvonalak villamosításának kérdésében nemcsak a tárgyalt forgalmi, gazdasági szempontok a fontosak, hanem igen jelentős politikai megfontolásokat is mérlegelni kell. A politikai szempontok viszont, amelyeknek kialakítása a Párt, a kormányzat feladata, a szorosán vett forgalmi-gazdasági számítások eredményeivel egybevetve megváltoztathatják a villamosításra kijelölt vonalaknak azt a sorrendjét, amely csak a számításokra támaszkodó gazdasági megfontolások alapján alakult ki. Különösen meg van ennek a lehetősége akkor, amikor egyes vonalak gazdasági számértékei annyira megközelítik egymást, mint azt hazai vonatkozásban láttuk.

A MÁV optimális vonalvillamosítási programjának kialakításával kapcsolatos vizsgálatok arra is rámutatnak, hogy vasútunk teljesítményeit milyen hatalmas mértékben kell növelnünk ahhoz, hogy a népgazdaságunk bekövetkező fejlődése folytán mutatkozó fuvarozási igényeket kielégíthessük.

Ennek a hatalmas feladatnak megoldása érdekében a vonal villamosítási program siker megvalósítása az egyik leghatékonyabb tényező lesz, amely a fuvarozási munka és az energiabázis terén jelentkező óriási előnyei mellett, nagy hazai műszaki alkotásaink sorát is gyarapítja. Tehát valóban egész népgazdaságunk jelentékeny erősödését, a szocializmus építését szolgálja.



# AZ 50 PERIÓDUSÚ EGYFÁZISÚ NAGYVASÚTI RENDSZER HÁLÓZATI KÉRDÉSEI

VAJTA MIKLÓS  
a műszaki tudományok doktora

Magyarországon elsőként a Budapest—Hegyeshalom-i vasútvonal épült meg a Ganz—Kandó-féle egyfázisú, 50 periódusú villamos rendszerrel. Ez az üzem most már két évtizedes multra tekinthet vissza és így az itt gyűjtött tapasztalatok alapján az energiatermelőnek módjában van határozott véleményt kialakítani arról, hogy e rendszer egyfázisú terhelése a 100 kV-os kooperációs hálózatra milyen hatással van.

A vasúti üzemet tápláló nagyobb feszültségű, jelen esetben 100 kV-os országos hálózat a normális háromfázisú üzemre előírászerűen szimmetrikus háromfázisú elemekből épült. Érthető tehát, hogy külföldön évtizedeken át meglehetősen idegenkedéssel fogadtak az áramszolgáltató vállalatok minden olyan jellegű fogyasztót, tehát az egyfázisú 50 periódusú vasútüzemet is, amely az általános energiaellátás feladatát végző hálózatra nézve asszimmetrikus terhelést jelent. Nálunk ez az idegenkedés — nyilván a kedvező próbaüzemi tapasztalatok alapján — nem volt meg, s az azóta eltelt két évtized a mi álláspontunkat igazolta.

Nézzük most meg a kvalitatív tények egyszerű megállapításán túlmenően számszerűen is, hogy mennyiben indokolt a mi álláspontunk, és mennyiben indokolatlanok az 50 periódusú egyfázisú vasúti üzemmel szemben energia-termelői oldalról táplált aggályok.

Előre kell bocsátani, hogy a következőkben az asszimmetriával kapcsolatos kérdéseket az e célra legalkalmasabb és legelterjedtebb módszerrel: a szimmetrikus összetevők módszerével fogjuk vizsgálni és feltesszük, hogy az olvasó e módszer lényegét és alapfogalmait ismeri.

## *1. Az egyfázisú vasúti üzem okozta asszimmetria mértéke és hatásai*

Az egyfázisú vasúti állomások nem a rendszer csillagpontja és egy fázisvezető, hanem két fázisvezető közé vannak kapcsolva. Ezért a belőlük adódó asszimmetrikus terhelésnek nem lehet zérus, csupán pozitív és negatív sorrendű összetevője. Az ilyen zárt vektorháromszöget alkotó asszimmetrikus terhelés asszimmetria-fokának jellemzésére az ú. n. »asszimmetria-tényező«:

a negatív és pozitív sorrendű összetevő hányadosa szolgál. Az aszimmetria mértékének kifejezésére az aszimmetria-tényező százszorosa, mint százalékos mennyiség is igen használatos.

Az egyfázisú vasúti terhelés aszimmetriájának alsó és felső határát könnyen megállapíthatjuk. A legkedvezőtlenebb ugyanis az az eset, amidőn egyetlen alállomás van, azaz a terhelés az országos hálózatra tisztán egyfázisú. Az ilyen tiszta egyfázisú áram pozitív és negatív sorrendű összetevője egymással egyenlő, következésképpen az aszimmetria mértéke 100%-os. A legkedvezőbb viszont az az eset, amidőn a hálózaton oly sok vasúti alállomás van a háromfázisra egyenletesen elosztva, hogy a nagyszámok törvénye alapján az eredő terhelés már gyakorlatilag mindig szimmetrikus háromfázisúnak tekinthető. Ilyenkor tehát az aszimmetria mértéke 0%. A valóságos terhelés e két határ közé esik.

Az aszimmetrikus terhelésnek két káros következménye lehet. Az egyik ; a negatív sorrendű áramoknak a hálózatot tápláló szinkrongenerátorokban, továbbá a hálózatról táplált szinkron motorokban keltett járulékos vesztesége. A másik : a hálózatban keltett aszimmetrikus feszültségesések, amelyeket a használatos háromfázisú feszültségszabályozó-transzformátorokkal nem lehet szabályozni, s amelyeknek következtében a fogyasztókhoz aszimmetrikus háromfázisú feszültséggel jut el az energia. Vizsgáljuk meg e két jelenséget közelebbről.

Vizsgálatunkat válasszuk két részre. Először állapítsuk meg, hogy e két szempont figyelembevételével mekkora aszimmetrikus terhelés engedhető meg a hálózaton, majd nézzük meg, hogy a mi hálózatunkon az egyfázisú vasúti üzem mekkora aszimmetriát okoz. Mielőtt azonban ehhez hozzákezdénénk, követnünk kell a negatív sorrendű áram útját a hálózatban, hogy hatásait számítani tudjuk.

## 2. A negatív sorrendű áram megoszlása a hálózatban\*

Mint hogy az ilyen egyfázisú terhelésekből adódó aszimmetrikus háromfázisú terhelés mindig felfogható, mint egy szimmetrikus háromfázisú és egy tiszta egyfázisú terhelés összege (lásd *A. Függelék*), vizsgálatunkat elegendő a tiszta egyfázisú terhelés hatásaira elvégeznünk. E tiszta egyfázisú terhelés ( $N_{ve}$ ) árama és impedanciája között az alábbi összefüggések érvényesek :

$$I_e \text{ (kA)} = \frac{N_{ve} \text{ (MVA)}}{U_v \text{ (kV)}} = \frac{U_v \text{ (kV)}}{Z_e \text{ (ohm)}} \quad (1)$$

ahol az  $I_e$  áram nagysága az aszimmetrikus terhelés adataiból az *A. Függelék* alapján számítható, az  $U_v$  pedig a  $Z_e$  impedancia kapcsain lévő láncolt feszültség.

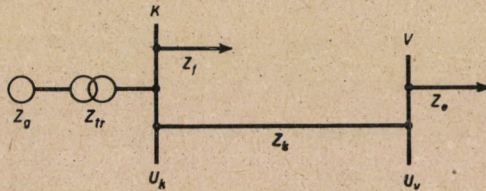
Már most feladatunkra akkor kapunk jól áttekinthető megoldást, ha azt lehetőleg egyszerűsítjük. A hálózat általában az *1. ábra* szerinti képre egyszerűsíthető, ahol :

\* A szövegben és a Függelékben a vektormennyiségeket vastag betűk különböztetik meg az azonos jelzésű abszolút-értékektől.



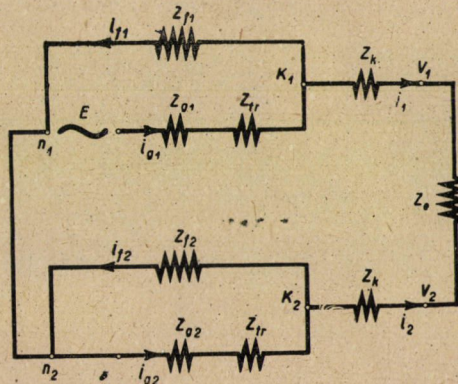
- $z_g$  = a hálózat összes erőművét helyettesítő eredő generátor,
- $z_{tr}$  = az eredő generátorhoz tartozó transzformátor,
- $z_f$  = a hálózaton lévő szimmetrikus terhelés,
- $z_e$  = a vizsgált egyfázisú terhelés,
- $z_k$  = az egyfázisú terhelés és az eredő erőmű közötti hálózatrész impedanciája,

az eredő generátorra vonatkoztatott relatív egységben.



1. ábra. Az egyfázisú terhelésű 100 kV-os hálózat egyszerűsített vázlata

Az egyfázisú terhelés okozta árameloszlási és feszültségviszonyokat a szimmetrikus összetevők módszerével vizsgálva, az 1. ábra szerinti hálózatképre a 2. ábra szerinti helyettesítő kapcsolást kapjuk, ahol az 1 index a pozitív sorrendű, a 2 index pedig a negatív sorrendű impedanciákat jelzi. A szám-



2. ábra. Az egyfázisú terhelésű egyszerűsített 100 kV-os hálózat helyettesítő kapcsolása

index nélküli  $z_{tr}$  és  $z_k$  impedanciák arra utalnak, hogy a transzformátorok és vezetékek negatív sorrendű impedanciája a pozitív sorrendűvel egyenlő nagyságú.

E helyettesítő kapcsolás arra a fázisra vonatkozik, amelyet az egyfázisú terhelés nem érint, vagyis az *a* fázisra, ha az egyfázisú terhelés a *b* és *c* fázisra van kapcsolva (3. ábra).

A 2. ábrából, ahol minden mennyiség vektormennyiség, a következőket látjuk :

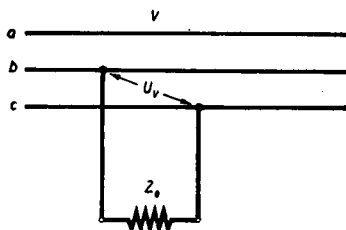
a) Az  $i_2$  negatív sorrendű áram nagyságát az eredő erőmű 100 kV-os gyűjtősínének ( $K$  pont) feszültségével ( $u_{k1}$ ) az alábbi összefüggés határozza meg :

$$-i_2 = \frac{u_{k1}}{2z_k + z_e + z_2} = i_1 \quad (2)$$

ahol

$$z_2 = \frac{z_{f_2}(z_{g_2} + z_{tr})}{z_{f_2} + z_{g_2} + z_{tr}} \quad (2a)$$

Mint hogy — amint látni fogjuk — az egyfázisú terhelés a háromfázisú terheléshez képest nem lehet nagy, a feszültségszimmetria sem lesz nagy,



3. ábra. Az egyfázisú terhelés csatlakozása a 100 kV-os hálózat  $V$  pontjában

s így jogosan feltehetjük, hogy az erőmű pozitív sorrendű  $u_{k1}$  sínfeszültsége állandó érték és nagysága : 1.

b) Az  $i_2$  áram megoszlik a párhuzamosan kapcsolt erőművi és fogyasztói negatív sorrendű impedanciákon. A generátorra eső rész :

$$i_{g_2} = i_2 \frac{z_{f_2}}{z_{f_2} + z_{g_2} + z_{tr}} \quad (3)$$

Hogy tehát a generátort terhelő negatív sorrendű áram nagyságát ismerjük, ismernünk kell a generátor és a fogyasztó negatív sorrendű impedanciáját.

A generátor  $z_{g_2}$  impedanciája a mi erőműveinkben lévő nagyobb teljesítményű Ganz turbogenerátorokra : \*

$$z_{g_2} = 0,03 + j 0,12 \quad (4)$$

A  $z_{f_2}$  fogyasztói impedancia már nem ilyen egyértelmű mennyiség.

Nyilvánvaló, hogy ha a teljes fogyasztói terhelés statikus elemekből áll, mint amilyen a világítási, mindenféle termikus (kemence, stb.) és higanygőzegegyenirányítókkal táplált vegyipari terhelés, a hozzájuk tartozó hálózati komplex teljesítményvesztésekkel együtt, akkor :

$$z_{f_1} = z_{f_2} = a + jb \quad (5)$$

\* Ez az adat elég jól egyezik különféle külföldi közleményekből ismeretes más gyártmányú gépek átlagos adataival is.

ahol az erőmű névleges terhelése esetén :

$$a^2 + b^2 = 1 \quad (5a)$$

Ha a másik határesetet vizsgáljuk, amidőn a hálózat terhelése kizárólag motorokból áll, akkor az erőmű névleges terhelése esetén (lásd B. Függelék) :

$$\begin{aligned} z_{f_1} &= 0,74 + j 0,67 \\ z_{f_2} &= 0,14 + j 0,34 \end{aligned} \quad (6)$$

Hogy összehasonlításunk valóban a statikus és a motor-terhelés közötti különbségre irányuljon, induljunk ki abból, hogy a statikus terhelés teljesítménytényezője ugyanakkora, mint a motorterhelésé ( $\cos \varphi = 0,74$ ) :

$$z_{f_1} = z_{f_2} = 0,74 + j 0,67 \quad (5b)$$

Ha most még megállapítjuk az erőműben lévő transzformátor-impedanciát is :

$$z_{tr} \simeq 0,01 + j 0,08 \quad (7)$$

akkor a (3)-ból a (4)—(7) alapján a következő eredményre jutunk :  
Statikus terhelés esetén :

$$i_{g_1} = i_2 \frac{0,74 + j 0,67}{0,78 + j 0,87} = i_2 (0,847 - j 0,09) \quad (8)$$

vagy, ha az áramnak csak az abszolút értékét tekintjük :

$$i_{r_1} = 0,85 i_2 \quad (8a)$$

Motorterheléskor pedig :

$$i_{g_2} = i_2 \frac{0,14 + j 0,34}{0,18 + j 0,54} = i_2 (0,615 - j 0,015) \quad (9)$$

vagy, ha az áramnak csak az abszolút értékét tekintjük :

$$i_{g_2} = 0,65 i_2 \quad (9a)$$

A valóságban, természetesen az olyan teljesítményű hálózatok, amelyeket 100 kV nagyságrendű feszültséggel kell táplálni, oly kiterjedésűek, hogy azok sohasem képviselhetik a fent vizsgált két szélsőséges terhelési fajta valamelyikét, hanem az ilyen hálózatokban a különféle statikus és motorterhelések keverve fordulnak elő. Így pl. a Tyeploelektroprojekt által vizsgált 110 kV-os hálózatban a wattos terhelések megoszlása a következő volt [1] ;

Motorterhelés .....	59%
Világítási és háztartási terhelés .....	22%
Termikus és higanygőzgyenirányítós terhelés....	11%
Hálózati veszteség .....	8%

A mi hálózatunkon nagyjából hasonlóak az arányok, s így azt lehet mondani, hogy a valóságban. (8a) és (9a) helyett azoknak súlyozott középértékével számolhatunk, a fenti 8% hálózati veszteséget figyelmen kívül hagyva, minthogy azt a  $z_{f1}$  és  $z_{f2}$  értékeiben már egyszer figyelembe vettük (B. Függelék). Ily módon 64% motor- és 36% statikus terheléssel számolva és kissé kerekítve :

$$\frac{i_{g2}}{i_2} = 0,64 \cdot 0,65 + 0,36 \cdot 0,85 \cong 0,7 \quad (10)$$

Az ennek megfelelő negatív sorrendű fogyasztói impedancia ;

$$z_{f2} = 0,64 (0,14 + j 0,34) + 0,36 (0,74 + j 0,67) \cong 0,36 + j 0,46 \quad (11)$$

A (10) összefüggés tehát azt mondja, hogy a negatív sorrendű áramnak mindössze kb. 70%-a folyik át a generátorokon, míg a fennmaradó kb. 30% a hálózat terhelő berendezésein megy keresztül.

Minthogy a motorterhelésnek csak kis része szinkronmotor (A Tyeplot-elektroprojekt vizsgálta fenti hálózatban 9%, nálunk ma még gyakorlatilag 0%), azt mondhatjuk, hogy a terhelésen át folyó 30%-kal nem kell törődnünk, mert annak túlnyomó része a terhelőberendezésekben nem kelt olyan jellegű nagy veszteségeket, mint amelyeket a szinkrongenerátorokon át folyó 70% kelt. A fogyasztóberendezésekre, s ezekben is éppen a motorokra nem a fenti negatív sorrendű áram, hanem a feszültségaszimmetria a káros. E kérdéssel a 4. pontban külön fogunk foglalkozni. A generátorokon átfolyó negatív sorrendű áram kérdését a következőkben vizsgáljuk meg.

### 3. Szinkrongépek megengedhető aszimmetrikus terhelhetősége

Szinkrongépek forgórészének tömör vastestében és esetleges csillapítótekerccselésében a negatív sorrendű áramrendszer létrehozta visszafelé (azaz 200%-os slippel) forgó mágneses mező igen tekintélyes örvényáramvesztéseket kelt. Minthogy e veszteségek több-kevesebb pontossággal az állórészben folyó negatív sorrendű áram négyzetével arányosak, tehát Joule-vesztés jellegűek, az arányossági tényezőt, mint a gépre jellemző állandót, negatív sorrendű ellenállásnak ( $r_2$ ) nevezzük.

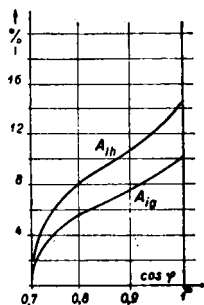
Ámbar a negatív sorrendű ellenállás tartalmazza a gép állórésztekerccselésének  $r_1$  pozitív sorrendű ellenállását is, nagyságára az még sincs számottevő befolyással, mert a forgórész említett örvényáramkörei emennél nagyságrenddel nagyobb ellenállást képviselnek. Például : amíg a bánhidai nagyságú 26 MVA-es

Ganz turbogenerátor pozitív sorrendű ellenállása meleg állapotban mindössze 0,2%, addig a negatív sorrendű ellenállás kereken 3%, azaz a pozitív sorrendűnek éppen tizenötszöröse. Ezen adat ismeretében tehát a gépet terhelő bármekkora negatív sorrendű áramhoz ki tudjuk számítani az általa a forgórészben keltett járulékos veszteség nagyságát.

A forgórész hűtése bizonyos adott melegmennyiség elvezetésére van méretezve, amely melegmennyiség túlnyomó része rendes üzemben, szimmetrikus terheléskor a gerjesztő áram rézvesztéséből, kisebb része pedig az állórész forgómezejének változó felharmonikusaitól eredő örvényáramvesztésekből adódik. Minthogy a szükséges gerjesztés annál kisebb, minél jobb a gépet terhelő áram teljesítménytényezője, nyilvánvaló, hogy a teljesen megterhelt gép csak akkor és olyan mértékben terhelhető aszimmetrikusan, amikor és amilyen mértékben a terhelés teljesítménytényezője jobb a gép méretezésénél alapul vett legrosszabb értéknél. A mi erőműveinkben a generátorok túlnyomó része 0,7-es teljesítménytényezőre van méretezve. A nagy erőműveinkben használatos Ganz géptípusok átlagos adataiból kiindulva kiszámíthatjuk a forgórész meleg-egyensúlyából azt, hogy 0,7-nél jobb különféle teljesítménytényezőknél a gépek teljes terhelés esetén milyen mértékben terhelhetők aszimmetrikusan: mekkora lehet az  $A_{ig}$  aszimmetriatényező. A számítást a C. Függelék tartalmazza, s annak eredménye a következő (lásd 4. ábra):

I. táblázat

A generátort terhelő szimmetrikus háromfázisú terhelés teljesítménytényezője .....	0,7	0,8	0,9	1
A generátor megengedhető aszimmetriatényezője ( $A_{ig}$ ) .....	0	0,056	0,075	0,103



4. ábra. A terhelés megengedhető legnagyobb százalékos aszimmetriája a teljesítménytényező függvényében, a generátor névleges terhelése esetén:

$A_{ig}$  = a generátoráram megengedhető aszimmetriája

$A_{ih}$  = a hálózati terhelés megengedhető aszimmetriája

Meg kell itt jegyezni, hogy a számítás folyamán annak egyszerűsítése érdekében nem vettük figyelembe a szimmetrikusan terhelt generátor egyéb



forgórészveszteségeit, mint pl. a nem szinuszos alakú forgómező változó felharmónikusából adódó örvényáramveszteségeket, minthogy ez az elhanyagolás a valóságnál kedvezőlenebb képet eredményez, tehát a biztonságot növeli.

A 2. pontban abból indultunk ki, hogy aszimmetrikus háromfázisú terhelésünket felbonthatjuk egy szimmetrikus háromfázisú és egy tiszta egyfázisú összetevőre. Az egyfázisú terhelésből adódó negatív sorrendű áramot az (a,3)—(a,5) összefüggésekkel meghatározhatjuk. A generátor aszimmetrikus terhelhetőségére azonban nem ez a mértékadó, hanem a 2. pontban kifejtettek szerint ennek csak kb. 70%-a. Ezért a névleges terhelésű generátor aszimmetrikus terhelhetőségére a C. Függelékben levezetett és az I. táblázatban foglalt  $A_{ig}$  értékeit meg kell növelni ahhoz, hogy a hálózati terhelés megengedhető legnagyobb  $A_{ih}$  aszimmetriatényezőjét megkapjuk. A (c,8)-al meghatározott  $A_{ig}$ -t a generátorban folyó áramnak a hálózatban folyó áramtól  $g$  indexsel való megkülönböztetése érdekében így írhatjuk:

$$A_{ig} = \frac{i_{g_2}}{i_{g_1}} \quad (12)$$

A (10) alapján viszont:

$$A_{ig} = 0,7 \frac{i_2}{i_{g_1}} \quad (13)$$

Ha figyelembe vesszük, hogy a hálózat teljes pozitív sorrendű  $i_{h_1}$  terhelési árama a háromfázisú és egyfázisú terhelés összegéből adódik (lásd 2. ábra):

$$i_{h_1} = i_{f_1} + i_1 = i_{g_1} \quad (14)$$

teljes negatív sorrendű  $i_{h_2}$  árama pedig a tiszta egyfázisú terhelésből adódik:

$$i_{h_2} = -i_{f_2} + i_{g_2} = i_2 \quad (15)$$

akkor a hálózati terhelés aszimmetriatényezője:

$$A_{ih} = \frac{i_{h_2}}{i_{h_1}} = \frac{i_2}{i_{g_1}} = \frac{1}{0,7} A_{ig} \quad (16)$$

Az  $A_{ih}$  megengedhető legnagyobb értékeit — az  $A_{ig}$ -nek az I. táblázatban foglalt legnagyobb értékei alapulvételével — a II. táblázat tartalmazza.

II. táblázat

A generátort terhelő szimmetrikus háromfázisú terhelés teljesítménytényezője .....	0,7	0,8	0,9	1
A hálózati terhelés megengedhető aszimmetriatényezője ( $A_{ih}$ ) .....	0	0,08	0,107	0,147

A fenti  $i_{h_1}$  hálózati terhelőáramnak azonban csak egyik része vasúti terhelés. Nevezzük el ez utóbbit  $i_{v_1}$ -nek, akkor ennek aránya a teljes  $i_{h_1} = i_{g_1}$  áramhoz:

$$\beta = \frac{i_{v_1}}{i_{g_1}} = \frac{N_{v_1}}{N_{g_1}} = \frac{U_{g_1}}{U_{v_1}} \quad (17)$$

ahol az  $N_{v_1}$  és  $N_{g_1} \cong N_g$  a megfelelő látszólagos teljesítményeket jelentik. Mivel az (a,6) szerint a vasúti terhelés  $A_{iv}$  aszimmetriatényezője az itt használt relatív áramegységekkel:

$$A_{iv} = \frac{i_{v_2}}{i_{v_1}} = \frac{i_2}{i_{v_1}} \quad (18)$$

nyilvánvaló, hogy a hálózati terhelés aszimmetriatényezője a (16)–(18) alapján

$$A_{ih} = \beta A_{iv} \quad (19)$$

Ha adott viszonyok között a (19)-ből kiadódó  $A_{ih}$  érték kisebb, mint amelyet a II. táblázat, ill. a 4. ábra megad, akkor a vasúti terhelés  $A_{iv}$  aszimmetriája a generátorok szempontjából megengedhető. Láthatjuk, hogy annál nagyobb aszimmetria engedhető meg a vasúti terhelésben, minél kisebb a  $\beta$ . Ebből a szempontból a fázisváltós rendszer előnyben van a kommutátormotoros megoldásokkal szemben, mert az előbbi, amely gyakorlatilag  $\cos\varphi_v = 1$ -el dolgozik, kisebb  $\beta$ -t eredményez, mint az utóbbi rossz teljesítménytényezője.

Itt még csak egy dologra kell tekintettel lennünk. Ez pedig az, hogy kiterjedtebb együttműködő hálózatban az egyes koncentráltabb hálózatrészek — rendszerint a zárlati áramok mérséklése érdekében — laza villamos kapcsolatban vannak egymással. Ha ilyen hálózatban a hálózatnak csak egyik részén van vasúti terhelés, más részén pedig nincs, akkor a negatív sorrendű áram nem a generátorok impedanciájának megfelelően, arányosan oszlik el az egyes generátorok között, hanem nagyobbik része jut a vasúti terhelést magában foglaló hálózatrészbe közvetlenül betápláló generátorokba, s nyilván kevesebb jut az összes többi hálózatrész generátoraiba. Ilyenkor a negatív sorrendű áramok eloszlását — a pontos számítás hosszadalmassága miatt — célszerű hálózati kismintán megmérni. De még egyszerűbb úgy számolni, mintha ezek a távolabbi hálózatrészek nem is lennének. Ez az elhanyagolás a valóságnál mindenesetre kissé kedvezőtlenebb képet nyújt, de feltétlenül könnyebbséget jelent és az 1. ábra szerinti egyszerűsítő kép használatát lehetővé teszi.

#### 4. A vasúti terhelés következtében keletkező hálózati feszültségaszimmetria nagysága

Az egyfázisú vasúti állomásokat tápláló országos hálózatban az aszimmetrikus vasúti terhelés következtében keletkező feszültségaszimmetriát az

áramokhoz hasonlóan, a negatív és pozitív sorrendű feszültség viszonyából képezett aszimmetriatényezővel jellemezhetjük :

$$A_{uv} = \frac{u_{v2}}{u_{v1}} \quad (20)$$

Ez az érték természetesen a hálózat minden pontján más érték, de kétségtelenül a legnagyobb magukban az aszimmetriát előidéző vasúti állomásokban. Vizsgálatunkat tehát elsősorban erre a pontra (1. ábra : *V* pont) fogjuk lefolytatni.

Mint ahogy azonban a vasúti tápvezeték a közhasznú fogyasztóknak általában csak kis részét táplálja, s a fogyasztók nagyobb részét az erőmű 100 kV-os gyűjtősínjéről kiinduló hálózat táplálja, meg kell vizsgálni e gyűjtősín (1. ábra *K* pont) feszültségaszimmetriáját is :

$$A_{uk} = \frac{u_{k2}}{u_{k1}} \quad (21)$$

A részletes számítást a *D. Függelék* tartalmazza. Itt a számszerű eredmények elnyerése érdekében néhány feltevéssel kellett élni. Ezek a következők :

a) A vasúti terhelés aszimmetriája oly nagy, amekkorát a 3. pont szerint a generátorok negatív sorrendű vesztesége miatt meg lehet engedni.

b) A tiszta egyfázisú terhelés-összetevő:  $N_{ve} = 6 \text{ MW}$ .

c) Az  $N_{ve}$ -t tápláló 100 kV-os tápvezeték hossza az erőmű gyűjtősínjétől 90 km, keresztmetszete 110 mm<sup>2</sup> acélalumínium, és számításba csak egy vezeték-rendszer impedanciáját vesszük. Kettős vezetéknél természetesen a viszonyok lényegesen kedvezőbbek.

d) A fenti feltétel azt is jelenti, hogy a vasúti állomásokat tápláló 100-kV-os tápvezeték, ha egyben együttműködési vezeték, akkor két olyan erőmű között van, amelyek egymástól :

egyszeres vezetéknél .....180 km távolságra,  
kettős vezetéknél .....360 km távolságra vannak.

E meglehetősen szélsőséges feltételek mellett a *D. Függelék* szerint az alábbi feszültségaszimmetriákat kapjuk :

III. táblázat

A generátort terhelő szimmetrikus háromfázisú terhelés teljesítménytényezője .....	0,7	0,8	0,9	1
A hálózati feszültség aszimmetriatényezője a generátor névleges terhelése esetén .....	$A_{uv}$	0,032	0,036	0,041
	$A_{uk}$	0,011	0,014	0,02
A generátor névleges teljesítőképessége : $N_g$ MVA	$\infty$	75	56	41

Az  $N_g$  fenti értékei a tiszta egyfázisú terhelés 6 MW-os értékére vonatkoznak. Minden más esetben akkor azonos a feszültségaszimmetria a fenti értékekkel ha az egyfázisú terhelésnek, az együttműködő generátorteljesítőképességnek és az egyfázisú terhelést tápláló 100 kV-os távvezetési admittanciának ( $1/Z_k$  lásd I. ábra) egymáshoz képesti aránya ugyanakkora, mint amekkora az a.—d. pontokban és a III. táblázatban.

A gyakorlatban a feszültségaszimmetria a fenti értékeknél mindig kisebb, mert vagy az  $N_{ve}$  egyfázisú terhelés kisebb, vagy az  $N_g$  nagyobb a fenti értékeknél. Különösen az erőműtől 90-km-re felvett 6MW egyfázisú terhelés kedvezőtlenebb a valóságnál. Mert ha feltesszük, hogy pl. az egymástól 180 km-re levő két erőmű közötti vezeték egyik vége nyitva van, akkor igaz ugyan, hogy a vezetéken egymástól 60 km-re levő két 6 MW-os állomás egyenértékű az erőműtől 90 km-re levő 6 MW egyfázisú terheléssel,\* de ez csak magán a vezetéken okoz negatív sorrendű feszültségést. Az erőműnél ugyanis csatlakozik e terheléshez a harmadik állomás, amely az eredő terhelést nagyjából szimmetrikussá teszi. Ha viszont nem teszi szimmetrikussá, akkor az eredő egyfázisú terhelés egyrészt jóval kisebb a fenti 6 MW-nál, másrészt súlypontja is mindenképpen közelebb esik az erőműhöz, mint 90 km.

Mint hogy számos külföldi szabvány 5% aszimmetriát tűr és a gyakorlatban 2—3% feszültségaszimmetria mindig elő szokott fordulni, azt mondhatjuk, hogy az egyfázisú 50 periódusú rendszer a hálózat feszültségaszimmetriáját nem növeli a megengedhető tűrési határok fölé.

Már most az egész feszültségaszimmetria kérdés egyetlen szempontból figyelemreméltó: az aszinkron motorok szempontjából.

A néhány százalékos feszültségaszimmetria mindenesetre azt eredményezi, hogy egy vagy esetleg két fázisban a feszültség valamivel kisebb, egy vagy esetleg két fázisban pedig valamivel nagyobb a közepes értéknél. Világítási és termikus fogyasztóberendezéseknél ez semmilyen káros következménnyel nem jár; ha ugyanis a közepes feszültség szint be van szabályozva, akkor a néhány százalékos aszimmetria okozta feszültségeltérések vagy egyáltalán nem, vagy csak jelentéktelenül lépik túl az előző pontban említett szabványos hálózati feszültségingadozási tűréseket.

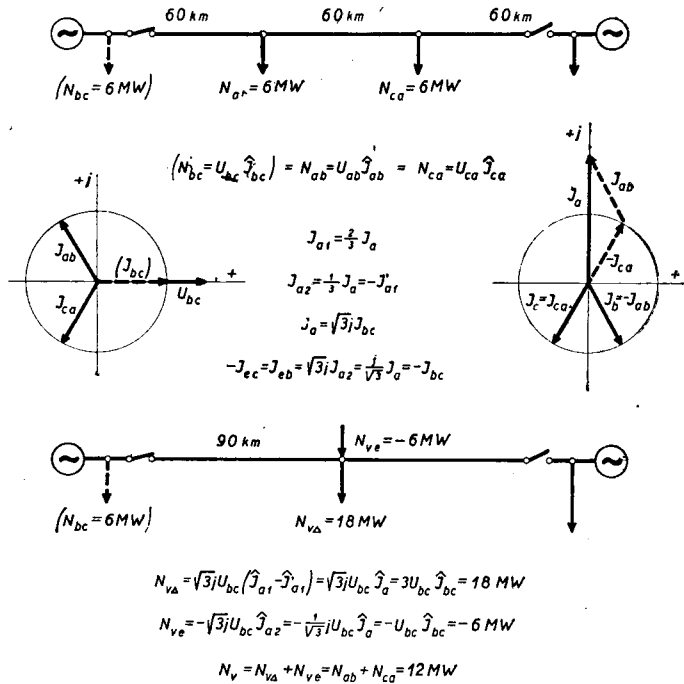
Korántsem ilyen egyszerű a helyzet az aszinkron motoroknál. Amint láttuk, ezek negatív sorrendű impedanciája kereken  $1/5$ -e a pozitív sorrendű impedanciának, aminek az a következménye, hogy pl. 5% negatív sorrendű feszültség a motor kapcsain kereken 25% negatív sorrendű áramot eredményez. Ez viszont kb. ilyen nagyságú áramtúlterhelést okoz az állórész valamelyik fázisában, aminek káros helyi túlmelegedés lehet a következménye [2]. Hogy a gyakorlatban ez a jelenség még sem jár ilyen súlyos következményekkel, erre

\* És ezenfelül az erőműtől ugyancsak 90 km-re lévő 18 MW háromfázisú terheléssel (lásd 5. ábra), de az ezáltal okozott feszültségést most nem feladatunk vizsgálni.

bizonyíték a magyar egyfázisú vasútüzem két évtizedes multja, ahol egyetlen egyszer sem fordult elő ilyen jellegű panasz. Ennek négy oka is van.

Az egyik ok az, hogy a hálózaton szabványosan túrt 5% aszimmetria miatt a vonatkozó VDE [3] szabványok előírják, hogy pl. a motoroknak 5% aszimmetriájú feszültséget tartósan, károsodás nélkül el kell viselniük.

A másik ok az, hogy a motorok a feszültségaszimmetria forrásához : a vasútüzemet tápláló 100 kV-os hálózathoz nem közvetlenül, hanem többszörös transzformáción és közbülső elosztóhálózaton, azok soros impedanciáin keresztül



5. ábra. Két 6 MW-os egyfázisú vasúti alállomás helyettesítése egyetlen 6 MW-os egyfázisú terheléssel a feszültségaszimmetria megállapításához

csatlakoznak. E közbülső impedanciák egyaránt hozzáadódnak a motorok pozitív és negatív sorrendű impedanciájához, de amíg a pozitív sorrendű motorimpedanciát alig, addig a kis negatív sorrendű impedanciát jelentősen megnövelik, közel megkettőzik. Ennek következtében az így kiadódó negatív és pozitív sorrendű impedanciák viszonya már nem 1 : 5,6 — lásd (b,6) —, hanem — a (b,7) és (b,8) szerint — 1 : 2,7. Ez tehát azt jelenti, hogy a hálózat a motorok áram-aszimmetriáját kereken a felére csökkenti. Ha a 100 kV-os hálózaton gyakorlatilag tekintetbe jövő legnagyobb feszültségaszimmetriából : 4,1%-ból indulunk ki, akkor ez a motoroknál 11% legnagyobb áramaszimmetriát eredményezhet.

A harmadik ok az, hogy a motorok túlnyomó többsége nincs állandóan



100%-ig megterhelve. Amely motoroknál viszont a 100%-os terhelés csak időszakos, azok valamelyik fázisban a néhány %-ban mutatkozó túlterhelést károsodás nélkül elbírják. A vasúti terhelés sem állandó jellegű, hanem az aránylag kis alapterhelésből jelentős nagyságú csúcsforgalmi teljesítménycsúcsok ugranak ki, s legtöbbször elég rövid időtartamra. Az ilyen rövid idejű csúcsok okozta nagyobb aszimmetriáknak meg éppen rövid időtartamuk miatt nincs káros hatásuk, lévén az egész aszimmetria kérdés generátorban, motorban egyaránt elsősorban melegedési kérdés. Ha most még arra is figyelemmel vagyunk, hogy kicsi a valószínűsége annak, hogy valamely motor csúcsterhelései időben egybe esnek a vasúti aszimmetriacsúcsokkal, akkor rögtön világossá válik a tény: miért nem tapasztalunk az aszinkron motorok üzeménél az egyfázisú vasútüzem okozta aszimmetriából kifolyólag káros jelenségeket.

Végül a negyedik ok az, hogy a motorok túlnyomó többsége, a nagyobb motorok pedig 100%-ban előírászerűen el vannak látva olyan motorvédőkapcsolóval, amely ikerfém túláramkioldók segítségével önműködően ki kapcsolja és így megvédi a motort attól, hogy valamelyik, vagy akár mindegyik fázisában az áram a megengedettnél nagyobb melegedést okozzon. Az ilyen túlterhelés nem csak feszültségaszimmetriából, sőt elsősorban nem attól, hanem a helytelen méretezésből vagy helytelen kezeléssel lépten-nyomon előfordulhat. A feszültségaszimmetria-ozokta túlterhelés emennél sokkal kisebb valószínűségű, s ha netalán a kedvezőtlen körülmények véletlen összetalálkozása következtében valahol mégis jelentkeznék, a motorvédőkapcsoló feladata, hogy ilyenkor a motort megvédje.

E kérdéscsoporttal kapcsolatban rá kell mutatni arra, hogy a Szovjetunióban más téren, de hasonló kérdésben, sokkal nagyobb áram- és feszültségaszimmetriával párosult nagyfeszültségű hálózati üzembről van tudomásunk, amelynek gyakorlatilag nincsenek számottevően káros következményei a fogyasztókra. Ez az üzem nem más, mint egy 115 kV-os hálózaton a távvezetékek fázisonkénti karbantartása, amely a vonatkozó közlemény [4] szerint átlag több órás, de néha 1—1½ napig tartó javítások időtartamára a vezeték két fázisán és a transzformátorok földelt csillagpontján keresztül a földön át viszi az energiát, mialatt a javítás alatt levő fázisvezető a két végén ki van kapcsolva és le van földelve. Amint szerző ezzel kapcsolatos tanulmányában [5] kimutatta, ennél a rendszernél — ámbár csak kedvezőtlen esetben, — de igen nagy: 20—25%-os negatív sorrendű feszültségaszimmetriák is mutatkozhatnak, ha a hálózat terhelése túlnyomóan statikus. A gyakorlatban azonban a terhelésben mindig elég számottevő a motorokra eső rész, amely a feszültségaszimmetrián igen sokat segít. Az idézett szovjet cikk beszámol olyan különlegesen kedvezőtlen esetről, amidőn az üzemben levő két vezetőből is lekapcsolt egy és csak egyetlen vezető és a földvezetés táplálta egyfázisúan a fogyasztókat. A feszültségaszimmetria még ilyenkor sem volt nagy: a 3,6 kV-os oldalon a három láncolt feszültség: 2,5, 3,3 és 3,5 kV volt, ami 17,5%-os aszimmetriának felel meg.

A szóbanforgó szovjet hálózaton 1949-ig összesen 5000 üzemóra folyt le ilyen fázisonkénti karbantartás miatti »sánta« üzemben, s a kédvező szovjet üzemi tapasztalatok alapján illetékesek nálunk is tervbevették ennek — a kétség-telenül merész, de — az üzem folytonosságát nagy lépéssel előbbrevivő rendszernek mielőbbi bevezetését.

Az ilyen aszimmetriák mellett az az alig észrevehető néhány százalék feszültségaszimmetria, amelyet az egyfázisú vasúti üzem okozhat, mit sem számít. És mégis, az egyfázisú 50 periódusú vasúti üzem okozta hálózati aszimmetriákkal kapcsolatos aggályok oly mélyen belegyökeresedtek a külföldi szakkörökbe, hogy mostanában, amidőn már egyre többen kezdik felismerni e rendszer nagy jövőjét, egyre-másra jelennek meg a külföldi szaklapokban tanulmányok [6—7], amelyek azt bizonygatják, hogy nincs semmi komoly ok az ezirányú aggodalmakra.

#### 5. *A Budapest—Hegyeshalmi vasútvonal okozta áram- és feszültségaszimmetriák a 100 kV-os táphálózaton*

A Budapest—Hegyeshalmi vonalat négy transzformátorállomás táplálja, a Budapest—Bánhida—Horvátkinle-i kettős 100 kV-os távvezetékéről. A négy állomás (Torhágy, Bánhida, Nagyszentjános, Horvátkinle) mindegyike egymástól 40—60 km távolságban van, s az első két állomásban két-két, a másik két állomásban egy-egy 4 MVA teljesítőképességű 110/17,2 kV áttételű egyfázisú transzformátor van üzemben. A transzformátorok természetesen a négy transzformátorállomásban úgy vannak a 100 kV-os hálózatra kapcsolva, hogy a terhelés lehetőleg egyenletesen oszoljék el a 3 fázisra. Ennek megfelelően az egész hálózatra vonatkoztatva, tehát a hálózatot tápláló erőművekre és így elsősorban a bánhidai erőműre a négy vasúti állomás mindenkori pillanatnyi teljesítményéből csupán töredékrész idéz elő aszimmetrikus terhelést.

A teljes vasútvonal erősen ingadozó terhelését mint egyidejű negyedórás csúcsterhelést vizsgálva (a pillanatnyi lökések ugyanis — amint láttuk — a kérdéses jelenségek szempontjából nem mértékadók)\* a következő képet kapjuk :

\* Arra is rá kell itt mutatni, hogy akár a generátorterhelés, akár a hálózati feszültség aszimmetriáját vizsgáljuk, ebből a szempontból a vasúti terhelésnek az (1) összefüggéssel jellemzett tiszta egyfázisú összetevője a mértékadó. Mivel pedig ennek az egyfázisú terhelésnek a pillanatnyi értékeiből képezett negyedórás átlagterhelés nyilvánvalóan nem azonos az egyes vasúti állomások negyedórás átlagterheléséből képezett eredő tiszta egyfázisú terheléssel, hanem annál bizonyos mértékben mindig nagyobb, jelen számításunk olyan hibát tartalmaz, amely a jelenségek a valóságnál kedvezőbb színben tünteti fel. Mégis csak ezt a számítási módot tudjuk jelenleg követni, mert csak ilyen mérési adatok állnak rendelkezésünkre. Az állomási terhelés regisztrátumokból ugyan — az *A. Függelék* szerinti eljárással — pontról pontra meg lehetne szerkeszteni az eredő tiszta egyfázisú terhelés időbeli lefolyását és abból planimétrálással meg lehetne határozni a legnagyobb negyedórás terhelést, azonban ez a rendkívül fáradságos munka igen sok hibaforrást rejt magában, s azért nem érdemes elvégezni. Mindenesetre tudnunk kell, hogy jelen számításunk csak közelítés, amelynek az aszimmetriákra vonatkozó negatív hibáját azonban feltétlenül kiegyenlítik azok az elhanyagolások, amelyeket az elvi levezetések során tettünk, s amelyek mind a biztonság növelésére irányultak, azaz pozitív hibát okoztak. Egyébként is e számítás feladata — már csak gondolatmeneténél fogva is — nem annyira a részletek aprólékos vizsgálata, hanem a jelenség nagyságrendjének érzékeltetése.

Egyidejű negyedórás csúcsterhelés : 15 MW, amely a négy tápláló alállomás között a következőképpen oszlik meg :

Torbágy .....	5,5 MW
Bánhida .....	5 MW
Nagyszentjános .....	3 MW
Horvátkimle .....	1,5 MW

Meg kell jegyezni, hogy ezek a terhelési viszonyok 1941-ben voltak, amidőn e vasútvonalon 32 villamos mozdony volt állományban, azaz a karbantartás alatt levőket nem számítva, kb. 26—27 volt állandóan üzemben. A jelenlegi terhelés valamivel, de nem számottevően kisebb.

Nevezzük el a három fázisvezetőt  $a$ ,  $b$  és  $c$  betűkkel. A négy alállomás úgy van elosztva a három fázisban, hogy Nagyszentjános és Horvátkimle azonos fázison van. Ekkor a három fázisban az alábbi aszimmetrikus terhelést kapjuk :

$$\begin{aligned} N_{ab} &= 5,5 \text{ MW} \\ N_{bc} &= 5 \text{ MW} \\ N_{ca} &= 4,5 \text{ MW} \end{aligned}$$

Az ennek megfelelő  $A_{iv}$  aszimmetriátényező az  $A$ . Függelék (a,1)—(a,6) összefüggéseivel kiszámítva :

$$A_{iv} = 0,057$$

Ha most abból a rendkívül kedvezőtlen esetből indulunk ki, hogy a Bánhidai Erőmű éppen nem jár párhuzamosan az országos hálózat többi erőművével és csak egy teljesen megterhelt 26 MVA-es gép van üzemben, akkor a terhelések a következők (az  $A$ . Függelék alapján számítva) :

$$\text{vasúti tiszta egyfázisú terhelés : } N_{ve} = j 0,87 \text{ MVA}$$

$$\text{vasúti tiszta háromfázisú terhelés : } N_{v\Delta} = 15 - j 0,87 \text{ MVA } N_{v\Delta} \approx 15 \text{ MVA}$$

$$\text{közhasznú tiszta háromfázisú terhelés : } 9,4 + j 9,6 \text{ MVA } (\cos\varphi = 0,7)$$

$$\text{eredő tiszta háromfázisú terhelés : } N_{f1} = 24,4 + j 8,73 \text{ MVA}$$

$$N_{f1} \approx N_{g1} = 26 \text{ MVA}$$

A (17) és (19) alapján :

$$\beta = \frac{15}{26} \frac{110}{108} = 0,587$$

$$A_{ih} = 0,587 \cdot 0,057 = 0,033$$

Minthogy a 4. ábra szerint  $\cos\varphi = 0,93$  és teljesen megterhelt generátorok üzemkor  $A_{ih}$  legnagyobb megengedett értéke 0,115 lehet, a mi esetünk ennek mindössze 29%-át éri el. Ez kerekén  $1/10$  annyi negatív sorrendű veszteséget idéz elő a generátorokban, mint amennyi megengedhető, tehát az aszimmetria ezirányú hatását észre sem lehet venni.

A feszültségaszimmetria megállapításához először a hálózat elemeinek impedanciáit kell ismernünk.

A szimmetrikus háromfázisú terhelés impedanciája a generátorra vonatkoztatott relatív egységben :

$$z_{f_1} = \frac{N_g}{\hat{N}_f} = \frac{26}{24,4 - j 8,73} = 0,94 + j 0,34$$

A terhelés egyfázisú transzformátorokból táplált egyfázisú szinkrongépből álló fázisváltós mozdonyokra eső részének a negatív sorrendű áramokkal szembeni bonyolult viselkedésére itt nem térünk ki, hanem egyszerűsítő közelítésként a  $z_{f_1}$  impedanciát úgy tekintjük, mint általános közhasznú terhelést. Ennek megfelelően a negatív sorrendű impedanciát az (5,b) és (11) arányai alapján számítjuk ki :

$$z_{f_2} \simeq (0,94 + j 0,34) \frac{0,36 + j 0,46}{0,74 + j 0,67} = 0,57 + j 0,29$$

Az egyfázisú terhelés impedanciáját a következőképpen számíthatjuk :

$$z = \frac{N_g}{\hat{N}_{ve}} = \frac{26}{-j 0,87} = j 30$$

A (2a), (4) és (7) alapján :

$$z_2 = 0,06 + j 0,16$$

Az egyfázisú állomások terhelési súlypontja kb. a Bánhidai Erőmű sínjén van, az  $A_{uk}$  szempontjából  $z_k = 0$ . A (d,11) alapján tehát :

$$A_{uk} = \left| \frac{0,06 + j 0,16}{0,06 + j 30,16} \right| = 0,0057$$

Az erőmű sínjén tehát 0,6% feszültségaszimmetria van. Minthogy a vasúti terhelés a közhasznúval összefonódva jelentkezik, a továbbiakban már nem alkalmazhatjuk a *D*. Függelékben és a 4. fejezetben levezetett általános jellegű és emiatt csupán a jelenségek nagyságrendjének vizsgálatára alkalmas összefüggéseket. Az erőműtől távolodva a távvezetéken az egyes állomások külön-külön jelentkeznek, mint egyfázisú terhelések, amelyek az erőműtől mindkét irányban kb. azonos negatív sorrendű feszültségeseést létesítenek. Az így előállított feszültségaszimmetriát a (d,7) első része adja, minthogy második részét az  $A_{uk}$ -nál már figyelembe vettük. Az itt tekintetbe jövő impedancia (60 km egyrendszerű vezetékkel számolva) :

$$Z_k = 15 + j 27 \text{ ohm}$$

Ezt most osztanunk kell a névleges generátorimpedanciával :

$$Z_n = \frac{U^2}{N_g} = \frac{110^2}{26} = 465 \text{ ohm}$$

$$z_k = \frac{Z_k}{Z_n} = 0,032 + j 0,058$$

Az egyfázisú terhelés most legyen a legkedvezőtlenebb :  $N_{ab} = 5,5 \text{ MW}$

Az ennek megfelelő impedancia :

$$z_v = \frac{N_g}{\hat{N}_{ab}} = \frac{26}{5,5} = 4,72$$

$$A_{uv} \approx A_{uk} + \left| \frac{0,032 + j 0,058}{4,81 + j 0,218} \right| = 0,0195$$

A hálózat legaszimmetrikusabb pontján is tehát mindössze 2% a feszültség-aszimmetria, ami a közönséges üzemi mérőműszerek pontossági határán van, aminek a fogyasztókra nézve semilyen észrevehető hatása nincs.

E gondolatmenet után érthetővé válik, hogy miért nem észleltek semilyen káros jelenséget az első fázisváltós Kandó-féle mozdony Dunakeszi—Alagi próbaútjain a próbavonalat tápláló MÁV Istvántelki főműhely mindössze 3,5 MVA-es generátorán. E generátorra a próbaüzem kb. 1 MW állandó egyfázisú terhelést jelentett, azonban a kissé kapacitív teljesítménytényező (1-hez közel) minden kellemetlen jelenségnek elejét vette.

#### 6. Az egyfázisú vasúti munkavezeték energiaátviteli kérdései

Az egyfázisú 50 periódusú vasúti munkavezeték munkaviszonyai : a rajta keletkező komplex feszültségesés és veszteség, jelentős hatással van az egész vasútvillamosítási rendszer gazdaságosságára. Ebből a szempontból első pillanatra úgy tűnik, mint ha a  $16^{2/3}$  periódusú rendszer előnyben lenne az 50 periódusúval szemben, mert a vezeték reaktanciája csak harmadrész akkora, s így a rajta keletkező feszültségesés és meddőteljesítményveszteség is közel ilyen arányban kisebb.

A közelebbi vizsgálat azonban azt mutatja, hogy ez csak a hasonló jellegű mozdonyokra érvényes, amelyek a kétféle periódusszámon hasonló teljesítménytényezővel működnek. Azonban egészen más képet kapunk, ha egy — egyébként hasonló körülmények között működő —  $16^{2/3}$  periódusú kommutátoros motorú és egy 50 periódusú fázisváltós mozdony üzemét hasonlítjuk össze. Természetesen még szembeszökőbbek a jó teljesítménytényezővel működő 50 periódusú fázis-



váltós mozdony előnyei, ha 50 periódusú kommutátoros motorú mozdonyal hasonlítjuk össze.

A villamosenergia elosztásával és szállításával, valamint ipari felhasználásával foglalkozó szakemberek teljesen világosan látják azokat a hátrányokat, amelyeket a rossz teljesítménytényezőjú fogyasztóberendezés kiszolgálása jelent a hálózatra nézve. De mindazokat az előnyöket is, amelyek a fogyasztó közvetlen közelében történő meddőteljesítmény előállításból (vagy közvetlenül: fázisjavításból) erednek annak folytán, hogy a fogyasztó meddőteljesítmény igényét nem kell a hálózaton keresztül átvinni. E kérdés jelentősége az általános energiaszolgáltatásban is eléggé nagy, de messzemenően sem akkora, mint a nagyvasúti vontatásban. Ezt rögtön belátjuk, ha arra gondolunk, hogy az általános energiaellátó hálózat a világítási és egyéb különféle fogyasztók miatt rendkívül érzékeny a feszültség-ingadozásokra, amelyeket emiatt a vonatkozó szabványok megfelelően kis túréssal állapítanak meg (pl. a MNOSZ 1—50 feszültség-szabvány 5. pontja, nagyfeszültségeknél  $+15\%$ — $10\%$ -ban, kisfeszültségeknél  $\pm 5\%$ -ban állapít meg). Ezért a hálózatot úgy kell méretezni, hogy az azon keletkező feszültségesek és feszültség-ingadozások nagysága ezeket a határokat ne lépje túl, illetve a nagyfeszültségű hálózatban gazdasági szempontok miatt megengedett nagyobb feszültség-ingadozás a kisfeszültségű hálózatban megengedett kis feszültség-ingadozásra a megfelelő helyen alkalmazott szabályozó transzformátorok segítségével csökkentessék.

Lényegesen eltér ettől az üzemtől a nagyvasúti munkavezeték üze-m. Ennél ugyanis a megengedhető legnagyobb feszültségese a mozdonyok indítási viszonyai szabják meg.

Bár a kommutátoros motorú mozdony indításakor elég nagy feszültség-esés engedhető meg, de ez azzal jár, hogy az indítási végsebesség, ameddig a mozdony állandó vonóerővel tud gyorsítani, és a legnagyobb sebesség, a csökkent feszültséggel körülbelül arányosan csökken. Minthogy itt a teljesítménytényező meglehetősen rossz, a feszültségese nagy, amin általában csak a táppontok sűrítésével lehet segíteni. Ugyanis a másik segítség a munkavezeték névleges feszültségének növelése lenne, ennek azonban bizonyos gyakorlati határai vannak. A Kandó-rendszer 16 kV-ja nincs messze ettől a határtól, amely ma 20—25 kV-ban állapítható meg.

A fázisváltós mozdony kényesebb a feszültségeseire, mert a fázisváltó, mint egyfázisú szinkrongép, nehéz indítási viszonyok közt kieshetik a szinkroniz-musból, ha a feszültség csökken. A fázisváltó egyik legnagyobb jelentősége azon-ban éppen abban rejlik, hogy ezt a problémát önmaga oldja meg: mint túl-gerjesztett szinkronmotor még indításkor is  $\cos\varphi = 1$ -el, sőt kissé kapacitív  $\cos\varphi$ -vel tud járni, ami a feszültségviszonyokat döntő módon megjavítja, és a fázisváltó stabilis párhuzamosjárását a hálózattal még nehéz indítási viszonyok közt is biztosítja.

Vizsgáljuk meg e jelenségeket kissé közelebről.

## Az 50 periódusú egyfázisú energiaátvitel határteljesítménye

Először ismernünk kell a vasúti munkavezeték impedanciáját. Ezt meghatározhatjuk számítással is (*E*) Függelék), de a számítást mindenesetre célszerű méréssel is ellenőrizni. A számítás és mérés szolgáltatja jól egyező adatok a Budapest—Hegyeshalmi vasútvonalon a következők:

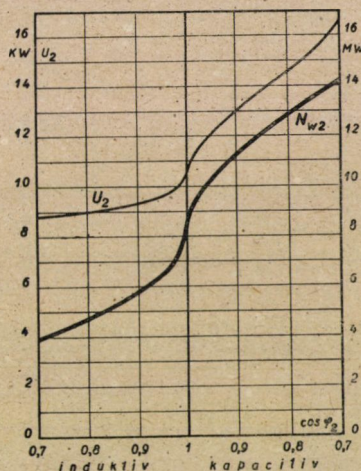
egy munkavezeték (egy vágány) esetén:

$$z = 0,22 + j 0,59 \text{ ohm/km} \quad (22)$$

két párhuzamosan kapcsolt munkavezeték (kettős vágány) esetén:

$$z = 0,12 + j 0,33 \text{ ohm/km} \quad (23)$$

A jelenségek áttekinthetőbbé tétele érdekében tegyük fel, hogy a teljes terhelés a vonal végére van összpontosítva. Itt az energiaátvitelnek azzal az



6. ábra. Két 4 MVA-es transzformátorral táplált 30 km hosszú kettős munkavezetéken átvihető határteljesítmény ( $N_{w2}$ ) és az ehhez tartozó vonalvégi feszültség ( $U_2$ ), 17 kV változatlan üresjárási feszültség esetén, a teljesítménytényező függvényében

esetével van dolgunk, amidőn a vezeték elején adott a feszültség és a végén adott a teljesítmény. Amint az irodalomból ismeretes [8—9], ilyenkor a vezetékén átvihető teljesítménynek határa, az ú. n. »határteljesítmény« akkor fordul elő, amidőn a vezeték végi feszültségvektornak a táplálóoldali feszültségvektorra eső vetülete (az ú. n. »hosszirányú összetevője«) emennek éppen fele. Ebből a feltételből kiszámíthatjuk adott esetben a határteljesítményt és a vezeték végi feszültség abszolút nagyságát is.

A számítást a szemléletesség érdekében konkrét példán célszerű elvégezni. Legyen a (23) fajlagos impedanciájú kettős munkavezeték hossza 30 km, és táplálja két 4 MVA-es transzformátor. Ekkor a 110 kV-os oldalon állandó feszültséget feltételezve a (16 kV-os oldalra vonatkoztatott 17 kV üresjárási

feszültséget), a vezetékvégi  $U_2^*$  feszültség és a vezetékvégen levett  $N_{w_2}^*$  határteljesítmény értékeit a  $\cos\varphi_2$  függvényében a 6. ábrán látjuk. A számítást az *F.* Függelék tartalmazza. A felvett példa kizárólag demonstratív jellegű, s nincs tekintettel arra, hogy pl. a  $\cos\varphi_2$  0,9-nél jobb értékeinél a két transzformátort a határteljesítmény már túlterhelné.

Az ábra élénken szemlélteti azt a tényt, hogy a jó teljesítménytényező milyen döntően befolyásolja a munkavezeték határteljesítményét. Természetesen ez a határteljesítmény a gyakorlat számára egyáltalán nem kihasználható érték a rendkívül nagy feszültségesések miatt, de a jó teljesítménytényező ebből a szempontból is döntő, mert — amint az ábrából világosan látszik — minél jobb a  $\cos\varphi_2$ , annál nagyobb mértékben közeledhetünk a határteljesítményhez még megengedhető feszültségviszonyokkal.

Itt meg kell említeni, hogy amennyire nincs különösebb jelentősége az általános energiaátvitelben a határteljesítménynek, mert az aránylag kis napi terhelésingadozások miatt az energiaszállítóberendezéseket mélyen a határteljesítmény alatti, gazdaságos energiaátvitelre kell méretezni, addig a vasútüzemben, ahol az állandó üzemi terhelés sokszorosát kitevő, de rövid ideig tartó indítási terheléslökések jelentkeznek, éppen az a gazdaságos, ha az energiaszállítóberendezést az ilyen terheléslökések alkalmával a határteljesítményhez minél közelebb tudjuk megterhelni, azaz az állandó üzemhez képest túlterhelni. Amint láttuk, ennek adott feszültség mellett egyetlen útja a jó teljesítménytényező, amelyet viszont — kivált a kapacitív tartományban — gyakorlatilag csakis szinkrongépes, tehát fázisváltós mozdonnyal lehet megoldani.

Mint hogy a gyakorlatban a 6. ábra szerinti feszültségviszonyokkal nem lehet üzemet tartani, vizsgáljunk meg olyan gyakorlati esetet is, amely a határteljesítmény alatt van.

#### *A munkavezeték üzemi viszonyai*

Induljunk ki az előbbi példának felvett vezetékéből, de most azzal, hogy a vezeték végén 4 MW mozdonyterhelést akarunk ellátni. Különböző  $\cos\varphi_2$  értékeknél.

- a) mekkora lesz a feszültség a vezeték végén; a mozdonynál?
- b) mekkorák lesznek a vonal soros veszteségei?
- c) mekkora lesz a két táptranzformátor terhelése?

A számítást, amely a gyakorlatban ma még úgy sem túlléphető kapacitív  $\cos\varphi_2 = 0,9$ -en túl nem terjedt, a *G.* Függelék tartalmazza. A fenti három kérdésre a választ a 7. ábrán látjuk.

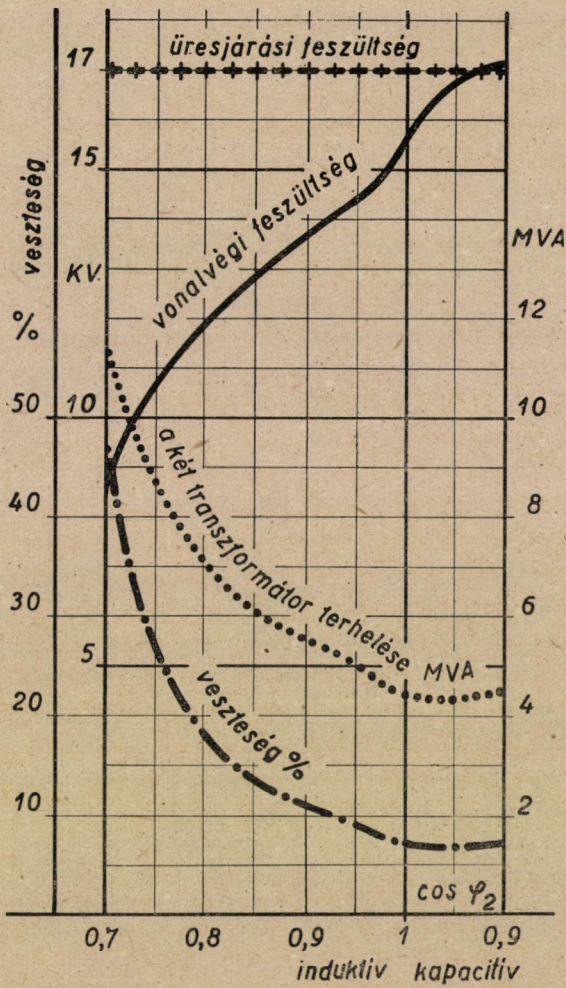
Az ábra minden magyarázat nélkül is — hasonlóan a 16. ábrához — világosan szemlélteti a jó  $\cos\varphi$  óriási műszaki és gazdasági előnyeit.

Erre azt mondhatná valaki, hogy a  $\cos\varphi$ -nek azért ilyen nagy a hatása, mert az 50 periódus miatt nagy a vezeték reaktanciája, s  $16^2/3$  periódusú rendszerben a harmadrész reaktancia miatt rossz  $\cos\varphi$ -vel is jó feszültségviszonyok érhetőek el.

\* Itt a 2 index az előzőktől eltérően nem negatív sorrendű mennyiségeket jelöl, mint hogy itt egyfázisú rendszeréről van szó, hanem a fogyasztói vezetékvégen lévő értékeket.



Bár ebben a gondolatmenetben van némi igazság, a helyzet mégsem egészen így van. Ennek szemléltetésére tegyünk egy összehasonlítást.



7. ábra. Két 4 MVA-es transzformátorral táplált 30 km hosszú kettős munkavezeték vonalvégi feszültsége, vesztesége és a két transzformátor együttes terhelése, 4 MW átvitele esetén a teljesítménytényező függvényében

*Energiaátvitel  $16\frac{2}{3}$  perióduson*

Az összehasonlítás egyszerűsítése végett a transzformátorokat ne vegyük figyelembe, csupán a 30 km hosszú kettős munkavezeték, állandónak feltételezett 17 kV-os tápfeszültséggel.

Induljunk ki abból, hogy  $16\frac{2}{3}$  periódus esetén mekkora teljesítményt lehet átvinni  $\cos \varphi_2 = 0,7$  és 12% feszültségesés mellett. Az itt nem részletezett számítás azt mutatja, hogy 4,3 MW-ot.

Egyébként, ha  $16\frac{2}{3}$  periódus esetén  $\cos\varphi_2 = 0,85$ -el visszük át e 4,3 MW-ot, akkor 9,5%-os feszültségesésf kapunk.

Ha most ugyanezt a teljesítményt 50 periódussal visszük át, a kommutátoros motorú üzemenk megfelelő  $\cos\varphi_2 = 0,7$  figyelembevételével, akkor a feszültségesés 32%-ra nő meg. Ha ezzel szemben a fázisváltós rendszernek megfelelő  $\cos\varphi_2 = 1$ -el számolunk, akkor a feszültségesés 7,4%-ra esik le, amely tehát még a  $16\frac{2}{3}$  periódusú  $\cos\varphi_2 = 0,85$ -ös üzennél is kedvezőbb.

Hasonló a helyzet a szükséges transzformátorteljesítményekkel is. A  $16\frac{2}{3}$  periódusú üzemben  $\cos\varphi_2 = 0,85$  esetén 5,6 MVA,  $\cos\varphi_2 = 0,7$  esetén 6,2 MVA, ezzel szemben az 50 periódusú üzemben  $\cos\varphi_2 = 0,7$  esetén 9 MVA, míg  $\cos\varphi_2 = 1$  esetén csak 5,1 MVA transzformátorteljesítményre van szükség.

Erre azt mondhatná valaki, hogy mindez igaz, de ugyanezt az eredményt el lehet érni úgy is, ha rossz  $\cos\varphi$  mellett nagyobb feszültséget alkalmazunk.

Bár ebben a gondolatmenetben is van némi igazság, az elérhető eredmények még sem oly jók, mint a jó  $\cos\varphi$  eredményei.

#### *Energiaátvitel 50 perióduson 25 kV-al*

Előző példánkból kiindulva a számítás azt mutatja, hogy 4,3 MW átvitelkor  $\cos\varphi_2 = 0,7$  mellett a feszültségesés 10,8% lesz, a transzformátorterhelés pedig 7 MVA. Ez a megoldás tehát mind feszültségesés, mind pedig transzformátorterhelés szempontjából kissé kedvezőtlenebb, mint a 17 kV-os,  $16\frac{2}{3}$  periódusú  $\cos\varphi_2 = 0,85$ -ös eset, s természetesen lényegesen kedvezőtlenebb, mint az 50 periódusú 17 kV-os  $\cos\varphi_2 = 1$ -es fázisváltós üzem, arról nem is beszélve, hogy a nagyobb feszültségnek számos más hátránya van.

Fenti példák eredményeit összefoglalóan az alábbi táblázat tünteti fel:

IV. táblázat

4,3 MW átvitele 30 km kettős munkavezetéken				
Tápfeszültség kV	Periódusszám	$\cos\varphi_2$	Feszültségesés %	Transzformátor-terhelés MVA
17	$16\frac{2}{3}$	0,85	9,5	5,6
17	$16\frac{2}{3}$	0,7	12	6,2
17	50	0,7	32	9
17	50	1	7,4	5,1
25	50	0,7	10,8	7

**Összefoglalás:** Ha megvizsgáljuk az egyfázisú 50 periódusú vasútüzem-kozta aszimmetrikus terhelések hatásait, megállapíthatjuk, hogy még abban az esetben is, ha valamely erőművet túlnyomóan csak a vasútüzem terhelné, a fázisváltós mozdony jó teljesítményezője miatt a generátorokban általában nem keletkezik a megengedettnél nagyobb negatív sorrendű veszteség. Ha



a vasútüzemet nagyobb energiarendszer táplálja, akkor az egész áram-aszimmetria kérdés jelentéktelenné zsugorodik. A gyakorlatban előfordulható feszültségaszimmetriák, még szélső esetben sem lépik túl a 100 kV-os hálózaton a szabványosan megengedett 5% nagyságrendű értéket, ami a fogyasztók szempontjából nem jelent semmi hátrányt, mert a feszültségaszimmetriára érzékeny aszinkron motorok képesain már csak kb. fele akkora feszültségaszimmetria lesz, mint a 100 kV-os hálózaton. 3–4% aszimmetriára pedig semilyen fogyasztó nem érzékeny.

• Ugyanekkor magának a vasúti energiaátviteli berendezésnek, a tápállomásoknak és a munkavezetéknek szempontjából a fázisváltós rendszer igen nagy műszaki és gazdasági előnyöket biztosít.

### A. Függelék

#### *Aszimmetrikus vasúti terhelés felbontása szimmetrikus háromfázisú és tiszta egyfázisú összetevőkre*

Legyen az egyfázisú vasúti alállomások okozta terhelés a 100 kV-os hálózaton

- az *ab* fázisok között : .....  $N_{ab}$  MVA
- a *bc* fázisok között : .....  $N_{bc}$  MVA
- a *ca* fázisok között : .....  $N_{ca}$  MVA

Nem követünk el számottevő hibát, ha a 100 kV-os hálózaton az egyes egyfázisú alállomások közötti feszültségkülönbségeket nem vesszük figyelembe, és úgy tekintjük az áramokat, mint amelyek a fenti teljesítményekkel arányosak. A három áram tehát az

$$I_{ab} = \frac{N_{ab}}{U_v} \frac{(\text{MVA})}{(\text{kV})} \quad (\text{kA}) \tag{a,1}$$

képletből számítva :

$$I_{ab}, I_{bc}, I_{ca}$$

Üzemi műszereink, amelyekkel az *I* áramokat és az *U<sub>v</sub>* láncolt feszültségeket mérjük, mindig skaláris mennyiségeket mérnek. Következésképpen az *I* áramok fenti vektor-értékét sem a közvetlen mérés, sem az (a,1) alapján a számítás nem adja meg : az áramoknak csak abszolútértékét ismerjük.

Ha azonban abból indulunk ki, hogy az egyfázisú alállomásokat tápláló háromfázisú hálózat feszültségháromszöge gyakorlatilag szimmetrikus, akkor már felírhatjuk a három áramvektort.

A koordinátarendszert válasszuk úgy meg, hogy az egyik (pl. a *b–c*) áramhoz tartozó láncolt feszültség essék egybe a + valós tengellyel (*U<sub>bc</sub>*). Ekkor a három áramvektor :

$$\left. \begin{aligned} I_{ab} &= a I_{ab} \varepsilon^{jq_{ab}} \\ I_{bc} &= I_{bc} \varepsilon^{jq_{bc}} \\ I_{ca} &= a^2 I_{ca} \varepsilon^{jq_{ca}} \end{aligned} \right\} \tag{a,2}$$

ahol

$$\mathbf{a} = -0,5 + j 0,866$$

A három vonali áram pedig :

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{I}_a &= \mathbf{I}_{ab} - \mathbf{I}_{ca} \\ \mathbf{I}_b &= \mathbf{I}_{bc} - \mathbf{I}_{ab} \\ \mathbf{I}_c &= \mathbf{I}_{ca} - \mathbf{I}_{bc} \end{aligned} \right\} \quad (\text{a,3})$$

Ha az (a,3) három egyenletét összeadjuk, akkor a jobboldal zérust eredményez, amiből rögtön következik, hogy a három vonali áramvektor az egyes egyfázisú terhelések bármilyen nagysága és teljesítménytényezője esetén is zárt vektorháromszöget ad. Innen a pozitív és negatív sorrendű összetevő (az a fázisban):

$$\mathbf{I}_{a1} = \frac{1}{3} (\mathbf{I}_a + \mathbf{a}\mathbf{I}_b + \mathbf{a}^2\mathbf{I}_c) \quad (\text{a,4})$$

$$\mathbf{I}_{a2} = \frac{1}{3} (\mathbf{I}_a + \mathbf{a}^2\mathbf{I}_b + \mathbf{a}\mathbf{I}_c) \quad (\text{a,5})$$

és a keresett aszimmetriatényező :

$$A_{iv} = \frac{I_{v2}}{I_{v1}} = \frac{I_{a2}}{I_{a1}} \quad (\text{a,6})$$

Meg kell itt említeni, hogy az irodalomból [10] ismeretesek olyan összefüggések, amelyek a három fázis-mennyiségnek, azaz az (a,3) alatti értékeknek pusztán skaláris (abszolút) értékéből közvetlenül megadják a pozitív és negatív sorrendű összetevőt. Ezzel azonban itt nem sokra megyünk, mert itt nem a fázis (vonali) áramok a közvetlenül mért mennyiségek, hanem az (a,2) alatti egyfázisú áramok. Ha viszont ez utóbbiaknak abszolút értékéből próbáljuk a pozitív és negatív sorrendű összetevőket közvetlenül meghatározni, akkor oly bonyolult kifejezésekre jutunk, hogy az azokkal való számolás lényegesen hosszadalmasabb és több hibaforrást rejt, mint az (a,2) — (a,5) alatti egyszerű komplex-számos kifejezésekkel való számolás.

Az (a,3)-al jellemzett áramrendszer felfogható úgy, mint tiszta egyfázisú és tiszta háromfázisú terhelés áramainak összege.

A tiszta egyfázisú terhelés legyen a 3. ábra szerint a *b* és *c* fázisok közé kapcsolva. Ekkor az  $I_e$  egyfázisú áram így írható :

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{I}_{ca} &= \mathbf{I}'_{a_1} + \mathbf{I}_{a_2} = 0 \\ \mathbf{I}_{cb} &= \mathbf{I}'_{b_1} + \mathbf{I}_{b_2} = \mathbf{a}^2\mathbf{I}'_{a_1} + \mathbf{a}\mathbf{I}_{a_2} = \mathbf{I}_{a_2}(\mathbf{a} - \mathbf{a}^2) = j\sqrt{3} \mathbf{I}_{a_2} \\ \mathbf{I}_{cc} &= \mathbf{I}'_{c_1} + \mathbf{I}_{c_2} = \mathbf{a}\mathbf{I}'_{a_1} + \mathbf{a}^2\mathbf{I}_{a_2} = \mathbf{I}_{a_2}(\mathbf{a}^2 - \mathbf{a}) = -j\sqrt{3} \mathbf{I}_{a_2} \end{aligned} \right\} \quad (\text{a,7})$$

ahol az  $\mathbf{I}'_{a_1}$ ,  $\mathbf{I}'_{b_1}$ ,  $\mathbf{I}'_{c_1}$  háromfázisú pozitív sorrendű áramrendszer az  $\mathbf{I}_{a_2}$ ,  $\mathbf{I}_{b_2}$ ,  $\mathbf{I}_{c_2}$  háromfázisú negatív sorrendű áramrendszerhez tartozó olyan rendszer, amely eredőül a *b* és *c* fázisok közt folyó  $I_e$  egyfázisú áramot szolgáltatja.

A tiszta háromfázisú terhelés áramai pedig ;

$$\left. \begin{aligned} I_{a\Delta} &= I_{a_1} - I'_{a_1} \\ I_{b\Delta} &= I_{b_1} - I'_{b_1} \\ I_{c\Delta} &= I_{c_1} - I'_{c_1} \end{aligned} \right\} \quad (a,8)$$

Ennek alapján az

$$N_v = N_{ab} + N_{bc} + N_{ca} \quad (a,9)$$

aszimmetrikus háromfázisú vasúti terhelés így bontható fel :

$$N_v = N_{v\Delta} + N_{ve} \quad (a,10)$$

ahol a tiszta háromfázisú terhelés :

$$\left. \begin{aligned} N_{v\Delta} &= \sqrt{3} j U_{bc} \hat{I}_{a\Delta} \\ N_{v\Delta} &= \sqrt{3} U_v I_{\Delta} \end{aligned} \right\} \quad (a,11)$$

és a tiszta egyfázisú terhelés :

$$\left. \begin{aligned} N_{ve} &= U_{bc} \hat{I}_{eb} = -\sqrt{3} j U_{bc} \hat{I}_{a_2} \\ N_{ve} &= U_v I_e = \sqrt{3} U_v I_{v_2} \end{aligned} \right\} \quad (a,12)$$

### B. Függelék

#### *Tiszta motorterhelés pozitív és negatív sorrendű impedanciája*

Középnagyságú aszinkrón motorból kiindulva, a motornak névleges terheléskor a hálózathól felvett látszólagos teljesítményére vonatkozó relatív egységben kifejezett alábbi jellemző villamos adatai vannak :

$$\left. \begin{aligned} \text{állórész rövidzárási impedancia} & \dots\dots\dots z_s = 0,05 + j 0,10 \\ \text{forgórész rövidzárási impedancia} & \dots\dots\dots z_r = 0,04 + j 0,10 \\ \text{mágnesező (üresjárási) impedancia} & \dots\dots\dots z_m = 0,15 + j 3 \\ \text{szlip névleges terhelésnél} & \dots\dots\dots s = 0,04 \end{aligned} \right\} \quad (b,1)$$

A motor pozitív sorrendű impedanciája :

$$z_1 = z_s + \frac{z_m z_{r_1}}{z_m + z_{r_1}} \quad (b,2)$$

ahol :

$$z_{r_1} = z_r + r_r \frac{1-s}{s} \quad (b,3)$$

A motor negatív sorrendű impedanciája :

$$z_2 = z_s + \frac{z_m z_{r_2}}{z_m + z_{r_2}} \quad (\text{b},4)$$

ahol :

$$z_{r_2} = z_r - r_r \frac{1-s}{2-s} \quad (\text{b},5)$$

Ha most figyelembe vesszük a (b,1) alatti adatokat, továbbá abból indulunk ki, hogy a hálózaton üzemben lévő motorok egyidejű összterhelése mindig  $100^0_0$  alatt van,  $s$  legyen e szám  $\frac{3}{4}$ , akkor a figyelembe veendő szlip nem 0,04, hanem

$$s = 0,04 \frac{3}{4} = 0,03$$

Mindezek után a következő eredményre jutunk :

$$\left. \begin{aligned} z_1 &= 1,03 + j 0,72 \\ z_2 &= 0,10 + j 0,20 \end{aligned} \right\} \quad (\text{b},6)$$

Itt még tekintetbe kell venni, hogy a motorok és az erőmű között legalább kétszeres transzformáció és kábel, ill. szabadvezetéki hálózat is van :

kisfeszültségű transzformátor . . . . .	0,012 + j 0,06
vezetékek . . . . .	0,06 + j 0,08
nagyfeszültségű transzformátor . . . . .	0,008 + j 0,09
	$z' = 0,08 + j 0,21$

Mintegy olyan motoros terhelés impedanciáját keressük, amely  $z'$ -vel együtt adja az erőmű névleges terhelését, azaz e relatív egységekben éppen 1-et, a (b,6) alatti  $z_1$  impedanciát ilyen mértékben kell csökkenteni :

$$\left. \begin{aligned} z'_1 &= 0,66 + j 0,46 \\ z' &= 0,08 + j 0,21 \\ \underline{z_1} &= 0,74 + j 0,67 \end{aligned} \right\} \quad (\text{b},7)$$

Ez a megfelelő negatív sorrendű impedancia :

$$\left. \begin{aligned} z'_2 &= z_2 \frac{z'_1}{z_1} \simeq 0,06 + j 0,13 \\ \underline{z'} &= 0,08 + j 0,21 \\ \underline{z_2} &= 0,14 + j 0,34 \end{aligned} \right\} \quad (\text{b},8)$$

C. Függelék

Szinkrongenerátor terhelhetősége aszimmetrikus terheléssel

A szimmetrikus terhelésű szinkrongenerátor belső feszültségviszonyait a 8. ábrán látjuk. Amint ismeretes, a tetszőleges  $i$  terhelőáramhoz szükséges gerjesztőáram nagysága két részből áll : az  $e_p$  e. m. e.-höz tartozó  $i_{gp}$ -ből és az armatúreakció kiegyenlítéséhez szükséges  $i_{ga}$ -ból ;

$$i_g = i_{gp} + i_{ga} \tag{c,1}$$

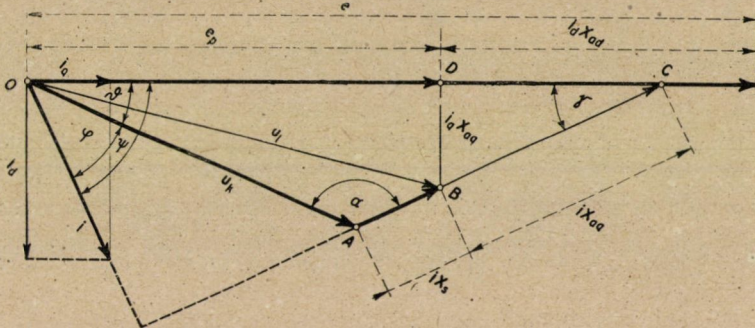
ahol  $i_{gp}$  a 9. ábrán látható üresjárású görbéből az  $u = e_p$  e. m. e.-höz tartozó gerjesztőáram, ahol

$$e_p = \frac{u_k^2 + i^2 x_s x_q + u_k i (x_q + x_s) \sin \varphi}{\sqrt{u_k^2 + i^2 x_q^2 + 2u_k i x_q \sin \varphi}} \tag{c,2}$$

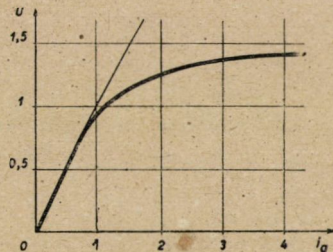
és

$$i_{ga} = \frac{x_{ad}}{x_{aq}} [\sqrt{u_k^2 + i^2 x_q^2 + 2u_k i x_q \sin \varphi} - e_p] \tag{c,3}$$

Mindezek a mennyiségek a gép névleges értékeire vonatkoztatott relatív egységekben értendők, s mivel az alkalmazott jelölések általánosan használhatóak, a 8. ábrán túlmenő külön magyarázatra nem szorulnak.



8. ábra. Szimmetrikus terhelésű szinkrongenerátor belső feszültségviszonyainak vektorábrája



9. ábra. Szinkrongenerátorok átlagos üresjárású görbéje (normális jelleggörbe)



Az aszimmetrikus terhelésnél először azt kell megvizsgálni, hogy egyáltalán mekkora aszimmetrikus áram engedhető meg az állórész melegedése szempontjából. Ha az állórész fázisonkénti rézvesztését a három fázistekercselés rézvesztésének számtani középértéke határozza meg,\* akkor :

$$w_{st} = \frac{r_1}{3} (i_a^2 + i_b^2 + i_c^2) \quad (c,4)$$

ahol  $r_1$  az állórész pozitív sorrendű ellenállása, a három fázisáram pedig ;

$$\left. \begin{aligned} i_a &= i_1 + i_2 \\ i_b &= (i_1 + a^2 i_2) a^2 \\ i_c &= (i_1 + a i_2) a \end{aligned} \right\} \quad (c,5)$$

ahol  $a = -0,5 + j 0,866$

A (c,5) alapján a három fázisáramvektor abszolút értékének négyzete :

$$\begin{aligned} i_a^2 &= i_1^2 + i_2^2 + 2i_1 i_2 \cos \alpha \\ i_b^2 &= i_1^2 + i_2^2 + 2i_1 i_2 \cos (\alpha - 120^\circ) \\ i_c^2 &= i_1^2 + i_2^2 + 2i_1 i_2 \cos (\alpha + 120^\circ) \end{aligned}$$


---


$$i_a^2 + i_b^2 + i_c^2 = 3 (i_1^2 + i_2^2) \quad (c,6)$$

ahol az  $\alpha$  az  $i_1$  és  $i_2$  áramok közötti szög az  $a$  fázisban.

És innen az állórész veszteség :

$$w_{st} = r_1 (i_1^2 + i_2^2) \quad (c,7)$$

A generátoráram aszimmetriátényezője :

$$A_{ig} = \frac{i_2}{i_1} \quad (c,8)$$

Ha figyelembe vesszük, hogy a (c,7) szerinti veszteség nem lehet több, mint a szimmetrikus névleges terheléskor fellépő érték, amidőn tehát  $i = 1$ , akkor a következő eredményre jutunk :

$$w_{st} = r_1 i^2 = r_1 i_1^2 (1 + A_{ig}^2)$$

ahonnan

$$i_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + A_{ig}^2}} \quad (c,9)$$

Második lépésként a forgórész meleg-egyensúlyát kell megvizsgáljunk. Ha a generátor szimmetrikus terheléskor megengedett legnagyobb gerjesztőárama  $i_{gmax}$ , és a forgórész tekercselésének ellenállása üzemi hőfokon  $r_g$ , akkor — az armatúreakció mezőfelharmonikusainak örvényáramvesztéseit figyelmen

\* Ez a felfogás csak az itt tárgyalt kismértékű áramaszimmetriáknál engedhető meg, amelyek az egyes fázistekercselésekben nem idéznek elő veszélyes helyi melegedést.

kívül hagyva — a forgórészben keletkező legnagyobb Joule-veszteség :

$$w_{g\max} = r_g i_{g\max}^2 \tag{c,10}$$

Kisebb gerjesztőáramok esetén :

$$w_g = r_g i_g^2 \tag{c,11}$$

A negatív sorrendű áram okozta forgórészveszteség jó közelítéssel :

$$w_2 = 2 r_2 i_2^m = 2 r_2 i_1^m A_{ig}^m \tag{c,12}$$

ahol az  $m$  hatványkitevő turbogenerátoroknál 2-nél valamivel kisebb szám : Ganz nagygépeknél kb. 1,7. A  $w_2$  veszteség felét a hálózathoz veszi fel a gép, másik felét a tengelyen át a hajtógéptől, mint mechanikai teljesítményt. Minthogy az  $r_2$ -ben az  $r_1$  is bennfoglaltatik, a  $w_2$  nem tisztán forgórészveszteség, hanem állórészveszteség is. De miután az  $r_2$  kb. 10—15-szöröse az  $r_1$ -nek, ezt a körülményt itt az egyszerűség kedvéért elhanyagoljuk, ami a biztonság felé történő elhanyagolás.

Már most a forgórész hőegyensúlya előírja, hogy e kétféle veszteség nem lehet nagyobb, mint  $w_{g\max}$  :

$$w_{g\max} = w_g + w_2 = r_g i_g^2 + 2 r_2 i_1^m A_{ig}^m \tag{c,13}$$

Feladatunk meghatározni a  $\cos \varphi$  és az  $A_{ig}$  közötti összefüggést. Minthogy a gépben legerjesztő hatása csak a szinkron  $i_1$  áramnak van, a 200% slippel aszinkron  $i_2$ -nek pedig nincs, számításunkban a (c,2) és (c,3) összefüggésekben szereplő  $i$  helyébe mindenütt  $i_1$ -et kell írunk. Ugyanígy, a  $\cos \varphi$  alatt itt mindig az  $i_1$  áram teljesítménytényezőjét fogjuk érteni : az  $i_2$  áram ugyanis a kis negatív sorrendű feszültségesés miatt a pozitív sorrendű teljesítményhez képest elhanyagolható kis negatív sorrendű teljesítményt képez, s így a  $\cos \varphi$ -re gyakorlatilag nincs befolyása.

Minthogy bonyolultsága miatt a (c,1)—(c,3) és (c,13) egyenletrendszerből az  $A_g = f(\cos \varphi)$  összefüggés közvetlenül nem fejezhető ki, próbálkozással fogunk célhoz jutni. A kiindulási adatoknak nem valamely konkrét gép adatait, hanem az átlagos Ganz-féle turbogenerátor adatokat vesszük fel. Ezek :

$x_s = 0,24$	$m = 1,7$
$x_q = 1,74$	$r_g = 0,02$
$x_{.q} = 1,5$	$r_2 = 0,03$
$x_{.d} = 1,76$	$w_{g\max} : \cos \varphi = 0,7$ -nél van.

A számítás eredménye :

$\cos \varphi = 0,7$	0,8	0,9	1
$A_g = 0$	0,056	0,075	0,103

A (c,9)-ből kitűnik, hogy  $A_{ig}$  ilyen kis értékei mellett az  $i_1$  gyakorlatilag azonos  $i$ -vel, tehát a szinkrongép negatív sorrendű összetevőt tartalmazó aszimmetrikus árammal való terhelhetőségét kizárólag a forgórész melegekedése korlátozza, az állórész melegedésének ebben a tekintetben gyakorlatilag nincs jelentősége.

A számítás fenti számszerű eredményét a terhelő áram (pozitív sorrendű összetevője) teljesítménytényezőjének folytonos függvényében a 4. ábra tünteti fel.

#### D. Függelék

##### *A legnagyobb feszültségaszimmetria számítása*

A legnagyobb feszültségaszimmetria a negatív sorrendű feszültség forrásánál, a  $V$  pontban lévő  $z_e$  impedanciánál lesz (2. ábra). Minthogy a vasúti terhelés és annak  $N_{ve}$  egyfázisú összetevője nem meghatározott impedanciát, hanem meghatározott teljesítményt képvisel, nyilvánvaló, hogy a feszültségaszimmetriára, a  $z_e$  impedancián kívül, a  $z_k$  impedancia nagysága is számottevő hatással van. Ezt a  $z_k$  impedanciát azonban helytelen lenne már eleve az egész hálózat generátorteljesítőképességére vonatkozó relatív egységben felvenni, mert ennek nagyságát a rajta átviendő  $N_{ve}$  teljesítmény és a gyakorlatilag tekintetbe jövő távolságok szabják meg, nem pedig az egész hálózat teljesítménye.

Ha abból indulunk ki, hogy erősforgalmú kétvágányú vasútvonalon 60 km tápponti távolság esetén egy táppont negyedórás csúcsterhelése legfeljebb 6 MW, akkor 100 kV névleges feszültségű táphálózat esetén a tápvezeték gazdaságos keresztmetszete kb. 70 mm<sup>2</sup> aludur, vagy ennek megfelelő acélalumínium lenne.

Minthogy biztonsági és sugárzási okokból, továbbá a hálózat egyéb terhelési lehetőségeire való tekintettel 110 mm<sup>2</sup> ac. al.-nál kisebb vezetével 100 kV-os tápvezeték ma már nem nagyon szokás építeni, ennek kilométerenkénti impedanciája egy-rendszerű vezeték esetén :

$$0,27 + j0,46 \text{ ohm km}$$

Ha feltesszük, hogy az eredő tiszta egyfázisú terhelés az erőmű gyűjtőcsínjétől 90 km távolságra van, akkor

$$Z_k \simeq 24 + j42 \text{ ohm}$$

Ugyanekkor a 6 MW terhelésnek  $\cos \varphi_v = 1$  és  $U_v = 110$  kV esetén megfelelő impedancia az (1) alapján :

$$Z_e = \frac{110^2}{6} = 2000 \text{ ohm}$$

E két adat alapján, áttérve a relatív egységekre, írhatjuk :

$$\gamma = \frac{Z_k}{Z_e} = \frac{z_k}{z_e} = 0,012 + j0,021 \quad (\text{d},1)$$

Ez eléggé szélső értékek tekinthető, mert akár a távolság kisebb 90 km-nél, akár az  $N_{ve}$  terhelés kisebb 6 MW-nál, akár pedig kettős vagy többszörös vezetékről történik a táplálás, a  $\gamma$  mindenképpen kisebb a fenti értéknél.

A (16), (1) és (a,7) alapján írhatjuk :

$$i_2 = \frac{i_{g1}}{0,7} A_{ig} = \frac{I_2}{I_{gn}} = \frac{U_v}{\sqrt{3}Z_e} \frac{\sqrt{3}Z_{f1}}{U_{k1}} = \frac{z_{f1}}{z_e} \frac{u_v}{u_{k1}} \quad (d,2)$$

Most a (d,1) alapján, figyelembe véve, hogy a  $\gamma$  kis értéke mellett jó közelítéssel írhatjuk :

$$i_{g1} = u_{k1} = 1 \approx u_v \quad (d,3)$$

$$z_k \approx \gamma z_{f1} \frac{0,7}{A_{ig}} \quad (d,4)$$

A 2. pontban feltételeztük, hogy az  $u_{k1}$  feszültség állandó. Ennek következtében az a fázisra vonatkozó 2. ábra alapján a következő összefüggéseket írhatjuk fel :

$$\left. \begin{aligned} u_{v1} &= u_{k1} - i_1 z_k \\ u_{v2} &= -i_2 (z_k + z_2) \end{aligned} \right\} \quad (d,5)$$

ahol a  $z_2$  azonos a (2a) képlettel.

Ha most az  $i_1$  és  $i_2$  (2) szerinti értékét ide behelyettesítjük :

$$\left. \begin{aligned} u_{v1} &= u_{k1} \frac{z_k + z_e + z_2}{2z_k + z_e + z_2} \\ u_{v2} &= u_{k1} \frac{z_k + z_2}{2z_k + z_e + z_2} \end{aligned} \right\} \quad (d,6)$$

Ez utóbbit a (20)-ba behelyettesítve :

$$A_{uv} = \left| \frac{z_k + z_2}{z_k + z_e + z_2} \right| \quad (d,7)$$

A (2), (3) és (12) alapján továbbá írhatjuk :

$$A_{ig} = \frac{i_{g2}}{i_{g1}} = \left| \frac{i_2 z_{f2}}{i_{g1} (z_{f2} + z_{g2} + z_{tr})} \right| = \left| \frac{u_{k1}}{i_{g1}} \right| \left| \frac{z_{f2}}{(2z_k + z_e + z_2) (z_{f2} + z_{g2} + z_{tr})} \right| \quad (d,8)$$

Ha most figyelembe vesszük a (d,1) alapján, hogy  $z_k \ll z_e$ , akkor nem követünk el számottevő hibát, ha a fenti tört nevezőjében a  $2z_k$  helyett csak  $z_k$ -val számolunk. Ekkor ugyanis a (d,8)-ból kifejezhetjük a  $(z_k + z_e + z_2)$  impedancia abszolút értékét és ezzel a (d,7) így alakítható át :

$$A_{uv} = A_{ig} \left| \frac{i_{g1}}{u_{k1}} \right| \left| (z_k + z_2) \left( 1 + \frac{z_{g2} + z_{tr}}{z_{f2}} \right) \right| \quad (d,9)$$

Nem közömbös természetesen az sem, hogy mekkora lesz a feszültség-aszimmetria ( $A_{uk}$ ) az erőmű gyűjtősinén, azaz a  $K$  pontban. A 2. ábra és a (2) alapján:

$$u_{k_2} = -i_2 z_2 = u_{k_1} \frac{z_2}{2z_k + z_e + z_2} \quad (d,10)$$

$$A_{uk} = \frac{u_{k_2}}{u_{k_1}} \cong \left| \frac{z_2}{z_k + z_e + z_2} \right| \quad (d,11)$$

és a (d,8) segítségével:

$$A_{uk} = A_{ig} \left| \frac{i_{g_1}}{u_{k_1}} \right| \cdot \left| z_2 \left( 1 + \frac{z_{g_2} + z_{tr}}{z_{f_2}} \right) \right| \quad (d,12)$$

A 2. pontban felvett szám adatok és a (d,4) alapján a (d,9) tényezői így alakulnak:

$$\left. \begin{aligned} z_k &= \frac{1}{A_{ig}} (-0,0036 + j 0,0165) \\ z_2 &= 0,047 + j 0,146 \\ 1 + \frac{z_{g_2} + z_{tr}}{z_{f_2}} &= 1,31 + j 0,157 \end{aligned} \right\} \quad (d,13)$$

És végül az I. táblázat, a (d,3), (d,9), (d,12) és (d,13) alapján:

$\cos \varphi_g = 0,7$	0,8	0,9	1
$A_{uv} = 0$	0,032	0,036	0,041
$A_{uk} = 0$	0,011	0,14	0,02
$N_g \text{ MVA} = \infty$	75	56	41

A 6 MW egyfázisú terheléshez tartozó  $N_g$  erőműteljesítményt, illetve a hozzátartozó  $Z_{f_1}$  impedanciát az alábbi módon határozzuk meg. A (d, 2)-ből a (16) figyelembevételével írhatjuk:

$$\begin{aligned} z_{f_1} &= z_e \frac{u_{k_1}}{u_v} i_{g_1} \frac{A_{ig}}{0,7} \cong z_e A_{ih} \\ Z_{f_1} &\cong Z_e A_{ih} = 2000 A_{ih} \end{aligned} \quad (d,14)$$

### E. függelék

#### *A vasúti munkavezeték impedanciája*

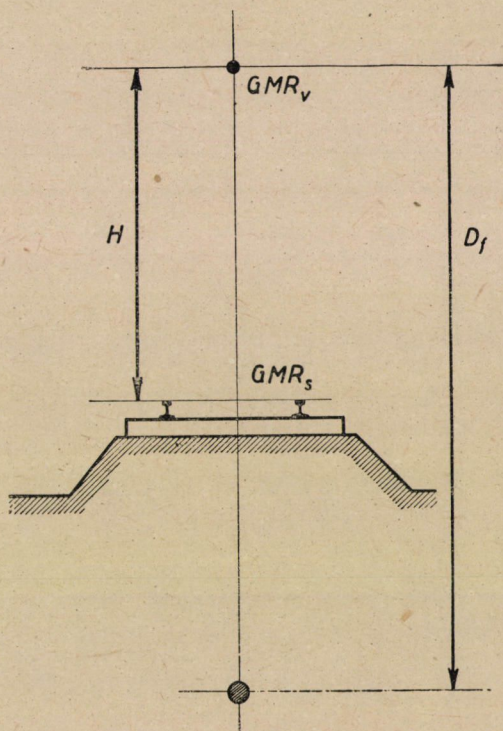
##### *1. Egy munkavezeték (egy vágány), acél tartóhuzal*

Az elrendezést a 10a. ábrán látjuk. A tapasztalat szerint a föld úgy lesöntöli a síneket, hogy a mozdonytól, illetve a tápponttól néhány km távolságra a sínekben a teljes áramnak már csak 35  $\approx$  50%-a folyik. Nem elegendő tehát



a síneket, hanem a földet is számításba kell venni. Az acél tartóhuzal viszont gyakorlatilag semmi áramot nem visz, s így azt elhanyagolhatjuk. Adatok :

- a munkavezető geometriai mértékű sugara .....  $GMR_v$  cm  
 a munkavezető magassága a sínpár fölött .....  $H$  cm  
 a sínpár geometriai mértékű sugara .....  $GMR_s$  cm  
 az egyenértékű koncentrált földvezetés mélysége a munkavezető alatt .....  $D_f$  cm



10a. ábra. Az egyfázisú vasúti munkavezeték-hurok és helyettesítő kapcsolása

**Összefüggések :**

A munkavezető közel hengeres  $100 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ , amelynek sugara :  $r = 0,58 \text{ cm}$  :

$$GMR_v = 0,779 \cdot r = 0,454 \text{ cm} \quad (e,1)$$

A sín impedanciájának meghatározása számítás útján csak durva közelítéssel lehetséges, amely azonban megengedhető, mert a sínpár impedanciája az egész áramkör impedanciájának csak egy kis részét teszi ki.

A közelítés abból áll, hogy egyrészt a sínt egy azonos keresztmetszetű tömör hengeres rúddal helyettesítjük, másrészt a sín átlagos permeabilitását az áramerősségtől függetlenül becsléssel megállapított értékkel fogjuk számításba venni.

$$\mu = 30$$

Ha a MÁV 42,8 kg/fm-es sínszelvényéből indulunk ki, amelynél az újabb 48,3 kg/fm-es is csak 13%-kal nagyobb, akkor az 5460 mm<sup>2</sup> keresztmetszetnek megfelelő helyettesítő hengeres vezető átmérője kerekén 83 mm. A sín átlagos permeabilitását az itt tekintetbe jövő 100–300 amp. áramerősségek esetén 40–20, azaz közepesen :

$$\mu = 3$$

értékkel vehetjük figyelembe. Ennek megfelelően egy sínre írhatjuk :

$$GMR'_s = \frac{r}{10^{\frac{0,1085}{s} \mu}} = \frac{4,15}{10^{\frac{0,1085}{5} \cdot 3}} = 0,92 \text{ cm}$$

ahol  $s$  — az ellenállásnak a skinhatás által okozott növekedési aránya az egyenáramú ellenálláshoz viszonyítva. Ez az érték a sín egyenáramú ellenállásának és a  $\mu$ -nek függvényében a skinhatásra vonatkozó ismert összefüggésekből határozható meg,  $s$  jelen esetben kerekén 5-nek adódik.

A sínpár geometriai mértékű sugara, figyelembevve a két sín középvonala közötti 1435 + 65 = 1500 mm távolságot :

$$GMR_s = \sqrt{0,92 \cdot 150} = 11,7 \text{ cm} \quad (e,2)$$

A földvezetés mélysége, figyelembevve, hogy a föld átlagos vezetőképességét  $\rho_f = 100$  m. ohm-nak vehetjük :

$$D_f = 66 \sqrt{\frac{\rho_f}{f}} 10^3 = 66 \sqrt{\frac{100}{50}} 10^3 = 93 \cdot 10^3 \text{ cm} \quad (e,3)$$

Mármost az egyfázisú hurok impedanciáját a 10b. ábra szerinti helyettesítő kapcsolással ábrázolhatjuk, ahol :

a munkavezető szórási impedanciája (ha az átlagos magasság  $H = 600$  cm):

$$\left. \begin{aligned} z_v &= r_v + j x_v && \text{o' m/km} \\ r_v &= \frac{\rho_v}{q_v} = \frac{18}{100} = 0,18 && \text{,,} \\ x_v &= 0,145 \log \frac{H}{GMR_v} = 0,452 && \text{,,} \end{aligned} \right\} \quad (e,4)$$

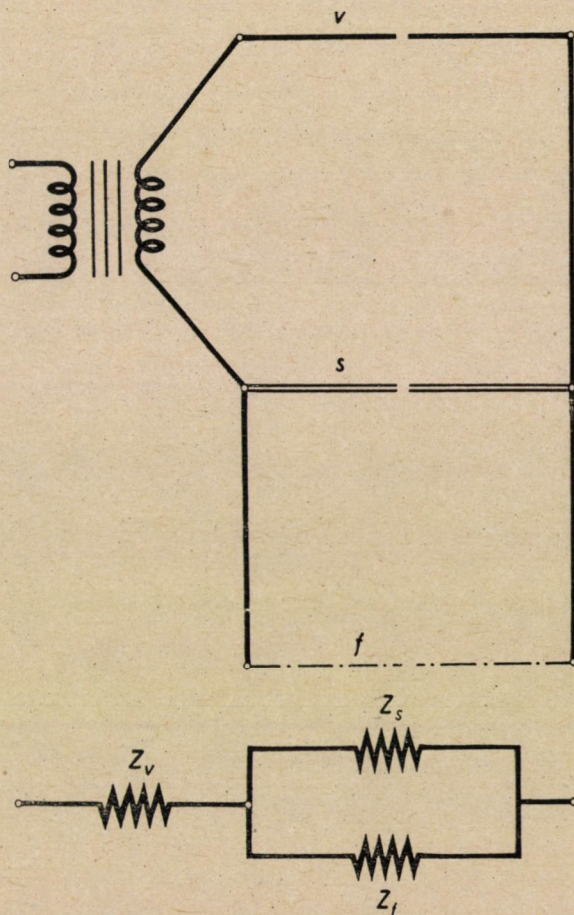
a sínpár szórási impedanciája :

$$\left. \begin{aligned} z_s &= r_s + j x_s && \text{ohm/km} \\ r_s &= \frac{\rho_s}{2 q_s} s = \frac{200}{2 \cdot 5460} 5 = 0,091 && \text{ohm/km} \\ x_s &= 0,145 \log \frac{H}{GMR_s} = 0,145 \log \frac{600}{11,7} = 0,248 && \text{,,} \end{aligned} \right\}$$



A földvezetések hurok kölcsönös impedanciája :

$$\left. \begin{array}{l} z_f = r_f + j x_f \quad \text{ohm/km} \\ r_f = 0,001 f \quad = 0,05 \quad \text{,,} \\ x_f = 0,145 \log \frac{D_f}{H} \quad = 0,317 \quad \text{,,} \end{array} \right\} \quad (e,6)$$



10 b ábra. Kétvágányú vasút egyfázisú munkavezetéke a földvezetést helyettesítő vezetével  
És innen a hurok-impedancia (10.b. ábra alapján) :

$$z = z_v + \frac{z_s z_f}{z_s + z_f} = 0,218 + j 0,592 \quad (e,7)$$

A Közl. Min. 1/7. C. Főosztálya és a Ganz Villamossági Gyár által végzett mérés eredménye :

$$z = 0,22 + j 0,59,$$

ami a fenti egyszerű számítási eljárás helyességét igazolja.

## 2. Egy munkavezeték, jól vezető tartóhuzallal

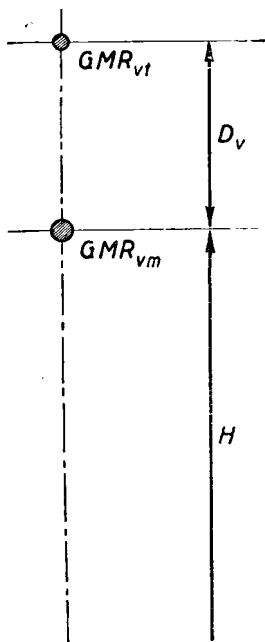
Nagyterhelésű vonalakon a gazdaságos energiaátvitel sokszor nagyobb vezetőkeresztmetszetet kíván, mint a fenti 100 mm<sup>2</sup> körüli méret. Ilyenkor célszerű a vezetőkeresztmetszetet megosztani és a tartóhuzalt acél helyett jó vezetőanyagból, pl. bronzból készíteni. Az elrendezést a 10c. ábra mutatja. Ilyenkor a számítás menete a következő:

A munkavezető szórási impedanciája:

$$\left. \begin{aligned} z_v &= r_v + j x_v && \text{ohm/km} \\ r_v &\cong \frac{r_{vm} r_{vt}}{r_{vm} + r_{vt}} && \text{''} \\ x_v &= 0,145 \log \frac{H'}{GMR'_v} && \text{''} \end{aligned} \right\} \quad (e,8)$$

ahol

$$\left. \begin{aligned} H' &\cong H + D_v \frac{r_v}{r_{vt}} && \text{cm} \\ GMR'_v &\cong \sqrt{\frac{r_{vm}}{r_v} \frac{GMR_{vm}}{1 + \frac{GMR_{vm} r_{vm}}{GMR_{vt} r_{vt}}} \left(1 + D_v \frac{4 r_v}{r_{vm} + r_{vt}}\right)} && \text{cm} \end{aligned} \right\} \quad (e,9)$$



10c. ábra. Munkavezeték és jól vezető anyagból készült tartóhuzal elrendezése

Ha  $r_{vm} \cong r_{vt}$ , és  $GMR_{vm} = GMR_{vt} = GMR_v$ , akkor az (e,9) az alábbi egyszerűbb alakot ölti : -

$$\left. \begin{aligned} H' &= H + 0,5 D_v && \text{cm} \\ GMR'_v &= \sqrt{GMR_v (1 + D_v)} && \text{cm} \end{aligned} \right\} \quad (e,10)$$

A számítás további menete azonos az (e,5)—(e,7)-el, azzal az eltéréssel, hogy  $H$  helyett  $H'$ -vel kell számolni.

Például : legyen a tartóhuzal  $95 \text{ mm}^2$  kemény rézsodrony, amelynek ellenállása és átmérője közel egyenlő a  $100 \text{ mm}^2$  réz munkavezetékével, és  $D_v = 60 \text{ cm}$  (közepesen).

$$H' = 600 + 0,5 \cdot 60 = 630 \text{ cm}$$

$$GMR'_v = \sqrt{0,454 \cdot 61} = 5,25 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} z_v &= 0,09 + j 0,3 && \text{ohm/km} \\ z_s &= 0,091 + j 0,251 && \text{«} \\ z_f &= 0,05 + j 0,314 && \text{«} \\ \hline z &= 0,18 + j 0,44 && \text{ohm/km} \end{aligned}$$

A jővezető tartóhuzal hatására tehát nem csak a hurok ellenállása csökkent le  $58\%$ -ra, hanem a reaktancia is  $74\%$ -ra.

### 3. Két munkavezeték (két vágány), acél tartóhuzal

Az elrendezést a *11. ábra* tünteti fel. A két munkavezeték helyenként össze van kötve, s így párhuzamosan működik. A számítás menete hasonló az 1. alattihoz, csupán a két munkavezetőt és a két sínpart kell helyettesíteni egy-egy eredő-vezetővel, amely így történik :

eredő munkavezető :

$$GMR_{v_2} = \sqrt{GMR_v \cdot D} \quad (e,11)$$

eredő sín :

$$GMR_{s_2} = \sqrt{GMR_s \cdot D} \quad (e,12)$$

Ezekkel az adatokkal, s természetesen az  $r_v$  és  $r_s$  felére csökkentett értékekkel a számítás teljesen úgy folytatható le, mint 1. alatt.

Az ottani példa adataival ( $D = 400 \text{ cm}$ ) :

$$GMR_{v_2} = 13,5 \text{ cm}$$

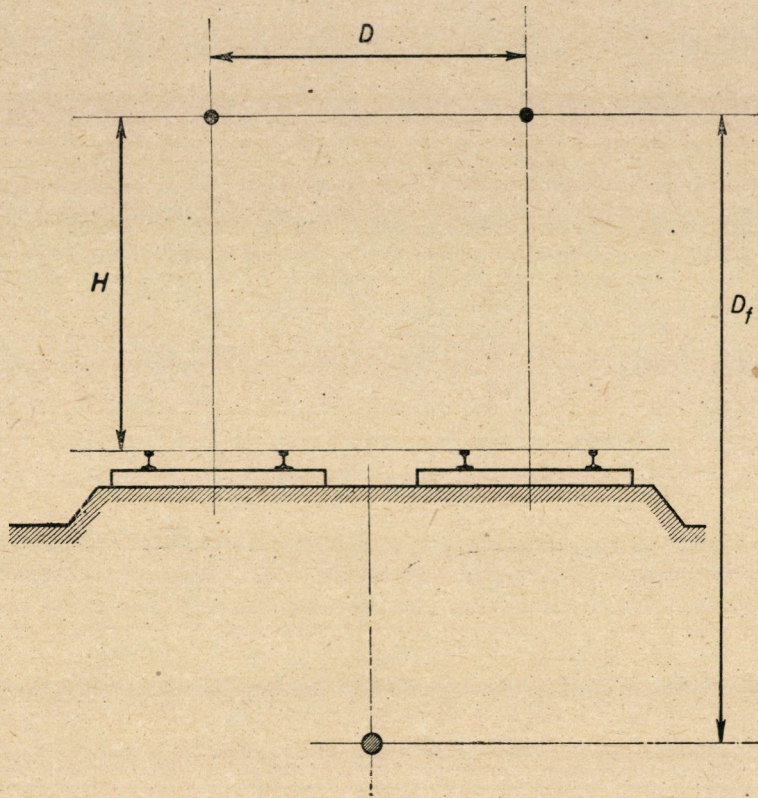
$$GMR_{s_2} = 68,5 \text{ »}$$

$$\begin{aligned} z_v &= 0,09 + j 0,239 && \text{ohm/km} \\ z_s &= 0,046 + j 0,137 && \text{«} \\ z_f &= 0,05 + j 0,317 && \text{«} \\ \hline z &= 0,117 + j 0,335 && \text{ohm/km} \end{aligned}$$



Az eljárás pontosságára utal a mért adat :

$$z = 0,12 + j 0,33 \text{ ohm}$$



11 ábra. Kétvágányú vasút egyfázisú munkavezetéke a földvezetést helyettesítő vezetővel

#### 4. Két munkavezeték, jól vezető tartóhuzallal

A számítást a 2. és 3. alattiak figyelembevételével könnyen elvégezhetjük. Az eljárás teljesen a 3. szerinti, csupán az (e,11) helyett :

$$GMR'_{v_2} = \sqrt{GMR'_v \cdot D} \quad (e,13)$$

értékkel és  $H$  helyett mindenütt  $H'$ -vel kell számolni.

A fenti példa adataival :

$$\begin{aligned} GMR'_{v_2} &= \sqrt{0,25 \cdot 400} = 10 \text{ cm} \\ z_v &= 0,045 + j 0,165 \text{ ohm/km} \\ z_s &= 0,046 + j 0,140 \text{ «} \\ z_f &= 0,05 + j 0,314 \text{ «} \\ z &= 0,072 + j 0,262 \text{ ohm/km} \end{aligned}$$

Az eredmény tehát a 3. esethez képest: 60% ellenállás és 78% reaktancia. Látjuk tehát, hogy amíg a jó-vezető tartóhuzal egy vágány esetén 26%-kal csökkentette a reaktanciát, kettős vágány esetén mindössze 22%-kal csökkenti.



### F. Függelék

#### A munkavezeték határteljesítménye

Az energiaátvitel I. esetében, azaz amikor a vonal elején adott a feszültség ( $U_1$ ) és végén adott az átvitt teljesítmény ( $N_2$ ), akkor a lehetséges legnagyobb átvihető teljesítményt, az ú. n. határteljesítményt az alábbi összefüggés határozza meg [9]:

$$P_w = \frac{\cos \varphi_2}{2 (1 + \cos \alpha_2)} \tag{f,1}$$

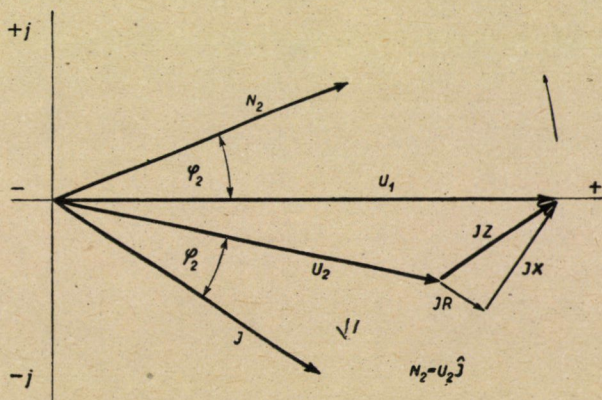
és a fogyasztónál lévő feszültség:

$$u_2 = \sqrt{0,5 - p_H} \tag{f,2}$$

ahol

$$\left. \begin{aligned} P &= \frac{N_2}{N_z} & P_w &= P \cos \varphi_2 \\ N_z &= \frac{U_1^2}{Z} & Z &= R^2 + X^2 \\ p_H &= P \cos \alpha_2 & \alpha_2 &= \psi - \varphi_2 \\ t_g \psi &= \frac{X}{R} & t_g \varphi_2 &= \frac{N_{m2}}{N_{w2}} \\ N_2 &= \sqrt{N_{w2}^2 + N_{m2}^2} & u_2 &= \frac{U_2}{U_1} \end{aligned} \right\} \tag{f,3}$$

A nagybetűs mennyiségek vektorábráját a 11. ábrán látjuk.



12. ábra. A munkavezeték feszültség-vektorábrája az átvitt teljesítmény vektorával

Ha most példaképen egy 30 km hosszú kettős munkavezeték üzemviszonyait vizsgáljuk különböző  $\cos \varphi_2$  értékek mellett a határteljesítménynél, akkor az alábbi eredményekre jutunk a fenti összefüggések alapján:

a vezeték impedanciája .....  $3,6 + j 9,9$  ohm  
 két párhuzamos 4 MVA transzformátoré .....  $0,5 + j 3$  «

$$\psi = 72,5^\circ$$

$$Z = 4,1 + j 12,9 \text{ ohm}$$

$$Z = 13,5 \text{ ohm}$$

Ha egyszerűség kedvéért feltesszük, hogy a transzformátorok üresjárású szekunder feszültségének (17 kV) megfelelő 100 kV-os oldali feszültség a terheléssel nem változik, akkor

$$U_1 = 17 \text{ kV és } N_z = \frac{17^2}{13,5} = 21,5 \text{ MVA.}$$

Terhelés	Induktív					kapacitív				
	0,7	0,8	0,9	0,95	1	0,95	0,9	0,8	0,7	
$\cos \varphi_2$	0,7	0,8	0,9	0,95	1	0,95	0,9	0,8	0,7	
$\varphi_2^\circ$	45,5	37	25,5	18	0	— 18	— 25,5	— 37	— 45,5	
$\alpha_2^\circ$	27	35,5	47	54,5	72,5	90,5	98	109,5	118	
$\cos \alpha_2$	0,89	0,813	0,68	0,58	0,3	0	— 0,14	— 0,33	— 0,47	
$P$	0,264	0,276	0,298	0,316	0,385	0,5	0,581	0,746	0,944	
$P_H$	0,235	0,225	0,203	0,183	0,116	0	— 0,08	— 0,246	— 0,444	
$p_w$	0,185	0,221	0,268	0,301	0,385	0,475	0,524	0,596	0,66	
$u_2$	0,515	0,525	0,545	0,562	0,619	0,706	0,762	0,862	0,97	
$N_{w_2}$ (MW)	3,97	4,75	5,75	6,46	8,26	10,2	11,2	12,8	14,2	
$U_2$ (kV)	8,75	8,91	9,25	9,54	10,5	12	13	14,6	16,5	

### G. Függelék

#### A munkavezeték üzemi viszonyai 4 MW átvitele esetén

Az F. Függelékben felvett vezeték adataiból kiindulva vizsgáljuk meg 4 MW átvitelét különböző  $\cos \varphi_2$  értékekre.

A számítást szerző vonatkozó tanulmánya [9] alapján végezzük el (energiaátvitel I. esete):

Terhelés	Induktív					Kapacitív		
	0,7	0,8	0,9	0,95	1	0,95	0,9	0,7
$\cos \varphi_2$ .....	0,7	0,8	0,9	0,95	1	0,95	0,9	0,7
$\varphi_2^\circ$ .....	45,5	37	25,5	18	0	— 18	— 25,5	— 45,5
$\alpha_2 = (\psi - \varphi_2)^\circ$ .....	27	35,5	47	54,5	72,5	90,5	98	118
$\cos \alpha_2$ .....	0,89	0,813	0,68	0,58	0,3	0	— 0,14	— 0,47
$\sin \alpha_2$ .....	0,455	0,58	0,73	0,815	0,953	1	0,99	0,97
$N_{w_2}$ (MW) .....	4	4	4	4	4	4	4	4
$N_{m_2}$ (MVA <sub>m</sub> ) .....	4,1	3	1,9	1,28	0	— 1,9	— 1,28	— 0,97
$N_2$ (MVA) .....	5,7	5	4,4	4,2	4	4,2	4,4	5,7
$p = N_2/N_z$ .....	0,265	0,233	0,205	0,196	0,186	0,196	0,205	0,265
$-p_H = p \cos \alpha_2$ .....	0,236	0,189	0,14	0,114	0,056	0	— 0,029	— 0,236
$p_K = p \sin \alpha_2$ .....	0,12	0,135	0,15	0,16	0,177	0,196	0,203	0,236
$u_2 = U_2/U_1$ .....	0,5	0,7	0,809	0,847	0,92	0,98	1,008	1,037
$U_2$ (kV) .....	8,5	11,9	13,7	14,4	15,6	16,7	17,15	17,5

A keletkező komplex Joule-veszteség nagysága, valamint a transzformátorok terhelése a következőképen számítható :

wattos teljesítményveszteség .....  $n_w = 4,1 \left( \frac{N_2}{U_2} \right)^2$  MW

meddő teljesítményveszteség .....  $n_m = 12,9 \left( \frac{N_2}{U_2} \right)^2$  MVA<sub>m</sub>

cos φ <sub>2</sub> .....	Induktív					Kapacitív	
	0,7	0,8	0,9	0,95	1	0,95	0,9
<i>n<sub>w</sub></i> (MW) .....	1,85	0,72	0,426	0,35	0,27	0,26	0,273
% .....	46,2	18	10,7	8,7	6,7	6,5	6,83
<i>n<sub>m</sub></i> (MVA <sub>m</sub> ) .....	5,8	2,26	1,34	1,1	0,85	0,82	0,86
<i>N<sub>w1</sub></i> = <i>N<sub>w2</sub></i> + <i>n<sub>w</sub></i> .....	5,85	4,72	4,426	4,35	4,27	4,26	4,273
<i>N<sub>m1</sub></i> = <i>N<sub>m2</sub></i> + <i>n<sub>m</sub></i> .....	9,9	5,26	3,24	2,38	0,87	— 0,46	— 1,04
<i>N<sub>1</sub></i> (MVA) .....	11,5	7,07	5,48	4,96	4,35	4,29	4,4

IRODALOM

1. P. Sz. Zsdanov : »Usztojsivoszty elektricseszkih szisztyem«. Goszenergoizdat 1948. Magyar kiadása : »Villamos rendszerek stabilitása«. Nehézipari Kiadó, Budapest, 1951. 55. old.
2. Kovács K. Pál : »Villamosgépek üzemtana. I. Aszinkron gépek«. Tankönyvkiadó, Budapest, 1952.
3. VDE Vorschriftenbuch 0530/XII. 37. §. 15. és §. 22.
4. L. E. Nyebrat, V. N. Jasznyikov : Elektricseszkiye Sztancii 1949. évf. 6. szám 26—28. old.
5. Dr. Vajta Miklós : »Nagyfeszültségű távvezetékek újrendszerű üzeme a Szovjet-unióban«. Elektrotechnika, 1950. évf. 10. szám 308—316. old.
6. E. Kilb : «Die unsymmetrische Belastung des Drehstromnetzes durch Einphasenwechselstrombahnen 50 Hertz». Elektrische Bahnen. München 1951. évf. 10. szám, 263—267. old. és 11. szám, 285—293. old.
7. L. Fricke : V. D. I. 1952. márc. 21-i szám.
8. Dr. A. Schwaiger : »Hochspannungsleitungen« München—Berlin, R. Oldenbourg, 1931.
9. Dr. Vajta Miklós : »A váltakozóáramú villamos energiaátvitel feszültségese és vesztesége«. Nehézipari Kiadó, 1951.
10. C. F. Wagner, R. D. Evans : »Symmetrical Components«. McGraw-Hill B. C. 1933. 261. old.





# VEREBÉLY LÁSZLÓ

A műszaki tudományok doktora  
zárószava

Az elhangzott három igen értékes előadás összefoglaló képet nyújtott a nagyvasúti villamosítás 50 periódusú egyfázisú rendszeréről. Vázolta kialakulásának menetét, különféle megoldási lehetőségeit, fejlődésének jelenlegi fokát és jövő kilátásait. Hallottuk, hogy miként illeszkedik be a villamos üzem az öt-, illetőleg a tízéves terv keretében az államvasutak szervezetébe, és abban minő igen jelentékeny előnyöket biztosít mind forgalmi, mind gazdasági tekintetben. Végül elméleti és gyakorlati szempontból láttuk megvilágítva a közcélú távvezetésekről közvetlenül táplált villamosvasúti üzem terhelésének hatását az országos energiarendszerre, amelyhez — a külföldi szakirodalomban rendszerünk ellen indokolás nélkül gyakran hangoztatott kifogással ellentétben — számba vehető zavarás nélkül, mint előnyös nagyfogyasztó csatlakozik.

A kérdés e sokoldalú és alapos áttekintése alig szorul kiegészítésre, s ha ilyenre, a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Osztályának megtisztelő felszólítása alapján, rövid felszólalással mégis vállalkozom, ezt csakis azért teszem, hogy egyrészt néhány adattal még élesebben rávilágítsak úttörő tevékenységünk jelentőségére, másrészt néhány megjegyzéssel hozzájáruljak a jelenlegi helyzet megítéléséhez és ahhoz, hogy rendszerünk fejlesztésének útból elháruljanak azok az akadályok, amelyek hazai és külföldi érvényesülését eddig kedvezőtlenül befolyásolták.

Az a körülmény, hogy a Magyar Tudományos Akadémia a vasút-villamosításnak ismét a nemzetközi érdeklődés homlokterében álló kérdését éppen az 1952. évi nagygyűlés keretében tűzte ki tárgyalásra, a visszaemlékezés fényében különös jelentőséget kap.

Egy évtizeddel kell még előbbre lapoznunk az elektrotechnika történetében, mint azt Ratkovszky kartársunk tette. Csak néhány hét választ el bennünket attól a nevezetes naptól, amelyen éppen 60 esztendeje lesz annak, hogy 1892 július hó 4-én nagy ünnepélyességgel megnyitották a világ első nagyszabású villamos távvezeteki üzemét, amelyet a Ganz-gyár létesített Tivoli és Róma között. A Maecenas villája közelében levő vízesés hasznosítására épült s a világ akkori legnagyobb, 2100 Le-s vízerőművében fejlesztett, 42 periódusú egyfázisú energiát 5000 volt feszültségű távvezetéken vitték át a 26 km távol-

ságban levő Rómába, ahol ugyancsak a Ganz-gyár által már 1886-ban létesített Cerchi-i villamosmű 2000 voltos városi elosztóhálózatába táplálták. A múlt évben nemzetközileg megemlékeztek az 1891. évi Lauffen—Frankfurt-i első háromfázisú erőátvitel 60 éves jubileumáról, pedig hol marad e kiállítási kis kuriózum jelentősége egy világvárosnak teljes kötelezettséggel vállalt távvezeték-ellátása mögött. Jelentőségét mi sem bizonyítja jobban, mint hogy a legkiválóbb fizikusok és elektrotechnikusok, köztük Kelvin, Ayrton, Preece, Crooks, Swan, Crompton, Kapp, Webber, Hugues, Thompson és mások táviratban küldték üdvözlőüket a mű üzembehelyezése alkalmából. Ezért kötelességünk, hogy a mai ünnepi ülés keretén belül kiemeljük a feledés homályából ezt, a maga korában egyedülálló nagyszabású vállalkozást, amely egyúttal úttörő előfutárja volt ama milliányi lóerőket magábafoglaló energia-rendszereknek, amelyekre villamosított vasúti üzemeink jelenleg támaszkodnak.

Éppen egy évtized pergett le ezután az idő folyamán, mire a Ganz-gyár ismét merészen és úttörően lép fel, ez alkalommal a villamos vasúti vontatás terén. Amint már Ratkovszky előadásából hallottuk, éppen 50 éve annak, hogy 1902 szeptember hó 4-én, ugyancsak ünnepélyes keretek között a Valtellina vonalon átadták a nyilvános forgalomnak a világ első *nagyfeszültségű* villamos vasúti üzemét. Az olasz elektrotechnikusok Bologna-i kongresszusa megállapítja, hogy »nyilvánvaló, hogy a háromfázisú rendszer nagy diadalt aratott... és ... a gőzvontatással, mint egyenrangú fél veheti fel a küzdelmet«. Arno tanár pedig, az átvevő bizottság nevében kijelenti, hogy a »kapott eredmények valóban csó dálatra méltó haladást jelentenek«.

Ily siker kíséri, egy fél évszázaddal ezelőtt, *Kandó* első fellépését a villamos vontatás terén. Rendszere, a híres Giovi-típusú ötcsatlós »cinquanta« mozdonyon keresztül, pontosan újabb tíz év múltán elérkezik az 1912-ben megtervezett háromcsatlós »trenta« gyorsvonati mozdonyig, amely az első villamos mozdony volt az akkor még csak kísérletező Európában, amely menetrendszerűen 100 km/ó sebességgel közlekedett.

Öt évre rá megszületik az 50 periódusú fázisváltós rendszer és újabb öt év múlva, vagyis 1922 végén, már befejezéséhez közeledik az első próbamozdony.

Újabb tíz év, és éppen húsz esztendővel ezelőtt, 1932 június hó 16-án elindítjuk *Kandó* lángesze posthumus nagy alkotásának első példányát, a nevével díszített 40 001. számú villamos mozdonyunkat Bánhidáról—Almásfüzitő felé, és amidőn rákapcsoltunk, mély meghatottsággal idéztük már több mint egy évvel előbb elhunyt Mesterünk szellemét.

Húsz esztendő telt el azóta, és *Kandó* eredeti 1D1 típusú gépei minden feladatra alkalmas, kiváló egyetemes mozdonyoknak bizonyultak, amelyek teljesítőképessége az eddig támasztott követelményeknek megfelelt, üzeme megbízható, kezelése egyszerű. A szerkezeti részeken a két évtizedes, gyakran igen nehéz viszonyok között folyó üzem során, nem mutatkoztak számottevő

hibák, ezért — jelentéktelen módosításokat nem tekintve — a mozdonyok ma is olyanok, aminőnek azokat Kandó zsenialitása megalkotta.

Így jutunk el 1952-ig, napjainkig, amelyekben a Ratkovszky részéről a 30-as évek közepén megalkotott és kifejlesztett fázis- és periódusváltós rendszer alapján, a Ganz-gyárban megszerkesztett és gyártott újabb elrendezésű próbamozdonyokról kell most véleményt mondanunk és felelősséget vállalnunk azért, vajjon az ötéves terv folyamán villamosítandó vonalaink számára e mozdonyok sorozatos gyártása megkezdődhetik-e már, vagy sem.

Az első ilyen újabb elrendezésű próbamozdony közel két év óta, a második pedig félév óta van próbauzemben, amelyet azonban — sajnos — meghibásodások miatt, ismételten hosszabb-rövidebb időre meg kellett szakítani. Nem lehet tehát, de nem is szabad elkendőzni, hogy a próbamozdonyokkal nehézségeink vannak.

Nem ez a helye és alkalma annak, hogy e nehézségek okait részletezzem. Elég azt megjegyezni, hogy részben szerkezeti, részben technológiai, illetőleg gyártási természetűek. Egyes szerkezeti részletek megoldása nem szerencsés, de ezt természetesen csak az üzemi próbák deríthetik fel, amelyeknek éppen ez a célja. Technológiai téren az anyagok minősége tekintetében felmerült nehézségek okozták a legtöbb bajt. Végül, a gyártás annyiban gyakorolt kedvezőtlen befolyást, hogy a próbamozdonyok megfelelő elkészítését — benyomásom szerint — sehol sem tekintették súlyponti feladatnak. Nem realizálták kellőképpen, hogy nem szokványos munkáról, hanem egészen különleges figyelmet követelő kísérleti gépekről van szó, amelyeknek számos újszerű alkatrésze sok helyen különleges anyagokat, technológiát és gyártás-menetet igényel. Az ilyen munka nem szorítható be a terminusok és normák merev kereteibe. Elsősorban jó munkára van szükség, tekintet nélkül arra, hogy ez talán lassabban halad előre, s ezért, a normák alapján számítva, többbe kerül. Az a kár, amely népgazdaságunkat a gyártás és a próbák elhúzóadásából éri — itt különösen az úttörő magyar rendszer hírnevére és külföldi ténfoglalására gondolok — sokszorta nagyobb, mint az a kis költségtöbblet, amibe a két próbamozdony lassúbb, de gondosabb, s ezért valamivel költségesebb elkészítése került volna.

Mindez azonban, bár sajnálatos és többirányban feltétlenül sürgős orvoslást kíván, nem érinti a lényegét. A lényeg tekintetében a próbák minden szakértő előtt kétségtelenül igazolták, hogy a periódusváltós megoldás bevált. Az az irány, amelyben az 50 periódusú Kandó-féle fázisváltós rendszer korszerű továbbfejlesztését kerestük, helyes. A mozdonyok szabályozása és kezelése egyszerű, teljesítőképessége pedig mindenben megfelel a követelményeknek, sőt felül is múlja az eredetileg hozzája fűzött várakozásokat, mert a próbák tanúsága szerint lehetővé teszi, hogy ú. n. permisszív blokkban való közlekedés alkalmával — szükség esetén — sík pályán, 2233 tonna elegysúlyú vonat, egy állomásközben 15 km/ó sebességgel közlekedjék. A lényeg tekintetében tehát a végső eredményt megghiúsító hibáktól nincs mit tartanunk.

Kétségtelen azonban az is, hogy a próbamozdonyoknak számos újszerű szerkezeti része van, amelyek huzamos üzem alatti viselkedésének teljesen megnyugtató megítélésére az eddig befutott kereken 50 000 km még nem elegendő. Minthogy azonban nem elvi, hanem csak részleteket érintő és feltétlenül kiküszöbölhető hibákról van és lehet szó, vállalható a felelősség arra, hogy az Államvasút további villamosításának, az ötéves terv értelmében is szükséges mielőbbi folytatása érdekében, a sorozatgyártás — először egy kisebb számú, esetleg csak 100 km/ó legnagyobb sebességgel rendelkező, és minden felesleges újítástól mentesített szerkezetű mozdonnyal — megkezdődjék.

Tisztában kell lenni azonban azzal, hogy ha sorozatgyártásról beszélünk is, még mindig *kifejlesztési munkáról* is van szó. Kisebb-nagyobb nehézségekre és zökkenőkre, valamint bizonyos anyagi áldozatokra és fáradságtöbbletre még el kell készülni, mert ez úttörő alkotásoknál sohasem kerülhető el. Lehetséges, hogy a következő második sorozat mozdonyai, az első sorozat üzemében szerzett és az eddigi próbák eredményeit kiegészítő tapasztalatok alapján, nem lesznek teljesen azonosak az első sorozat mozdonyaival. Ez azonban a kitűzött cél elérését sokkal kevésbé fogja megnehezíteni, mint az, ha a kísérletezést csupán a már rendelkezésre álló és felderített, de a meglevő gépeken ki nem küszöbölhető tökéletlenségekkel bíró két mozdonnyal folytatjuk.

A korlátolt sorozatgyártás haladéktalan megindítása azonban nemcsak a hazai igényeket van hivatva kielégíteni, hanem elsőrendű nemzetgazdasági érdek abból a szempontból is, hogy megtarthassuk a külfölddel szemben azt az előnyt, amelyet Kandó zseniális meglátása a vasútvillamosítás terén számunkra eddig biztosított. Bármennyire is igyekeznek a régebbi villamosítási rendszerek hívei eredményeinket lebecsülni, sőt gyakran teljesen elhallgatni és mellőzni, a tárgyilagos szemlélet nem állapíthat meg mást, mint hogy döntő gazdasági és egyéb előnyei következtében a nagyvasutak villamosítására a jövőben, mint egyetlen helyes megoldás, csakis az 50 periódusú rendszer jöhet tekintetbe, amellyel, új villamosításoknál, más rendszer nem veheti fel a versenyt.

Tudjuk és hallottuk, hogy a francia vasutak nyílt és határozott állásfoglalása következtében, most már a külföldi nagy vállalatok egész sora foglalkozik, a legváltozatosabb megoldásokkal próbálkozva, 50 periódusú mozdonyok gyártásával. Hogy az üzemi tapasztalat melyik megoldásnak fogja nyújtani a babért, és hogy fog-e valamilyen egységes típus kialakulni, az egyelőre még teljesen bizonytalan. Egy azonban nem kétséges, nevezetesen az, hogy a Kandó-rendszer két alapeleme: a transzformátor nélküli szinkron fázisváltó és az egyszerű, könnyű és mégis erőteljes, nem kényes indukciós hajtómotor, illetve ezeknek az üzemben érvényesülő sajátságai: a vonali feszültségeseést minimumra csökkentő egységnyi fázistényező, az önműködő szabályozás és áramvisszanyeréses fékezés, továbbá a kényes kommutátor és a kefék százainak elmaradása, a magyar rendszernek olyan előnyöket biztosít, amelyek aligha lesznek más megoldások másféle előnyös sajátságaival kiegyenlíthetők.

A rendszer-kérdés felvetése és a század első évtizedeiben fellángolt heves rendszer-vitának felújítása, véleményem szerint teljesen meddő vállalkozás. Nincs okunk kételkedni abban, hogy azok a szakértők, akik évtizedekkel ezelőtt valamelyik, akkor rendelkezésre álló rendszer mellett foglaltak állást, az összes általános és helyi körülmények beható mérlegelésével, a maguk szempontjából indokoltan döntöttek. Természetes az is, hogy azokban az országokban, amelyekben már évtizedek előtt valamely villamosítási rendszert elfogadtak és azzal a fővonalak számottevő részét — mint pl. Németországban, Ausztriában, Svédországban, Olaszországban, Hollandiában — vagy a vasút egész hálózatát — mint pl. Svájcban — villamos üzemre alakították át, végül, de nem utolsó sorban, ahol a honi ipar az illető rendszer járműveinek sorozat-gyártására berendezkedett, ma már nem térhetnek át más rendszerre.

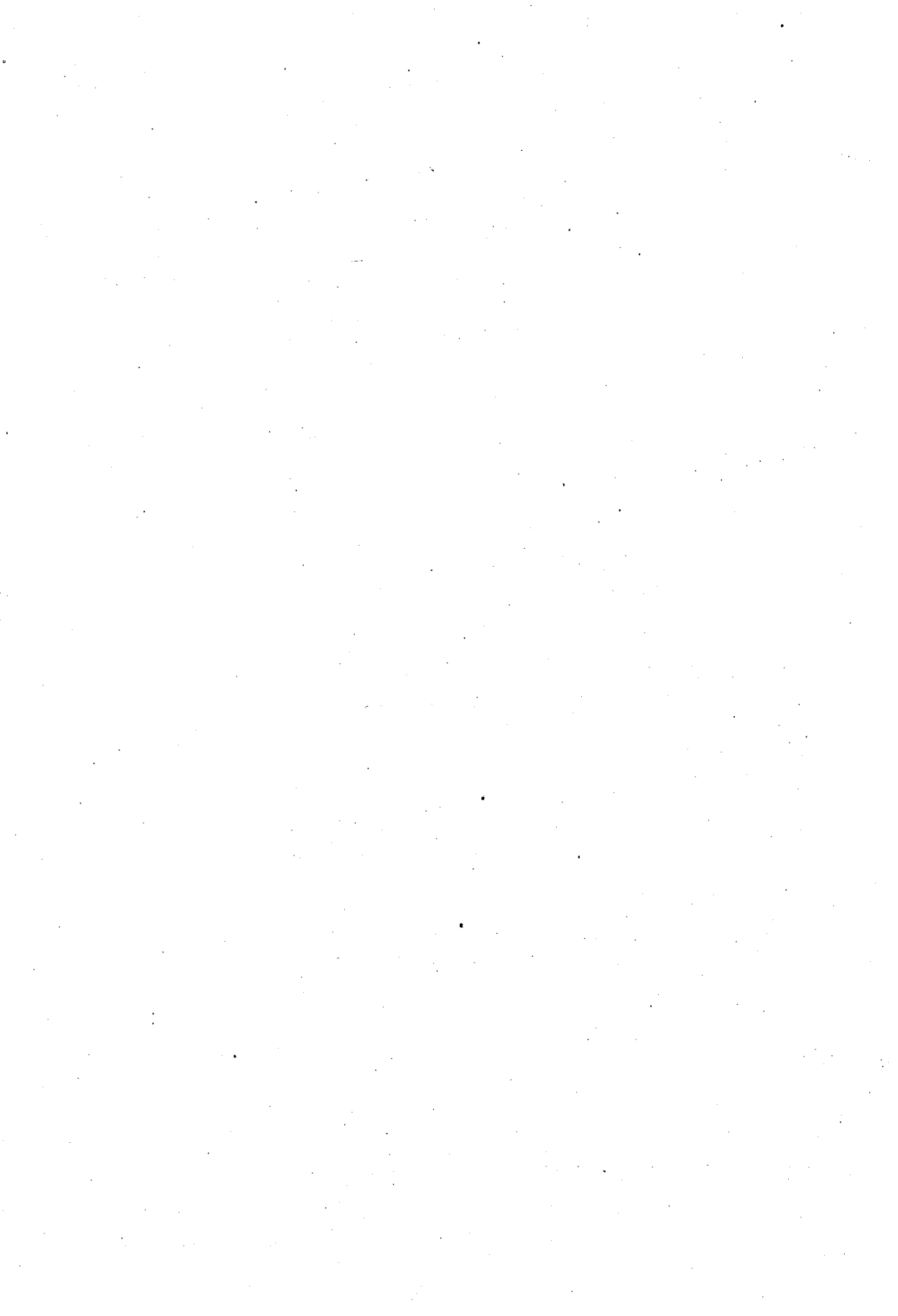
De ott, ahol ily megkötöttség még nincs, vagy ahol a forgalom mértékétől függően a villamosítás gazdaságosságának kérdése előtérbe nyomul, ott a jövő vitathatatlanul a miénk. Azé a rendszeré, amelynek nagy nemzet- és energia-gazdasági jelentőségére mi hívtuk fel először, már egy emberöltővel ezelőtt, a szakkörök figyelmét, s amelynek első, és két évtizedes nehéz üzemben bevált megoldása Kandó Kálmán nevéhez fűződik.

Kandó alkotásai túléltek azt, ami benne mulandó volt. Neve elválaszthatatlanul összeforrott a villamos nagyvasúti vontatás fejlődésének történetével, amelynek két fejezetét is az ő szellemének maradandó alkotásai töltik ki.

Ezért nekünk, tanítványainak, volt munkatársainak — de az utánunk jövő magyar mérnök-nemzedéknek is — kötelességünk, hogy az ő örökségének sikerét továbbra is biztosítsuk, rendszerét a kor követelményeinek megfelelően továbbfejlesszük, és jól kidolgozott, kifogástalanul gyártott és gyakorlatban bevált gépekkel, mindig idejében, és úgy mint eddig, másokat megelőzve, jelenjünk meg a porondon, nemcsak népgazdaságunk mérhetetlen előnyére, hanem a magyar műszaki alkotókészség és a gyáripar jó hírvének öregbítésére is.

Ha a most itt elhangzott előadásoknak sikerült e kötelességvállalás érzetét felkelteni, és az 50 periódusú villamosítási rendszer általános fölényének igazolása mellett, annak keretén belül, a periódusváltással kiegészített Kandó-féle fázisváltós megoldás sikerébe vetett bizalmat megerősíteni, s ezzel az Államvasút vonalainak mielőbbi villamosítását elősegíteni, akkor mondhatjuk, hogy a Magyar Tudományos Akadémia 1952. évi nagygyűlése keretében, a nagyvasutak 50 periódusú villamosításának szentelt tudományos ülés, a teljes siker jegyében folyt le.





## HEVESI GYULA lev. tag

bevezető szavai Verő professzor előadásához

Mielőtt a napirenden lévő kérdés tárgyalásához fognánk, néhány szóval rá kívánok mutatni arra, miért tartotta szükségesnek az Osztályvezetőség, hogy éppen ezt a témát tegye a nagygyűlés egyik központi kérdésévé. Szocialista építőmunkánk egyik sarkpontja gépgyártásunk fejlesztése, ez pedig döntő módon függ öntödei technikánk korszerűsítésétől és tökéletesítésétől. A modifikált öntés kétségkívül jelentős műszaki haladást jelent ezen a téren, amelyet feltétlenül fel kell használnunk gépiparunk előbbrevitelére. A Szovjetunió e téren végzett nagy tudományos munkája és már kiforrott üzemi tapasztalatai, de egyes hazai kezdeményezéseink is kétségkívül mutatják, hogy ez az eljárás eléggé érett arra, hogy megfelelő alkalmazást nyerjen iparunkban és jelentős műszaki és gazdasági előnyöket biztosítson számunkra. Mégis azt tapasztaljuk, hogy ez az eljárás nehezen tör magának utat az iparban, aminek nézetem szerint két főoka van :

Az első az új eljárásoktól való idegenkedés, az azok bevezetésével kapcsolatos és átmenetileg kétségkívül elkerülhetetlen nehézségek.

Ezekkel azonban bátran szembe kell néznünk, mert szocialista építőmunkánk nagyszerű lendülete lépten-nyomon megköveteli új módszerek és eljárások kidolgozását és alkalmazását. Ezen alapszik népgazdasági terveink példátlan nagyvonalúsága és fejlődésének a kapitalista viszonyok között elképzelhetetlenül gyors üteme. Az újért, a tökéletesebbért való harc a szocialista építőmunka alapvető módszere és elengedhetetlen követelménye annak is, hogy elhárítsuk az útból azokat az akadályokat, amelyekkel az ellenség igyekszik fejlődésünket fékezni. Ezt a módszert, ezt a szellemet kell megerősítenünk tudományos és műszaki értelmiségünk legszélesebb köreiben, az Akadémiától kezdve az üzemekig.

Az újért való harcnak azonban tudományosan megalapozottnak kell lennie, hogy az a műszaki gyakorlatban szükséges eredményre vezessen és ezzel kapcsolatos a *második* oka annak, hogy miért nem jutottunk eléggé előre a modifikált öntési eljárások gyakorlati megvalósításában. Nem alakult még ki ebben a kérdésben tudományos és műszaki köreinkben olyan egységes és határozott állásfoglalás, amelyre az ipar bátran építhetne, holott ilyen állásfoglalás

kialakulásához a feltételek kétségkívül megvannak. Ez a vita van hivatva arra, hogy végre tiszta helyzetet teremtsen ebben a kérdésben és világosan meghatározza a további teendőket, a modifikált öntési eljárások bevezetésének módját és kereteit illetően. Ha a kritika, amellyel a különböző nézetek ebben a vitában találkozni fognak, bátor és tárgyilagos lesz, azaz minden egyéb szempont félretéve, kizárólag szocialista építőmunkánk sikerét tartja szem előtt, ezt a célt el is fogjuk érni. Ilyen kritikai szellemet kell meghonosítanunk egész tudományos életünkben, és ezért tulajdonítunk a mai vitülésnek a napirenden lévő kérdés keretein jóval túlmenő elvi jelentőséget.

# A NAGYSZILÁRDSÁGÚ ÖNTÖTTVAS KÉSZÍTÉSÉRE IRÁNYULÓ KUTATÁSOK KRITIKAI ÖSSZEFOGLALÁSA

VERÓ JÓZSEF r. tag

Akadémiánk 1950. és 1951. évi nagygyűlésén számos szerzőnk és még több hozzászóló foglalkozott a nagyszilárdságú öntöttvassal mind az elmélet, mind a gyártás szempontjából. Annak ellenére, hogy a kormány jelentős összeget, kutató és tudományos intézeteink elég sok munkát, és kiadóink is jelentős mennyiségű papírost áldoztak a témára, gyakorlati eredmény nem nagyon van, üzemeinkben az eddigi előzményeknek úgyszólván semmi látszatja sincs. Nem állíthatjuk határozottan, hogy ebben egyedül a már elvégzett kutatómunka természete, az eddig követett irány a hibás, hiszen üzemeink elég sok nehézséggel küszködnek a jól ismert, megszokott más termelési ágakban is; új gyártási módszerek indításakor a nehézségek mindig súlyosabban érezhetők. De az is bizonyos, hogy az immár több mint két éve folyó kutatás elvezethetett volna valami gyakorlati eredményhez, valami szerény, de biztató kezdethez.

Célszerűnek látszik, ha szemlét tartunk a nagyszilárdságú öntöttvas címen összefoglalt kérdéseken, megvizsgáljuk, meddig jutottak el azok az ipari országok, amelyekben korábban, kedvezőbb körülmények között és talán céltudatosabban fogtak hozzá az idevágó feladatok megoldásához. Ezekkel össze kell hasonlítanunk a magunk munkáját és következtetésképpen — iparunknak a népgazdasági tervben rögzített fejlődését és anyagellátásunkat mérlegelve — ki kell tűznünk a jövőben követendő irányt.

Ez a célkitűzés már magában foglalja azt is, hogy nem mindenfajta nagyszilárdságú öntöttvassal kell foglalkoznom. Figyelmen kívül hagyhatom pl. a nikkellel és molibdénnel elég erősen ötvözött tús szövétű öntöttvasat; erről is esett ugyan szó a nagygyűlési előadásokban, de csak külföldi adatokra való hivatkozás alakjában, kutatásunk nem foglalkozott vele. Marad tehát két fajta, a gömbgrafitos és a lemezes grafitos módcsított öntöttvas; talán az lesz a leghelyesebb, ha előadásomban is azokhoz az arányokhoz igazodom, amelyben ezt a két témát az előadások és beszámolók tárgyalták. Elsősorban tehát a gömbgrafitos öntöttvassal kell foglalkoznom, mert az előadások is főleg erről szóltak.

Először azt a kérdést kell felvetnem, mi a gömbgrafitos öntöttvas? A közlemények sokszor csak a szakító szilárdságát, esetleg a nyúlását emelik ki, azokat a tulajdonságait, amelyek előnyösen különböznek a lemezes grafitos

öntöttvasétól. A normális öntöttvas  $25\text{--}30\text{ kg/mm}^2$  körüli szakítószilárdságát szembe szokták állítani a gömbgrafitos vasnak  $50\text{--}60\text{ kg/mm}^2$ -es, néha ennél is nagyobb szilárdságával, hozzátéve, hogy az utóbbinak még számottevő szívóssága, nyúlása is lehet. Ebből a szembeállításból a gyanútlan olvasóban valami olyan elképzelés támad, hogy az újfajta öntöttvasat kétszer olyan erősen terhelhetjük, mint a régit, ennél fogva a teherbíró keresztmetszetből, a vas térfogatából és a gyártmány súlyából a fele részt meg lehet takarítani. Látszatra a gömbgrafitos vas ezt a nagyobb terhelést még nagyobb biztonsággal is viseli, mint a régi öntöttvas a kisebbet, mert hiszen a szívóssága, nyúlása védi a töréstől.

A dolog azonban nem ennyire egyszerű. Gépeink méretezésénél nem az az egyetlen szempont, hogy használat közben ne törjenek el, sőt a vezető elv inkább az, hogy egyetlen géprész vagy más szerkezeti elem a ráható igénybevétel alatt az alakját maradandóan nem változtathatja meg. Ebben a tekintetben pedig nem a szerkezeti anyag szilárdsága, hanem a maradó alakváltozást okozó feszültség nagysága, a rugalmassági határ, vagy a helyette gyakran használt folyási határ,  $0,2\%$ -os határ a döntő.

A lemezes grafitos öntöttvasat főleg nyomásra szoktuk igénybevenni, mert a nyomószilárdsága  $3\text{--}4$ -szer akkora, mint a szakítószilárdsága. Tudvalévő, hogy a közönséges öntöttvas húzóigénybevétel alatt maradó alakváltozás nélkül szakad, nyomókísérletnél is csak a szilárdságát megközelítő feszültség okoz valamelyes alakváltozást. Öntöttvasra nézve a szilárdság megközelítően a rugalmasság, illetve a terhelhetőség határát is jelenti. Lemezes grafitos öntöttvasban a tervező ennél fogva akár  $50\text{--}60\text{ kg/mm}^2$  nyomófeszültséget, de csak  $15\text{--}20\text{ kg/mm}^2$  húzófeszültséget engedhetne meg. A valóságban a megengedett feszültség ezeknél a számoknál kisebb, mert a törés veszélyének távol tartása az öntvényben lehetséges anyaghibák miatt azt tanácsolja. Rideg anyag lévén, az előre nem látott lökések elleni biztosításképpen szintén csak kisebb igénybevétel alkalmazása ajánlatos. Végeredményben tehát a lemezes grafitos öntöttvas csak gazdaságtalanul használható húzásra igénybevett szerkezeti elem anyagaként, nyomásra igénybevett részekben pedig jól kihasználható.

A gömbgrafitos öntöttvas szakítószilárdsága  $50\text{--}70\text{ kg/mm}^2$ , nyomószilárdsága kereken háromszor ekkora; a kétféle szám tehát ugyanazt az arányt mutatja, mint a lemezes grafitos öntöttvasnál. Viszont a gömbgrafitos öntöttvas még a szilárdság elérése előtt maradó alakváltozást is mutat, különösen nyomókísérletben. Arányossági határa  $22\text{--}25\text{ kg/mm}^2$ , folyási határa — ha jelentkezik — megközelíti a  $40\text{ kg/mm}^2$ -t, mégpedig a szakító- és nyomókísérletben egyaránt. Terhelhetőségének határát ezek a számok rögzítik. A gömbgrafitos öntöttvasat eszerint nem terhelhetjük erősebben, mint a lemezes grafitosat. Keresztmetszetben és súlyban tehát semmit, vagy csak nagyon keveset takaríthatunk meg, ha ugyanúgy nyomásra vesszük igénybe, mint a régi öntöttvasat. A gömbgrafitos öntöttvas ennél fogva nem helyettesítheti a régi öntöttvasat, ha ettől az egyszerű helyettesítéstől gazdasági előnyt is várunk.



Új azonban, hogy a gömbgrafitos öntöttvas biztosan visel ugyanakkora húzóigénybevételt is, mint amekkora nyomással terhelhető; a lemezes grafitos öntöttvas csak jelentéktelen húzóerővel terhelhető. A gömbgrafitos öntöttvasnak ez a sajátsága jelöli ki felhasználásának előrelátható határát: ahol eddig a lemezes grafitos öntöttvasnak húzással való gyenge terhelhetősége miatt kénytelenek voltunk drágább anyagot és költségesebb gyártó módszert használni — öntött, esetleg kovácsolt acélt — még akkor is, ha annak teherbírását teljesen kihasználnunk nem lehetett, ott lesz a gömbgrafitos öntöttvas legelső alkalmazási területe. Ebben a megállapításban a kétféle öntöttvasnak csak a legfontosabb szilárdsági tulajdonságait tartottuk szem előtt. Már ez a megállapítás is arra mutat, hogy a gömbgrafitos öntöttvas még szilárdság tekintetében sem nevezhető egyszerűen az eddiginél nagyobb szilárdságú öntöttvasnak, hanem valami a régi öntöttvas és az acél közé beilleszkedő egészen újszerű anyagnak.

Ugyanerre a következtetésre jutunk akkor is, ha a gömbgrafitos öntöttvasnak egyéb mechanikai tulajdonságait vesszük szemügyre; laboratóriumi mérések nyomán ezeket most már elég részletesen ismerjük. Nem akarom teljes részletességgel felsorolni és összehasonlítani a kétféle öntöttvasnak összes tulajdonságait, hiszen bármelyik tulajdonságukat tekintjük is egymagában, ugyanúgy helytelen irányba tévedhetünk, mint a szakítószilárdság alapján. Abból, hogy a gömbgrafitos öntöttvas kopása kedvező körülmények között, jó kenés mellett csak kétharmad akkora, mint az egyébként hozzá hasonló, de lemezes grafitos vasé, nem szabad azt a következtetést levonnunk, hogy minden kopásnak alávetett vasöntvényt gömbgrafitos vasból lesz célszerű öntenünk.

Géprészek és egyéb szerkezeti elemek alakváltozása csak rugalmas lehet, ezért főleg a rugalmas alakváltozás nagyságát és az ismétlődő igénybevétel következményeit kell szemügyre vennünk. A közönséges öntöttvas rugalmassági modulusza 8—12 000 kg/mm<sup>2</sup>, a gömbgrafitosé 16—18 000 kg/mm<sup>2</sup> [2]; ebben a tekintetben is inkább az acélhoz hasonlít, mint az öntöttvashoz. A kifáradás határát a szakítószilárdság 0,34—0,45 részének találták; ez a viszonyszám lényegében megegyezik a jóminőségű, lemezes grafitos öntöttvasra is érvényes viszonyszámmal, de természetesen a gömbgrafitos vas nagyobb szakítószilárdsága miatt annak kifáradási határa számszerűen jóval meghaladja a régi öntöttvas kifáradási határát, azonban az acélét nem éri el. Meg kell említeni, bár erről csak a [3] közlemény számolt be, hogy a gömbgrafitos öntöttvas sokkal kevésbé érzékeny a bemetszésre, mint akár a közönséges öntöttvas, akár az acél; bemetszett próbatesten a gömbgrafitos öntöttvasnak nagyobb a kifáradási határa, mint számos acélfajtának. Ilyen alakú darabokban tehát az acélt helyettesítheti.

Sokszor emlegetett értékes tulajdonsága a lemezes grafitos vasnak a rezgéscsillapító képessége, bár a szerkesztők még nem sokat kezdhetnek vele. A lemezes grafitos öntöttvas relatív csillapítóképesége [2] szerint — 20—30.10<sup>-4</sup>;

a gömbgrafitos vasnak ugyanez az értéke csekély szórással  $5 \cdot 10^{-4}$ , a közönsége-sebb acélfajtáké összetételük és szövetük szerint  $2-10 \cdot 10^{-4}$ . Ezek a számok azt árulják el, hogy lemezes grafitos öntöttvasban 450–700, gömbgrafitos vasban 3000, acélban pedig 7000–1500 rezgés után annak amplitudója felére csökken. Ebből a szempontból a gömbgrafitos vas kétségtelenül az acélfajták közé sorozható.

Abból a néhány, de a véleményem szerint jellegzetes számadatból, amelyet a fentiekben felsoroltam, az derül ki, hogy a gömbgrafitos öntöttvasnak nevezett anyag csak az összetétele és a gyártásmódja tekintetében öntöttvas, a tulajdonságai szempontjából inkább acél. Az egyelőre mellékes, hogy mint nyersanyag a közönséges öntöttvasnál drágább, az acél tulajdonságait pedig nem minden tekintetben éri el. Összetétele, önthetősége és mechanikai tulajdonságai lehetővé teszik, hogy öntéssel, olcsó módszerrel olyan gyártmányokat készítsünk, amilyeneket eddig kénytelenek voltunk drágább módszerrel, kovácsolással készíteni. Minthogy pedig a tulajdonságai sem a régi öntöttvasával, sem pedig valami már használatos acélfajtáéval nem egyeznek meg teljesen, voltaképpen új anyagfajta van a kezünkben. Új anyagnak célszerű, helyes alkalmazási területét pedig csak alapos kísérletek, kísérleti gyártás és gyakorlati kipróbálás nyomán állapíthatjuk meg. A legelső teendő mindenképpen az új anyag gyártásának alapos megismerése, megtanulása.

*Donoho*, a magnéziummal való ötvözés kezdeményezője, 10–20% magnézium tartalmú segédötvözeteket használt már első kísérleteinél is. Közülük legmegfelelőbbnek a nikkell-magnézium segédötvözet bizonyult. Ezzel a megállapítással az egész módszer a nagy nikkelltröszt, a Mond Nickel Co. érdeklődési körébe került, amely a nagy kutatólaboratóriumában rövid idő alatt gyakorlatilag használható módszerre fejlesztette. Amerikában és Nyugaton csak a nikkell-magnézium segédötvözzel való kezelés használatos. A múlt év közepe-táján vagy egy tucat országban kereken 300 öntőmű dolgozott a Mond-licencia alapján. Az Egyesült Államokban a múlt évben 50 000 t gömbgrafitos öntvény készült a Donoho-Mond-módszerrel.

Az 1951 szeptemberében Brüsszelben tartott Nemzetközi Öntődei Kongresszuson elhangzott francia, belga, angol és olasz beszámolók szerint [4] Európában nyersen 56, izzított állapotban 42 kg/mm<sup>2</sup> szakítószilárdságú fajta készül. Nyersen a nyúlás minimuma 2%, lágýítva 12%.

Kísérleti beszámolók és üzemi ismertetések egyöntetűen megállapítják, hogy a nikkeles segédötvözet adja a legegységesebb eredményeket, a legnagyobb találati biztonságot. Egy nagyobb összehasonlító kísérletsorozat alapján már 1950-ben leírták [5], hogy 80–20-as nikkellmagnézium ötvözzel elektrokemencében olvasztott vasat, de kupolóvasat is sikerrel és gazdaságosan tudnak kezelni. Réz-magnézium ötvözzel már a kupolóvas kezelése nem volt biztos sikerű, a 7 és 9%-os magnézium-tartalmú, ferroszilíciumos ötvözzel való kezelés eredménye pedig bizonytalan, nem reprodukálható volt.

Mi magyarok valószínűen nem leszünk a Mond Nickel Co. ügyfelei; de azok a tapasztalatok, amelyeket a nyugati öntőművek szereztek és közöltek számunkra így is hasznosak lehetnek. A kezelendő öntöttvasat illetően főleg annak kéntartalmára ügyelnek, mert a segédötvözet mennyiségével, tehát a kezelés költségével hozzá kell igazodni. A kéntartalom felső határát általában 0,1%-ban szabják meg, hozzátéve, hogy a kupolóban olvasztott 0,12% kéntartalmú vas még gazdaságosan kezelhető. További kikötés, hogy a kész ötvözet Si-tartalma 1,9—2,0%-nál ne legyen több; ez nyilván a nyúlás és az ütőmunka érdekében kívánatos. A foszfortartalom 0,05—0,2, a mangántartalom pedig 0,4—0,5% legyen.

A kezelés részleteiről, a vas hőmérsékleteiről, a segédötvözet adagolásának módjáról alig közölnek valamit; azt megemlítik, hogy a segédötvözetet gondosan kell adagolni és a kelletténél jobban lehűlt vasból, vagy fölös mennyiségű oltóanyag adagolása folytán szivacsos öntvényt kapnak.

A magnéziummal kezelt vas folyékonysága legalább olyan, mint az alapanyagé. annak ellenére, hogy a kezelés közben lehűl. Zsugorodására 0,7%-ot számítanak. A formázás módja inkább az acélöntőműben szokásoshoz hasonlít, mint a vasöntőműéhez. Az öntvények a formában teljesen lehűlnek, közvetlenül utána 500-on való feszültségtelenítés következik; az izzítás ideje egy óra és 25 mm falvastagságonként még egy óra. A lágyítást 850°-on 1—3 óráig tartó izzítással végzik; erről a hőfokról 2—3 óra alatt hűtik az öntvényeket kevéssel az  $A_1$  átalakulás hőmérséklete alá, kb. 750°-ra, majd ezen a hőfokon 5—8 óra hosszat tartják azokat. Nagyon fontos a vasnak állandó tisztántartása; a segédötvözet bekeverése után a felszálló salakot gondosan lehúzzák, teáskannaszerű üstöt használnak, a forma csatornarendszerében is salakfogó szükséges.

Az eddig elvégzett kísérletek és üzemi adatok alapján a gömbgrafitos öntöttvas fontosabb alkalmazási területeit a következőkben látják [6]:

belső nyomásra igénybevett öntvények (pl. szelepház);

nagy folyási határú és némileg szívós géprészek (főleg mezőgazdasági és útépítő gépek részei);

kopásnak alávetett részek (dugattyúgyűrű, hengerbélés, ekevas, exkavátor szerszámok, szénecsúza, bányagéprészek);

kifáradásra igénybevett géprészek (forgattyútengely);

hőállóság duzzadás nélkül (kemenceajtó, rostély).

Látnivaló a felsorolásból, hogy többnyire acél vagy bronz helyettesítésére használható.

A Szovjetunió a gömbgrafitos öntöttvas készítése tekintetében, a Mond-eljárást figyelmen kívül hagyva, a maga útján járt. Új módszert dolgozott ki a magnéziumnak az öntöttvasba való bevitelére. A 28—38 kg/mm<sup>2</sup> szakítószilárdságú módosított öntöttvas ott már régóta használatos, 1944 óta erre nézve szabvány is van (GOSzT 2611—44). A gömbgrafitos öntöttvasra vonatkozó

szabványuk még nincsen, nyilván nem tekintik még elég érettnek, bár az öntőműveik már 1949-ben megkapták a gömbgrafitos öntöttvas-készítés kikísérletezett módszerének leírását.

Ezt a módszert a CNITMAS-ban *B. Sz. Miljman* [7] dolgozta ki; leírása elég részletesen megtalálható *P. N. Akszenov*-nak a Nehézipari Könyvkiadónál nemrégiben magyar fordításban is megjelent könyvében [8], úgyhogy nem szükséges teljes részletességgel ismertetnem.

Észerint a szovjet öntőművek az öntöttvas kezelését színmagnéziummal vagy 88—94% Mg tartalmú elektronnal végzik. A vas kéntartalma legfeljebb 0,14% lehet, tehát kupolából csapolható, bár előnyösnek mondják a villamos kemencében való olvasztást, tekintve, hogy ebben nagyobb hőmérséklet érhető el. Az adagolandó magnézium mennyisége a falvastagság szerint 0,3—1%, elektron használatokor ennél valamivel több. Az utasítás pontosan közli a különböző falvastagságú öntvények alapanyagának összetételét, a magnézium és a beoltó 75%-os ferroszilícium mennyiségét, valamint a kész öntvény összetételét; az üstbe juttatandó anyagok a vas Si-tartalmát 0,3—0,4%-kal növelik.

A magnézium adagolását buktató haranggal végzik; a színmagnéziumot vagy elektront rúd alakjában rakják a harangba, aztán annak száját vékony, lyukasztott vaslemezzel zárják el, amelyet a lyukakon átfűzött dróttal erősítenek a haranghoz. Az üst legfeljebb háromnegyedéig legyen tele, a vas tükre a magnézium bejuttatása előtt a salaktól gondosan megtisztítandó. Kezelés közben az üstöt zárt fülkébe állítják, vagy alkalmas lemezfedéllel takarják le; ez egyrészt a szétfreccsenő vas ellen védi az embereket, másrészt meg eltakarja a vakító magnéziumlángot. A harangot hirtelen kell benyomni a fürdőbe és benne tartani, amíg a magnéziumgőz fejlődése véget nem ért; az egész kezelés 2—4 percig tart az üst nagysága szerint. A salak letakarítása után kb. 5 mm szemnagyságú 75%-os ferroszilíciummal való beoltás következik. A beoltás hatása 10—15 percig érvényesül, ennyi idő alatt az öntést be kell fejezni.

Az így készült öntvények szakítószilárdsága 45—65 kg/mm<sup>2</sup>, nyúlásuk 1—3%; a hajlítószilárdság 70—120 kg/mm<sup>2</sup>. A szilárdság alsó határértéke tehát kisebb a nikkelt-magnézium-segédötívözettel készült öntvényeknek 50 kg/mm<sup>2</sup>-et meghaladó szakítószilárdságánál, ami nyilván az 1—1,5%-nyi nikkelt hiányának következménye. A szovjet ipar temperöntvény, acélöntvény, de akárhányszor kovácsolt acél helyettesítésére használja.

Termelési adatokkal nem találkoztam; feltehető, hogy a módszert 1950-ben számos öntőműben kipróbálták, 1951-ben kísérleti öntvényeket öntöttek, és talán még folyik ezeknek gyakorlati kipróbálása. Talán már ebben az évben, esetleg csak jövőre megkezdődhetik a rendszeres gyártás is.

Említésreméltó, hogy Nyugaton most kezdenek foglalkozni a színmagnéziummal való kezeléssel; ennek a törekvésnek első jeleként Piwowarsky ez év márciusában az Aachen-i öntő-kollokviumon tartott erről a témáról előadást [9].

A színmagnéziumot használó szovjet módszernek nyilvánvaló előnyei a következők. A magnéziummal semmiféle egyéb ötvözőanyag nem kerül az öntöttvasba, annak összetételét ennél fogva teljesen szabadon, a célnak legmegfelelőbbben, a falvastagság és az elérendő szilárdság megkívánta módon választhatjuk. Bár a szín-magnéziummal való kezeléskor *Akszenov* szerint a hatásfok 5–10%, a nikkeles segédötvözet használatakor pedig 20–25%, a magnézium kihasználása egészben véve alig lesz gyengébb, hiszen segédötvözetet nem kell készíteni, már pedig annak megolvasztása is magnézium veszteséggel jár. Nagyon lényeges előnye a szovjet módszernek metallurgiaiszempontból az, hogy kezelés közben a vas kevésbé hűl le, hiszen sokkal kisebb oltóanyag mennyiséget kell a vas melegével megolvasztani (a segédötvözet mennyiségének 10–20%-ára rúgó színmagnéziumot). Ez a kisebb mennyiségű oltóanyag gyorsabban is szétoszlik a vasban, ezalatt a sugárzási veszteség is kisebb.

A külföldi előzményeknek és eredményeknek az 1951. évvégi állapot szerinti ismeretében most már rátérhetek a magyarországi kutatómunka értékelésére. Ez a munka még 1949-ben kezdődött, komoly méretekben pedig 1950-ben és 1951-ben folyt. Az első kísérletek *Morrogh* és *Donoho* módszerének utánzásaként ceriummal, illetve réz-magnézium és nikkelt-magnézium segédötvözzel történtek. Újszerű, vagy az ipar számára jelentős eredményt ezek a kísérletek nem is hozhattak, egyes elvi kérdések tisztázására szánták őket. Hamarosan abba is maradtak, mert nem sok értelme volt olyan módszerekkel kísérletezni, amelyeket nyersanyaghelyzetünk miatt a gyakorlatba átültetni úgysem sikerülhet.

Az első próbálkozások után kezdődött olyan segédötvözet keresése, amelyet üzemünk nagyobb mennyiségben használhatnánk; ezeknek a kísérleteknek megokolásaképpen [10] az Akadémia 1950. évi nagygyűlésén az a megállapítás hangzott el, hogy a »magnéziumot közvetlenül a vasba belevinni nem lehet, miután 1100°-nál szilárd állapotból rögtön gáznemű állapotba megy át, tehát robbanásszerű jelenség áll elő«. (Öntöde, 1951. febr. 28. o.) A fentiekben ismertetett szovjet módszer világos cáfolata ennek a megállapításnak.

Csak röviden említem meg, hogy Hajtó Nándor ólom-magnézium segédötvözzel kísérletezett; ötvözetével a MÁVAG-ban üzemi próbát is végeztek biztatónak látszó eredménnyel. (Öntöde, 1951. máj. 99. o.) Kísérleteinek az volt az érdekessége, hogy az ólom a vasból nyomtalanul eltűnt, a magnéziumot tehát az alapanyag összetételének megváltoztatása nélkül sikerült bejuttatnia. Ezek a kísérletek is abbamaradtak, mert ólomra ilyen célból számítani nem lehetett. [11]

1950 februárjában a Vasipari Kutató Intézet ferroszilícium-magnézium segédötvözzel kezdett kísérletezni; néha még rezes és alumíniumot is ötvöztek bele. A kísérleti program a segédötvözet olvasztásának és a gömbszilikos öntöttvas üzemi készítésének megoldását ölelte fel [12, 13].

A kísérletek első, nagyobb része 10% magnézium, 10% réz és 80% ferroszilícium (75%-os) összetételű segédötvözzel folyt. Ennek a segédötvözetnek



olvasztásáról, annak anyagfelhasználási és költség oldaláról a vonatkozó közlemények és beszámolók úgyszólván semmi adatot sem közölnek. A választott összetételt illetően mindenesetre felmerül a kérdés, szükséges volt-e beletenni a 10% rezet és nem lett volna-e helyesebb kisebb szilícium-tartalmú ferroszilíciumot használni. Az adott összetételű segédötvözetnek majdnem 0,6 része szilícium; az öntöttvasba legalább 0,5% magnéziumot, azaz 5% segédötvözetet kell belekeverni, ezzel aztán legalább  $0,6 \cdot 5 = 3\%$  Si is kerül az öntöttvasba. Az öntvény szívósságának ez nem válhatik javára. Egy pillantás a Fe-Si diagramra arról győz meg, hogy a 45%-os ferroszilícium 1200°-on, a 75%-os pedig 1300°-on túl olvad meg: az előbbi minőséggel a nehézségek valószínűen kisebbek lettek volna, a rezet pedig egészen ki lehetett volna hagyni.

Sokkal részletesebb a 20% magnézium tartalmú segédötvözetfajták készítésének leírása (Vasipari Kutató Intézet 1951. évi jelentése, III); megtaláljuk benne számos adagnak a bemérési adatait, valamint a kész segédötvözet összetételét és azt, hogy mennyire sikerült a beolvasztás. Sajnálatos módon hiányzik a kihozatal nagysága, amelyből az olvasztási veszteség könnyen megítélhető lenne. Az elemzési adatokból erre nem lehet következtetni, annál kevésbbé, mert köztük elég sok valószínűtlennek látszó adatot találunk. Számos kész segédötvözet nemcsak rézből, hanem magnéziumból is többet tartalmaz, mint amennyi a bemérés volt; a réznél, valamint a nem egészen beolvadt adagoknál ez még csak elfogadható, de már teljesen beolvadt adag nem tartalmazhat több magnéziumot, mint amennyit bemértek. Tudvalevő, hogy a magnézium könnyen oxidálódik, a szóbanforgó segédötvözet olvadáspontján pedig már illan, még akkor is, ha megfelelő módon történik az olvasztás. A Vasipari Kutató módszere viszont nem mondható megfelelőnek; tégelybe rakott magnéziumot, rezet és ferroszilíciumot vastag konyhasótakaró alatt csak nagy magnéziumvesztéssel lehet összeolvasztani; a magnézium 650°-on, a konyhasó, 800°-on olvad. A magnézium tehát egyideig elég erősen túlhevített állapotban úgyszólván védtelenül oxidálódhatott. A magnézium olvasztásának módja, az alkalmas fedősók régóta ismertek, a receptjüket nem is olyan nehéz megtalálni.

A gömbgrafitos öntvények készítésére irányuló főkísérletek részben a Kutató Intézetben, részben üzemben történtek; főcéljuk az volt, hogy megállapítsák azokat a feltételeket, amelyek között üzemben gömbgrafitos szövetű és kellő szilárdságú öntvényt kaphatunk; további cél kellő számú gömbgrafitos öntvénynek a gyakorlati kipróbálás számára való készítése volt. [11, 12, 13.]

Ezeknek a kísérleteknek sikerességét az elért eredmények tükrében a következőképpen látjuk. A MÁVAG-ban végzett üzemi kísérletek során elért szakítószilárdság (Öntöde, 1951. máj.) 20 és 60 kg/mm<sup>2</sup> közt változott; az összes értékek átlaga 39,5 kg/mm<sup>2</sup>. A 20 érték közül 5 haladja meg a gömbgrafitos vasra nézve minimumnak tekinthető 45 kg/mm<sup>2</sup>-t. A 10%-os segédötvözetrel készült néhány laboratóriumi adag szakítószilárdsága 22–30 kg/mm<sup>2</sup>, a 20%-os segédötvözetrel készült 39 adagé pedig 15–49 kg/mm<sup>2</sup> volt. A labo-

ratóriumi eredmények között egyetlen egy volt 45 kg/mm<sup>2</sup>-nél nagyobb, átlagos értékük kerekén 30 kg/mm<sup>2</sup>. A felsorolásból kitűnik, hogy az üzemi eredmények lényegesen jobbak a laboratóriumbeliéknél. Nyúlást csak az üzemi kísérleteket ismertető közlemény említi, öntött állapotban 1—3%-ot, izzítás után 1—2%-ot, egyetlen 5%-os értéket; az utóbbi az ólmos segédötvözettel készült öntvényre vonatkozik.

Szokatlannak tűnhetik, hogy kísérletcsoportok átlagos eredményeit használtam fel a jellemzésre, bár az egyes kísérletek nem voltak egyformák, hanem magnézium, vagy a beoltó ferroszilícium mennyiségének változtatásával történtek. Nem egészen helyes ilyen kísérletek átlagos eredményét kiszámítani. Mégis így kellett tennem, hogy egy fontos szempontra, a kísérletek során elért előrehaladásra következtethessünk. A 20%-os segédötvözettel végzett kísérletek időben későbbiek, mint a többiek; ezeknek a kísérleteknek jobb eredményt kellett volna adniuk a korábbiaknál, hogy fejlődésről beszélhessünk. A felsorolás szerint ezt nem látjuk.

Fejlődés lett volna az is, ha a kísérletek során a kezdeti bizonytalanságot, az eredmények szórását csökkenteni sikerült volna. Ez arra mutatna, hogy a munka során a hibaforrásokat fokozatosan feltárták és tervszerű, céltudatos munkával ártalmatlanná tették. A legkésőbbi kísérletek során öntött próbatetek között feltűnően sok zárványos, gyenge szilárdságú van, 39 öntvény között legalább 45 kg/mm<sup>2</sup> szilárdságú azonban csak egy. Ilyen kísérletek fejlődésre nem mutatnak, de azonkívül céljukat egészen eltévesztik, mert belőlük következtetni semmire sem lehet.

Ilyen szempontból nézve a kísérleteket és beszámolókat, azokat lényegében meddőnek mondhatjuk, akkor is, ha az apróbb részleteiket nem nagyon vizsgáljuk. Említést érdemlő részletkérdés a magnézium bevitelének hatásfoka. A 10%-os segédötvözetből az egyik jelentés szerint az adagolt magnézium 10%-a maradt a kész öntvényben, a 20%-os segédötvözettel végzett kísérletek során azonban legtöbbször csak 2%, annak ellenére, hogy ezekhez a kísérletekhez kémben szegény, harmadrészben kéntelenített saját hulladékból és harmadrészben acélból készült betétet használtak. Ez a hatásfok az adagolás módjának megváltoztatásával sem volt megjavítható. 20%-os segédötvözet használatakor ennél fogva az öntvényben megkívánt magnézium mennyiségének 50-szeresét kell számítani, a segédötvözet mennyisége pedig a végső Mg-tartalomnak 250-szerese. Az öntvényben szükséges Mg-tartalom 0,06—0,08% lévén, 15—20% segédötvözetet kell az üstben lévő vasban feloldani. A 10%-os segédötvözetből viszont 10% hatásfokkal számolva, 6—8% segédötvözet elegendő. 15—20% segédötvözet alig sikerülhet üstben lévő vasban, annak befagyasztása nélkül feloldani; arról nem is szólok, hogy a segédötvözettel bevitt 6—8% szilícium sem válnék javára az öntvénynek. A 20%-os segédötvözet tehát semmikép sem mondható fejlődésnek a régebbi kísérletekhez képest,

ezt a következtetést azonban a beszámoló egy szóval sem említi. A végső következtetésnek szavakba foglalása egyébként mindenütt hiányzik.

Valószínűen minden üzemi szakember szükségét érezné, hogy felvessen sokféle kérdést, amelyekre választ a beszámolóban nem talált. Sok lényeges részlet hiányzik a kísérletek ismertetéséből, amelyeket ismerni kellene, amikor üzemben kell gömbszilikos öntvényt készíteni. Láttuk öntvények képét és hallottuk, hogy kipróbálásra kerültek; arról azonban, hogy voltak-e nehézségek a kezelés és öntés körül, hogy miként viselkedtek az öntvények lehűlés és tisztítás közben, volt-e valami különleges ok, amely selejtet, repedést okozott és hasonló megfigyelésekről egy szó sem esik. Az esetleges nehézségeket kár elhallgatni, mert ezek ismerete éppúgy szükséges a megítéléshez, mint az előnyöké. Azt senki sem várja, hogy kísérletezés közben csak olyan mértékű hibák jelentkeznek, mint már rendszeres gyártás közben, de ha a kísérleti stádiumban leküzdhetetlennek látszó nehézségek mutatkoznak, akkor az üzemi alkalmazásból nem várhatunk sokat. A ferroszilikiumos segédöntvözetekkel végzett kísérletekből efféle kell következtetnünk.

\*

A módosított, de lemezes grafitos öntöttvasra vonatkozó kutatást a Vasipari Kutató Intézet végezte, a legutóbbi időben már üzemek is foglalkoztak vele. Az utóbbiakról nemrégiben *Hargitai* kartásunk számolt be előadásában, a Vasipari Kutató Intézet kísérleteiről szintén előadást hallottunk, a részletes beszámolót pedig az Intézet évi jelentése foglalja magában.

A kutatóintézet jelentése a következő kísérletsorozatokat ismerteti [13]: az adagkocsz súlyának 12–25% közt való változtatásának hatása a kupoló járatára és teljesítményére,

az adag összeállításának és az oltóanyag mennyiségének hatása a 30 mm átmérőjű öntvény szilárdságára (az adagban a kovácsvas mennyisége 10–60% közt, az oltóanyag mennyisége 0,2–1,2% közt változott),

a beoltástól az öntésig eltelt idő hatása a szilárdságra, magnéziumtartalmú oltóanyaggal elérhető kéntelenedés és minőségjavulás megállapítása.

Felmerült bennem a kérdés, valóban szükség volt-e nagyszabású kísérletezésre a felsorolt részletek tisztázása végett. Azt pl. hogy a kokszadag szaporítása nem növeli a kupoló teljesítményét és a csapolási hőfokot sem javítja, ma már alig kell kísérlettel igazolni. A szovjet gyártási utasítások közlik a négyféle szabványos módosított vasfajta adagjának összetételét, az adagolandó acél mennyiségét, az oltóanyag minőségét, szemmagyságát és mennyiségét, mindezt a falvastagság figyelembevételével, ezenkívül a megkívánt csapolási hőfokot, az oltóanyag adagolásának módját [14, 15, de 8 is]. Ezekhez a pontosan kidolgozott és már üzemben is évek óta bevált előírásokhoz nekünk hozzátenni valónk alig lehet. A ferroszilikiummal végzett beoltó kísérletek

újat nem hozhattak, nem is hoztak, tehát legfeljebb a másutt már elvégzett kísérletek utánzásának tekinthetők.

Mint utánzás sem nagyon sikerültek. Így pl. csak egyféle méretű kísérleti öntvény készült, 30 mm átmérőjű hengeres rúd, a falvastagsággal változó lehülési sebesség hatása teljesen figyelmen kívül maradt; a ferroszilíciummal való beoltásnak éppen ebben a tekintetben nagyon értékes következménye van: kiegyenlíti a különböző falvastagságú öntvényrészekben egyébként létrejövő szöveti különbséget, megkönnyíti a falvastagság különbözőségeiből származó nehézségek kiküszöbölését.

Más, magyar szempontból fontos kérdések megvizsgálása is elmaradt; minden szovjet előírás kiemeli a kellően nagy, 1380–1420°-os csapolási hőmérséklet szükségességét. Magyarországon kupolókemencében jelenleg ezt a hőmérsékletet alig lehet elérni, a sikeres módosításnak alapvető feltétele tehát, hogy a forró olvasztást lehetővé tegyünk. A szovjet dokumentáció birtokában egyebet talán nem is kellett volna kutatni, csak azt, hogy ennek a feltételnek hogyan tudnánk eleget tenni. A kísérletekből vonható következtetéseknek szóba való foglalása általában itt is hiányzik. Egyetlen megállapítás, hogy a 30% acéllal készült adagok a legjobbak. Ez megint nem új, mert a vonatkozó szovjet előírás a négy szabványos módosított öntvényfajta közül kettőhöz 20–30%, a másik kettőhöz pedig 30–45% acél adagolását javasolja. A többi következtetést már az olvasónak kell a kísérletek leírásának szánt számtömegeből levonnia, amit könnyű feladatnak nem mondhatok. Az egyes kísérletsorozatok adatai ugyanis többnyire nem mutatnak felismerhető irányzatot. A legjobb eredményt adó adagösszeállításnál pl. az oltóanyag mennyiségének 0 és 1,2% közt való változtatása közben a szilárdság az egyik kísérletsorozatban egészen rendszertelenül változott, két másik sorozatban pedig lényegében állandó volt (l. az I. táblázatot). Ilyen eredmények alapján nem tudnám megjelölni az oltóanyag helyes mennyiségét.

1. TÁBLÁZAT  
Ferroszilíciummal való beoltási kísérletek

Kísérlet száma	Oltóanyag mennyisége %	Szakítószilárdság az		
		I.	II.	III.
		kísérletsorozatban kg/mm <sup>2</sup>		
84,124,32A .....	0	25,5	25,8	30,4
85,125,33A .....	0,2	36,3	23,3	31,0
92,136,34A .....	0,4	10,8	29,3	31,5
35A .....	0,6	—	—	31,0
91,127,36A .....	0,8	23,7	26,7	31,4
90,128 .....	1,2	19,5	27,4	—

A ferroszilíciummal végzett oltási kísérletek számszerű eredménye a gömbgrafitos kísérletekéhez képest jó, a szovjet szabványban előírt legkisebb szilárdságot elég gyakran sikerült elérni.

Kevésbé jó a magnéziumtartalmú segédötvözzel végzett oltási kísérletek eredménye; a kéntelenítés mindig bekövetkezett ugyan, a szilárdság azonban többnyire nem kielégítő. 18 számításba vehető kísérlet közül csak ötször adódott a minimálist elérő szakító- és hajlítószilárdság. 13-szor pedig csak az egyik érték, illetve többnyire egyik sem érte el a módosított öntvényre érvényes legkisebb értéket.

Az oltási kísérletek egyik része eszerint reprodukciónak tekintendő. Új megállapításokat nem adott, a magnéziumos segédötvözzel végzett kísérletek folytatása pedig az elért eredmények alapján feleslegesnek látszik, Néhány fontos részlet megvizsgálása viszont hiányzik az eddigi munkából.

\*

Végző tanulságképpen a következő pontokban javaslatot kívánok tenni a nagyszilárdságú öntöttvasal kapcsolatos kutatás folytatását illetően.

1. A gömbgrafitos öntöttvasnak, mint újszerű szerkezeti anyagnak iparunkba való bevezetése kétségtelenül kívánatos, a gyártási eljárását ezért mielőbb meg kell honosítanunk.

2. A gömbgrafitos öntvény gyártásánál a ferroszilíciumos segédötvözettel végzett eddigi kísérletezés meddő volt és a jövőben sem biztat eredménnyel; ezzel a segédötvözzel tovább ne is kísérletezzünk.

3. Most már birtokunkban van a színmagnéziummal való ötvözés szovjet módszerének elég részletes leírása; ennek alapján valószínűen nem lesz különösen nehéz a módszert annyira megismernünk, hogy üzemben is használhassuk. Kutatásunk csak a színmagnéziumos módszerrel foglalkozzék.

4. A ferroszilíciumos beoltás üzemeinkben szintén meghonosítandó. Ezen a téren, megítélésem szerint, csak üzemi kísérletezésre lehet szükség. Jelenleg talán nem tudjuk biztosítani, hogy valamennyi öntőművünk a kívánatosan forró vasat csapolhassa, azért helyes lenne kijelölni kellő számú üzemet, amelyek a módosított öntvényesszükségletet termelnék. Ezeknek az üzemeknek meg kell adni minden segítséget, jó kokszot, megfelelő nyersvasat, hogy ilyen nehézségek az öntvények minőségét ne veszélyeztessék.

5. Tegyük lehetővé, hogy a jövőben kutató intézeteink tématervének részleteibe tapasztalt üzemi szakembereink is beleszólhassanak, legalább az üzemeknek szánt kutatások terén. Így elkerülnek azt, hogy felesleges reprodukáló munkára pazaroljuk kádereinket és időnket, és nem maradnának ki olyan részletek, amelyeknek vizsgálata különleges körülmények között valóban szükséges.

Elméleti kérdésekkel előadásomban nem foglalkoztam; mégpedig azért, mert fontosabbnak tartom a nagyszilárdságú öntöttvas üzemi gyártásának megoldását. Az elméleti kérdések talán érdekesebbek a most tárgyalt részleteknél, de a gyakorlati megvalósításhoz nem okvetlenül szükségesek, amint azt a külföldi példák bizonyítják. Nagyon sokfelé készül már gömbgrafitos és módosított öntvény, az utóbbi már vagy egy évtizede, általánosan elfogadott



elmélet azonban még egyikre sincsen. Talán nem is lenne helyes, ha állást foglalnék egyik vagy másik elmélet mellett, hiszen egyelőre még havonként számolnak be új megfigyelésekről, amelyek az egész kérdést új oldaláról világítják meg. Ma még jobb, ha a kutatókat és gondolkodókat nem zavarjuk meg egyik vagy másik elgondolás helyességének, hibáinak hangoztatásával. Vallja minden kutató azt az elméletet, amelyet a legjobbnak hisz és igyekezzék annak segítségével minél több és minél jobb kísérleti eredményeket a termelés számára elérni.

Az elmélet oldalára tartozik az is, hogy az elért eredmények megítélésében, még inkább a jövő képének megrajzolásában legyünk sokkal realisabban, mint voltunk és vagyunk. Lebegjen előttünk célként továbbra is az, hogy a nagyolvasztóban nyersvasat, az acélműben hibátlanul hengerelhető acélt, vasöntőműveinkben pedig egyre javuló minőségű öntvényeket készítsünk, mindezt kellő mennyiségben és gazdaságosan. Ebben ne csak konzervativizmust lássunk, az óvatosság diktálja, hogy a jól bevált és ma is jó módszereket ne adjuk fel. Nemcsak az fejlődés, ha a legújabb módszereket építjük, hanem az is, ha a régieket tökéletesítjük, termelékenyebbé tesszük. Ez a fejlődési lehetőség talán elsősorban a technológiai fegyelem szigorú és következetes érvényesülésén múlik. Ez a fegyelem új módszernél döntő jelentőségű, de a régi termelési módszerek terén is értékes rejtett tartalékot képvisel. Az öntőműben a selejtokok közt a technológiai fegyelem elleni vétségek nagyon előkelő helyen állnak.

Előadásom a témát a kutatásnak 1951. évvégi állapotának, az akkori jelentések, közlemények alapján tárgyalja. Az eredményként hozandó határozatnak természetesen az azóta elért kutatási és üzemi eredményeket sem szabad figyelmen kívül hagynia. Ezért arra kérem a hozzászóló kartársakat, hogy ezeket az eredményeket ismertessék, hogy határozatunk reális, biztos alapokon nyugvó és minden lehetőséget kihasználó legyen.

#### IRODALOM

1. *Gagnebin, A. P.* : Mechanical Engineering 73 (1951. febr.) 101. o.
2. *Cabarat R., Guillet, L. és Prudhomme C.*, Revue de Métallurgie 48 (1951. jan.) 47. o.
3. *Eagan, T. E.* : Am. Foundryman 18 (1950. nov) 22. o.
4. Mémoires du Congrès International de Fonderie, Bruxelles, 1951. szept.
5. *Stein, E. M.* : Foundry 78 (1950. nov.) 96. o.
6. *Hallett, M. M.* : Trans. Am. Inst. Marine Engs. 64 (1952), Adv. Copy.
7. *Miljan, B. Sz.* : Útmutatás a gömbgrafitos nagyszilárdságú öntöttvas készítésének technológiájára, CNIITMAS, 1949. 23. sz.
8. *Akszenov, P. N.* : Öntvények gyártása. Nehézip. Kiadó, 1952. 340—362. o.
9. *Piwowarsky, E.* : Giesserei, Techn. Wiss. Beihefte, 1952. márc. 311. o.
10. *Frank L.* : M. T. A. Műsz. Oszt. Közl. 1 (1951) 649. o. Öntöde 2 (1951) 28. o.
11. *Varga F.* : Öntöde 2 (1951 máj.) 97. o.
12. *Frank L.* : Öntöde 3 (1952) 51. o.
13. Vasipari Kutató Intézet. Jelentés az 5112. sz. témáról.
14. *Miljman, B. Sz.* : Vjszokokacsesztvnnii modifirovannii csugun. Moszkva, 1945.

MASGIZ.

15. *Vaszilenko, A. A. és Grigorjev, I. Sz.* : Modifirovannij csugun, Kiev, 1950.

## HOZZÁSZÓLÁSOK

FRANK LÁSZLÓ

Verő József professzor mai előadásáról előzetesen azt a tájékoztatást kaptuk, hogy az a múlt évben tartott Akadémiai Nagyhétén elhangzott, a modifikált öntésre vonatkozó három előadás összefoglalásával, azok kritikájával, a további kutatás irányvonalának kijelölésével és az ipari alkalmazás lehetőségével fog foglalkozni.

Az elhangzott előadás azonban a Vasipari Kutató Intézetben lefolyt kutatásokkal foglalkozik, szembeállítva az eredményeket és megállapításainkat a kérdésről megjelent külföldi publikációkkal.

Az első kérdés, amelyet az előadás tárgyalt az, hogy a nagyszilárdságú öntöttvas alkalmazása jelent-e népgazdaságunk számára megtakarítást? A nagyszilárdságú öntöttvas jobb szilárdsági értékei alapján lehet-e az anyagfelhasználást csökkenteni?

Előadó abból indul ki, hogy az öntöttvas gépszerkezetekben főként nyomásra van igénybevéve. A húzási és nyomási igénybevehetőség kérdésénél rámutat arra, hogy a gömbszemcsés grafitos öntöttvas nagy szilárdsági értéke mellett figyelembe kell venni azt, hogy annál kisebb a folyási határa, tehát valójában nem lehet lényegesen nagyobb igénybevételnek alávetni, mint a modifikálatlan szürkeöntvényt. Így nem lehet gépszerkezeteink komolyabb önsúlycsökkentésére és ezen keresztül anyagmegtakarításra gondolni.

Az öntöttvas alkalmazhatóságát 50–60 évvel ezelőtt írt tankönyvek valóban úgy tárgyalják, hogy az elsősorban nyomásra vehető igénybe. Az öntöttvas azonban az elmúlt 50 évben nagyon fejlődött. Gépszerkezeteinkben az öntöttvas ma már nemcsak nyomásra, hanem húzásra is, de legtöbbször összetett igénybevételre van terhelve. Ez jut kifejezésre abban is, hogy az öntöttvas minőségi szabványaiban jellemzőképpen nem a nyomószilárdságot, hanem minden esetben a húzó- és hajlítószilárdságot adják meg.

Gömbszemcsés grafitos modifikált öntöttvasnál nem szabad figyelmen kívül hagyni azt, hogy kétféle gömbszemcsés grafitú öntöttvasat tudunk előállítani. Olyat, amelynek alapszövet szerkezete perlit és olyat, amelynek ferrit. A perlit alapszövetű gömbszemcsés grafitos öntöttvas, amelyre eddigi kutatásaink főként kiterjedtek, nem bír számottevő nyúlással, arányossági határa tehát majdnem egybeesik a maximális szilárdsággal, így ennek az anyagnak igénybevehetőségét a folyási határ nem befolyásolja. Ugyanez a helyzet a ferroszilíciummal modifikált öntöttvas esetében is.

Az öntvények méretezésének kérdésénél a szerkesztők nem fogják figyelmen kívül hagyni azt sem, hogy a közönséges öntöttvas szabványban megadott szilárdsági értékek csak bizonyos átmérőjű próbapálcára vonatkoznak. A falvastagság növekedésekor a szabványban megadott értékek akár 50%-kal is csökkenhetnek. Ferroszilíciummal modifikált öntésnél, miután azok falvastagság-érzékenysége lényegesen kisebb, a csökkenés legfeljebb 30%-os, a magnéziummal modifikált öntésnél pedig legfeljebb 10%-os.

Amidőn tehát előállítottunk 34–38 kg/mm<sup>2</sup> szakítószilárdságú, 50–60 kg/mm<sup>2</sup> hajlítószilárdságú ferroszilíciummal modifikált öntöttvasat, vagy 40–50 kg/mm<sup>2</sup> szakítószilárdságú, 80–100 kg/mm<sup>2</sup> hajlítószilárdságú gömbszemcsés grafitú, magnéziummal modifikált perlit alapszövetű öntöttvasat,

akkor ezek az öntöttvasak a korábbi 22–26 kg/mm<sup>2</sup> szakítószilárdságú, 30–50 kg/mm<sup>2</sup> hajlítószilárdságú öntöttvassal szemben valóban 50–100%-kal nagyobb értékkel terhelhetők.

Senki sem állítja azonban azt, hogy minden öntvénynél, ha ezeket az új öntöttvas fajtákat alkalmazzuk, egyúttal 25–50%-os súlymegtakarítás érhető el. A súlymegtakarítást ugyanis nem az előadó említette szilárdsági értékek korlátozzák, hanem az öntöttvas más tulajdonságai, mint pl. a minimális falvastagság, mely mellett az öntvény selejtmentesen előállítható vagy adott esetben a szerkezet merevsége.

Ezek után joggal kérdezheti valaki, mi az álláspontunk, lehet-e a módifikált öntvény alkalmazásánál anyagmegtakarításra számítani. Erre válaszuk egyértelmű: kétségtelenül lehet. Lehet egyes öntvények súlyát is csökkenteni. Azonban népgazdaságunk számára döntő anyagmegtakarítás nemcsak ezen a téren fog mutatkozni. Vannak ugyanis a módifikált öntésnek olyan egyéb tulajdonságai, amelyek a módifikált öntés alkalmazása esetén csökkentik az évi öntvényfelhasználást. Melyek ezek a tulajdonságok? Ilyen tulajdonság elsősorban a kopásállóság. Az öntöttvas alkatrészek nagy része állandó koptató-igénybevételnek van alávetve, így az összes motorhengerek, hengerperselyek, dugattyúk, dugattyúgyűrűk, csapágyak, fogaskerekek, szerszámgépek vezetőlécei, szupportjai, görgők, féktuskók, fékdobok stb. Időnként ezek az alkatrészek elkopnak, ami öntvénypótlást tesz szükségessé, ezenkívül ilyenkor legtöbbször nagyobb javítást is kell végezni az illető szerkezeten, ami költségen kívül kapacitásvesztéssel jár. A szovjet kutatók igen kiterjedt és beható vizsgálat alá vették az egyes szerkezeti alkatrészek kopásállóságát és megállapították, hogy a módifikált öntöttvas kopási szilárdsága lényegesen meghaladja a módifikálatlan öntöttvas kopási szilárdságát. Ennek illusztrálására bemutatjuk az 1. és 2. táblázatot.

## 1. TÁBLÁZAT

## Kopásvizsgálat Amsler-gépen

A n y a g	Átlagos fajlagos nyomás kg/cm <sup>2</sup> -ben	Átlagos kopás mg-ban	Átlagos kopás százalékban
SzCs 24–44 .....	5	478,0	100,0
MSzCs 32–52 .....	5	102,7	21,5
Modifikált öntöttvas gömbszemcsés grafittal ...	5	25,0	5,2
Acél 20 .....	5	67,8	14,2
Acél 45 .....	5	9,6	2,0
SzCs 24–44 .....	12	1842,5	100,0
Gömbszemcsés grafitos modifikált öntöttvas ...	12	126,3	6,9

## 2. TÁBLÁZAT

## Abráziv-kopásvizsgálat

A n y a	Az öntvény élettartama hetekben		
	Zúzókalapácsok	Kavicszúzó tengelycsapok	Fogaskerekek
Mangánacél .....	3	4	12
Modifikált öntöttvas .....	12	12	60

Az öntöttvasnak igen elterjedt alkalmazása van a vegyiparban is. A vegyi készülékek többségét ebből az anyagból állítják elő. Mint főzőüstöket, retortákat, koncentráló berendezéseket, vákuumszűrőket, szivattyúkat, csőidomokat stb. A vegyi korrózió évente nagy anyagvesztést okoz, ezenkívül a meg nem felelő anyag szennyezi a vegyi terméket is. A 3. táblázat mutatja a Szovjetunióban végzett vizsgálatokat, amelyből láthatjuk, hogy az esetek túlnyomó többségében, l a az illető vegyi folyamatban az öntöttvas alkalmazása egyáltalában szóbajöhet, mennyivel kedvezőbb tulajdonságai vannak a modifikált öntésnek, mint a közönséges öntöttvasnak.

Az öntöttvas sok esetben talál alkalmazást olyan helyeken is, ahol hatásnak van kitéve, pl. kazánok, kohászati és hőkezelőkemencék armatúrái, hőkicserélők, rostélyok, armatúrák stb. Szovjet kutatók megállapították, hogy 900 C°-on történő hevítési ciklus után a közönséges öntöttvas legnagyobb duzzadása 7%, a közönséges modifikált öntésé 4%, az ötvözött modifikált öntésé pedig 1,5–3%.

Mindebből látható, hogy a modifikált öntésnek nemcsak szilárdsági, hanem más technológiai tulajdonságai is jobbak, mint a szürkeöntvényé, amit előadó a modifikált öntvény alkalmazási területeinek kijelölésénél és felsorolásánál el is ismer, de figyelmen kívül hagyja ezt a tényt, midőn az öntvény felhasznált mennyiségét vizsgálja. Azzal egyetértünk, hogy ezenkívül még sok helyen lehet alkalmazása bronz, temperöntvény és acél helyettesítésénél.

Az előadás a továbbiakban ismerteti a gömbszemcsés grafitos öntöttvas előállításának nyugati módszereit és megállapítja, hogy a múlt évben az Egye-

### 3. TÁBLÁZAT

*A modifikált öntöttvas különböző vegyi közegekben végzett korróziós vizsgálatainak eredménye*

Az öntöttvas márkója	Az öntöttvas vegyi összetétele					Vegyi közeg	Vizsgálati eredmények		
	C	Si	Mn	P	S		konzentráció %	Hőfok C°	Veszteségek gr/cm <sup>2</sup> -ben
MSzCs	2,82	1,14	0,66	0,17	0,07	Kénsav	90	300	35,7
MSzCs	2,94	1,40	0,94	0,18	0,08	«	90	300	38,7
SZCS	3,70	1,62	0,88	0,18	0,09	«	90	300	26,5
SZCS	2,91	3,18	0,90	0,21	0,08	«	90	300	86,3
SZCS	3,22	2,94	1,04	0,27	0,06	«	90	300	92,7
SZCS	3,09	4,96	0,48	0,16	0,08	«	90	300	255,0
SZCS	2,88	3,60	0,61	0,67	0,09	«	90	300	265,5
MSZCS	3,12	1,09	0,79	—	—	Ammónia		20	4,9
MSZCS	2,82	1,40	0,89	0,14	—	«	«	20	5,75
MSZCS	2,88	1,48	0,84	0,23	0,04	«	«	20	7,8
SZCS	3,08	4,46	0,48	0,27	0,06	«	«	20	18,7
SZCS	3,22	2,49	1,04	0,27	0,08	«	«	20	38,9
MSZCS	2,78	1,28	0,35	0,11	0,06	Ecetsav	5%	20	3,55
MSZCS	3,06	1,46	1,0	0,20	0,08	«	5%	20	4,35
MSZCS	2,88	1,33	0,74	0,16	0,07	«	5%	20	4,80
MSZCS	3,42	1,28	0,70	0,16	0,08	«	5%	20	5,80
MSZCS	3,70	1,02	0,88	0,16	0,09	«	5%	20	7,5
MSZCS	3,14	1,12	0,65	—	0,052	Marónátron	100%	500	0,40
MSZCS	3,18	1,10	0,66	—	0,069	«	100%	500	0,67
MSZCS	3,02	1,40	0,68	—	0,08	«	100%	500	0,93
MSZCS	3,08	1,41	0,72	0,21	0,08	«	100%	500	1,07
SZCS	3,41	2,38	0,68	0,18	0,08	«	100%	500	4,35

sült Államokban 50 000 tonna gömbgrafitos öntvény készült. Rámutat arra, hogy Nyugaton majdnem kizárólag a nikkeles segédötvözetek terjedtek el, miután — és itt eredeti előadásában irodalmi adatokra hivatkozik — a réz és szilíciumos segédötvözetek találati biztonsága kicsi.

Általában keveset vár a nikkeles ötvözzel szemben más ötvözetek találati biztonságától. Az előadó mai előadása során ezt úgy említette meg, hogy ez nem vonatkozik a tiszta magnézium-ötvözéses szovjet módszerre. A későbbiek folyamán azonban, amikor összehasonlította a nikkeles ötvözet szakítószilárdságát a magnéziummal ötvözött öntöttvaséval, mégis azt mondta, hogy a szilárdság alsó határ-értéke tehát kisebb a nikkell-magnézium segédötvözzel készült ötvözetek 50 kg/mm<sup>2</sup>-t meghaladó szakítószilárdságánál. Fontos tehát, hogy megnézzük a találati biztonság kérdését és azt, hogy milyen eredményeket várhatunk a rendelkezésünkre álló eljárástól.

Rá szeretnék mutatni arra, hogy kezdettől fogva miért igyekeztek bizalmatlanságot kelteni »találati biztonság« címen a nem nikkeles felhasználási módokkal szemben. Ez nem egyedülálló eset a technika történelmében és nem egyedülálló eset a nagyszilárdságú öntvény terén sem. Emlékezzünk arra, hogy 1923—1942-ig, tehát 19 éven keresztül az International Mechanite Company milyen nagy műszaki propagandát fejtett ki az ú. n. mechanite eljárással kapcsolatban, amelyet mint a legjobb és egyedüli módszert propagálták az öntöttvas minőségének ötvözésnélküli fokozására, kimutatva azt, hogy erre egyedül a Ca-Si alkalmas, melyet a Mechanite Company hoz forgalomba és amely eljárásért még komoly licenciadíjat is kell fizetni. Tartott ez egész addig, amíg a szovjet tudomány ki nem mutatta, hogy az eredmény a Fe-Si-modifikálással sokkal jobban megközelíthető. Ez a félrevezetés volt az oka annak, hogy az üzemi emberek részéről öntudatlanul már régen alkalmazott Fe-Si-os modifikálás nem tudott kifejlődni és kibontakozni.

Ugyanígy helytelen lehet az a felfogás is, hogy a rendelkezésünkre álló módszerek alkalmazása bizalmatlanságot kelt a találati biztonság és az elérhető szilárdsági értékekkel szemben.

A magam részéről azt állítom és a későbbiekben bizonyítani fogom, hogy a találati biztonság kérdése nem létező kérdés, ha bizonyos feltételeket betartunk. A találati biztonság mint definíció alatt itt azt értem, hogy megfelelő betét és adott Mg-mennyiség mellett az előírt technológia betartásával lehet-e egyértelműen minden esetben gömbszemcsés grafitú szövetszerkezetet elérni.

A továbbiakban az előadó szembe kíván állítani engem azzal a szovjet módszerrel, mely segédötvözet nélkül színmagnéziummal állít elő gömbszemcsés grafitú öntöttvasat azon kitétel alapján, melyet az 1951. évi akadémiai nagygyűlésen mondtam, hogy a »magnéziumot közvetlen a vasba belevinni nem lehet, mivel 1100 -on szilárd állapotból rögtön gáznemű állapotba megy át, tehát robbanásszerű jelenség áll elő«. Megállapítja, hogy a szovjet módszer világos cáfolata ennek az állításnak. Erre csak azt tudom mondani, hogy aki nem hiszi el azt, hogy a magnézium az öntöttvasba bevitelkor robbanásszerű jelenség közben elég, az próbálja meg. Igen kellemetlen tapasztalatokat fog szerezni. Ez természetesen nem jelenti azt, hogy a Szovjetunióban nem dolgoztak ki egy olyan módszert, amely lehetővé teszi a tiszta magnéziumnak az öntöttvasba való veszélytelen és eredményes bevitelét. Ehhez a módszerhez sem mert azonban mindaddig senki sem nyúlni, amíg ki nem próbáltuk és csak azóta vált ez az eljárás olyan magától értetődővé és természetessé, midőn sikerült a szovjet módszer alkalmazásával a Vasipari Kutató Intézetben eredményt elérni.



Úgy vélem, hogy azok számára, akik a tényeket ismerik, nem kell tovább bizonyítanom azt, hogy mi nem állunk a szovjet módszerrel szemben, hanem mi vagyunk azok, akik ezt Magyarországon először eredményesen kipróbáltuk.

Előadó ezek után az általunk előállított első segédötvözet kérdését tárgyalja, téved azonban abban, hogy mi 10% magnézium és 10% réz mellett 80% ferroszilíciumot használtunk 75% ferroszilíciumtartalommal, ugyanis mi ezt az előötvözettypust 45% szilíciumtartalmú ferroszilíciummal állítottuk elő. Ennek következtében az ebből levont számszerű következtetések is tévesek.

Az újabb segédötvözettypusunkra az előadó azt állítja, hogy annak előállítási módja nem helyes. Nem helyes mégpedig azért, mert konyhasót használtunk takaróanyagként és a magnézium  $650^{\circ}$ -on, a konyhasó pedig  $800^{\circ}$ -on olvad meg, aminek következtében a magnézium jórészt oxidálódik. Alapos okunk van pedig arra, hogy konyhasót használjunk és nem az egyébként magnézium olvasztásánál használt fedősókat. Ennek az az oka, hogy a magnézium fedősók  $1100$ – $1150^{\circ}$ -nál már nem védik meg a magnéziumot az elégéstől, a konyhasó pedig tökéletesen véd.

Remélem, a hozzászólók ismertetni fogják a segédötvözet gyártásával kapcsolatos tapasztalataikat és meg fogják világítani azt, hogy az ötvözetgyártás folyamán van-e magnéziumvesztés.

Az előadás a továbbiakban vizsgálja egyes, a MÁVAG-ban és a laboratóriumban végzett kísérletek eredményeit, amelyet a 10 és 20%-os segédötvözzel értünk el. Ennek jellemzésére a kísérletek átlagértékéből indul ki, bár megállapítja, hogy ez talán szokatlan módszernek tűnhet fel. Mi azt mondjuk, hogy ez nemcsak szokatlan, hanem helytelen módszer is. U. i. mi kísérleteinket, különféle tényezők megállapítására használtuk fel, amikor is természetesen rossz eredményeket is értünk el. Nézetünk szerint szét kell választani mindig valamely eljárás kutatásából származó eredményeket, a kutatás egy bizonyos fázisában állandó feltételek között végrehajtott kísérletek eredményeitől. Így az előadó teljesen figyelmen kívül hagyja azt a kísérletsorozatunkat, amelyet ugyancsak a MÁVAG-ban hajtottunk végre egységes módszerrel, melynek a célja éppen a találati biztonság és az üzemi körülmények között elérhető szilárdság tisztázása volt, amelyet előző akadémiai előadásunkon ismertettünk. Ennek a kísérletsorozatnak a szilárdsági értékek szempontjából az volt az eredménye, hogy ha azonos feltételek mellett dolgozunk, akkor a szilárdsági értékek állandóan és reprodukálhatóan  $40$ – $45$  kg/mm<sup>2</sup> között mozogtak, jeléül annak, hogy a ferroszilíciumos segédötvözzel is jó találati biztonságot lehet elérni. Ennél a kísérletnél voltak nehézségek egy lánckerékkel, amely a belső feszültség következtében állandóan repedt. Tudott dolog azonban az, hogy nagyobb szilárdságú anyagokban nagyobb belső feszültség keletkezik, ami ellen megfelelő konstrukcióval lehet védekezni.

Ezután az előadó a 20%-os segédötvözet használhatóságát az ötvözet határfokával próbálja vizsgálni és megállapítja, hogy ebből a segédötvözetből 15–20%-ra van szükség a kívánt cél elérésére. Első olvasásra ez elírásnak tűnt fel, behatóbb tanulmányozás után láttuk, hogy ebből az előadó messze-menő következtetéseket is levont. Így nem tudjuk azt, hogy az előadó komolyan gondolja-e, illetve komolyan feltételezi-e rólunk, hogy olyan segédötvözet felhasználását és iparba való bevezetését javasoljuk, amiből 15–20% szükséges.

Ezzel szemben tény az, hogy mi a 10 és 20%-os magnéziumot tartalmazó segédötvözet szükséges mennyiségét 1952-ben az előbb említett MÁVAG ered-

ményekkel szemben 0,3–0,4% beadagolt magnéziumra szorítottuk le, azaz 2–4% segédötvozzettel hajtjuk végre, a tiszta gömbszemcsés grafitú öntöttvas előállítását.

Javasoljuk azt, hogy egy bizottság 10 alkalommal vizsgálja meg a Kőbányai Vas- és Acélöntödében a segédötvozzet gyártását és 10 alkalommal vizsgálja meg annak felhasználását a Ganz Törzsgyárban. A bizottságnak alkalma lesz meggyőződni arról, hogy sem a segédötvozzet gyártásával, sem annak felhasználásával kapcsolatban nincs semmiféle műszaki nehézségről szó és a találati biztonság kielégítő.

Előadó nem foglalozik ezévi színmagnéziumos modifikációs kísérleteinkkel sem. Előadásában felhasználta ugyan a Vasipari Kutató Intézet 1951. évvégi jelentését, amit eddig sehol sem publikáltunk, de ennek indokát abban látjuk, hogy a kérdést a legaktuálisabb formában kívánta tárgyalni. Módjában lett volna a legújabb eredményeinkről is tájékozódni, amivel egyrészt igazolhatta volna a gyakorlattól eltérő eljárást, másrészt oly módon tárgyalhatta volna a kérdést, amely valóban alkalmas lett volna a további perspektíva kijelölésére és hibás megállapítások elkerülésére.

Többször hivatkozik arra, hogy elmúlt évi jelentésünk végén nem található szavakba öntött kiértékelése a kísérleteknek. Ez azért van, mert az előadó csak egyes, kiragadott részleteit vizsgálta meg évvégi jelentésünknek. Nyilván elkerülte figyelmét, hogy évvégi jelentésünk szavakban való összefoglalása az elmúlt akadémiai nagyhét alkalmával megtörtént és ugyanabban a jelentéscsomagban megtalálható, amelyre az előadó több alkalommal hivatkozott.

A színmagnéziumos modifikálással kapcsolatban idő hiányában szabadon rámutatnom csak egy kérdésre, ami élesen világít rá ugyanesak a találati biztonság kérdésére. Több sorozatban végrehajtott és reprodukált kísérleteink folyamán ugyanis megállapítottuk, hogy bizonyos feltételek esetén már 0,3–0,4% beadagolt színmagnézium tiszta gömbszemcsés grafitú szerkezetet eredményez. Ha egyáltalában rossz találati biztonságra lehet gondolni, akkor az elsősorban a színmagnézium és a kis mennyiségben adagolt magnézium esetén lenne várható, amikor is tehát nincs bőséges magnéziumfelesleg jelen, ami egy rossz találati biztonságot is képes lenne átfedni. Azonban még ilyen esetben is tiszta gömbszemcsésgrafitú szerkezetet kapunk.

A magnéziumos modifikáció találati biztonsága nézetem szerint semmivel sem rosszabb, mint bármely kohászati folyamat találati biztonsága, ha azt előírás szerint megfelelő technológiai fegyelemmel hajtjuk végre. Áll ez úgy az általunk gyártott segédötvozzetre, mint a színmagnézium alkalmazására.

Ezekután az előadó a ferrosziliziumos kísérleteinket tárgyalja. Megállapítja, hogy azok részben eredménytelenek, részben feleslegesek voltak. Feleslegesek voltak azért, mert a Szovjetunióban ezt az eljárást már évekkal ezelőtt kidolgozták, így tehát kutatni nincs mit, legfeljebb üzemi kutatásokra lehet szükség. Ezzel szemben áll az, hogy Lengyelország és Csehország, mely Fe-Si-os modifikációt közvetlenül a Szovjetuniótól vette át, bevezetés előtt rendkívül beható és kiterjedt reprodukciós kísérleteket hajtott végre és ennek szükségességére hívták fel a mi figyelmünket is. Hogy erre milyen nagy mértékben volt szükség, azt mutatják kísérleti eredményeink is. Addig, amíg az elmúlt évben, mikor ezeket a kísérleteket megkezdtük, még csak 28–32 kg/mm<sup>2</sup> szakítószilárdságot tudtunk elérni, s csak kivételes esetben ennél nagyobb, addig ma rendszeresen érünk el 35 kg-nál nagyobb értékeket is. Éppen ennek érdekében, miután üzeink átlagértékben még csak 30–32 kg-ot tudnak elérni,

holott a Szovjetunióban már szabványosították a 38 kg-os modifikált öntést is, szükség volt a mi kísérleteinkre, ami lehetővé fogja tenni, hogy új másik javított technológiai utasítást adjunk ki számukra.

Ugyancsak kísérleteink tették lehetővé azt, hogy máris több és nagy selejtet adó öntvény gyártásánál a Fe-Si-os modifikálás alkalmazásával olyan segítséget tudunk nyújtani, ami a selejtet egyes esetekben lényegesen csökkentette. Rá szeretnénk mutatni azonban arra, hogy nem minden öntődei selejtkérdés oldható meg modifikációval. Ezzel is valahogy úgy vagyunk, mint minden új gyógyszer bevezetésével, amikor a beteg akkor is penicilint kér, ha náthás. Ettől a beteg nem gyógyul meg, de esetleg elmulasztja a helyes gyógykezelés alkalmazását.

Előadó azon megjegyzésével kapcsolatban, hogy a jövőben vonjuk be kísérleteinkbe nagyobb mértékben az ipari szakembereket, rá szeretnénk mutatni arra, hogy eredményeinket a Vasipari Kutató Intézet szakembereinek segítségével értük el, akik az iparból jöttek. Akik ezeket a kísérleteket irányították, mind 10 évnél hosszabb ipari öntődei gyakorlattal rendelkeznek. Ezenkívül minden alkalmat megragadtunk eddig arra, hogy kísérleteink alkalmazását az iparba átvigyük. Ilyenkor mindig komoly segítséget kaptunk az iparban működő szakemberek részéről is.

Ki szeretnénk térni még arra is, hogy az előadó arra szólít fel minket, hogy a továbbiakban az elért eredmények megítélésében és a jövő képének megrajzolásában legyünk tartózkodóbbak és megállapítja, hogy nagy fantázia kell ahhoz, hogy hengerelhető blokkoknak öntéséről beszéljünk. Ezzel kapcsolatban rá szeretnénk mutatni arra, hogy ezt a két évvel ezelőtt elhangzott kijelentésünket a Szovjetunióban ipari méretekben megvalósították, a Szovjetunióban ugyanis már kupolából lecsapolt folyékony vasat lemezzé hengerelnek. Ez nem fantázia, hanem valóság. Egyetértünk Verő professzorral abban, — amit azonban csak előadásának eredeti szövegében találtam — hogy ez »egyetlen acélmű, de még egyetlen acélgyártókemence üzemének sem fog véget vetni, de mi nem is abban látjuk a fejlődést, hogy egy új eljárás üzemeket megszüntet, hanem abban, hogy ezt fejlődésünk és kapacitásunk bővítésénél figyelembe fogjuk venni.

Előadó kísérleteink értékelését a következőképpen adja. Kísérleteink hosszú idő óta folynak. Ennek egy része reprodukciósnak tekinthető, ami később új eredményt nem adott, a segédötvözetekkel végzett kísérletek folytatása pedig felesleges és abbahagyható.

Hogy látjuk mi a kérdést? Kísérleteink révén elsők voltunk, akik Magyarországon üzemi körülmények között előállítottunk magnéziumos modifikációhoz szükséges segédötvözetet és ezt üzemi körülmények között alkalmaztuk. Fejlesztettük a segédötvözet gyártásának technikáját, ennek eredményeképpen ma már üzembiztosan indukciós kemercélen tudunk olyan segédötvözetet előállítani, melyből 2—4% üzemi körülmények között tiszta gömbszemcsés grafitú öntöttvasat eredményez. Nem tartjuk kizártnak azt, hogy ezen a téren egy olyan munkát végeztünk, amellyel segítségére tudunk lenni a baráti államoknak, különösen a kéreghengergyártás területén. Boldogok lennénk, ha a baráti államok segítségét viszonzni tudnánk. Rövidesen alkalmunk lesz meggyőződni arról, hogy munkánkat mennyire értékelik.

Elsők voltunk Magyarországon a színmagnézium alkalmazása terén is. Ezzel a módszerrel is reprodukálhatóan tiszta gömbszemcsés grafitú öntöttvasat tudunk előállítani. Számszerű eredményekről a kutatók számolnak majd be.

Elsők voltunk Magyarországon, akik bevezették a Fe-Si-os modifikálást és annak fejlődésében ezideig eljutottunk odáig, hogy elő tudunk állítani 32–35 kg szakítószilárdságú öntöttvasat.

Mi a továbbiakban a gömbszemcsés grafitú öntés terén kombinálni kívánjuk a segédötvözettel való kezelést a színmagnéziummal való kezeléssel úgy, hogy a folyékony vas csapolása alatt segédötvözettel kéntelenítünk és utána egész csekély színmagnéziummal kezeljük a vasat. A ferroszilíciumos modifikálással kívánjuk elérni a Vasipari Kutató Intézetben már elért nagy szilárdsági értékeket az üzemekben is. Mindkét modifikációs eljárást a selejt-csökkentés és az öntöttvas felhasználás csökkentése szolgálatába kívánjuk állítani. A magunk részéről úgy véljük, hogy mindaz, ami ide elvezetett, sem feleslegesnek, sem meddőnek nem tekinthető. Az út dátumokban hosszú volt, de talán mi erről nem tehetünk. Csak annyit és csak akkor foglalkozhattunk ezzel a kérdéssel, amikor erre módunk és lehetőségünk volt. Ha összeadnánk az erre a munkára fordított időt, meglepően kis értéket kapnánk ahhoz képest, amit erre a kérdésre más államokban fordítottak.

Verő professzor előadását végeredményben azzal zárja le, hogy mindkét modifikációs eljárást be kell vezetni. Legyen szabad rámutatnom arra, hogy 1950-ben az első akadémiai nagyhét előtt az Akadémia Kohászati Bizottsága, melynek vezetője Verő professzor, levelet intézett a Nehézipari Miniszterhez, amelyben felhívta a figyelmét arra, hogy az Akadémia tudomására jutott, hogy a magnéziumos modifikációt be kívánják vezetni az iparba. Felhívta arra a veszélyre a figyelmet, hogy ez az amúgyis nagy öntődei selejtet tovább fogja emelni és az öntődei kapacitást csökkenteni fogja. Két évvel ezelőtt az első akadémiai nagyhéten tartott előadásom után az Akadémia összeült, hogy megvitassa, hogy az előadásból mi a leszűrhető vélemény és javaslat. Ekkor Verő professzor felszólalt azon javaslat ellen, hogy a magnéziumos modifikációt vezessék be az iparba és rámutatott a tudós köteles gondosságával arra, hogy az ilyen eljárást előbb laboratóriumban a legnagyobb részletességgel ki kell kísérletezni, mert ez kevesebb anyagi áldozattal jár, mint az ipari kísérlet. Mai előadásában Verő professzor lényegében kimutatta azt, hogy eddigi kísérleteink feleslegesek voltak és bizonyos mértékig sikertelenek, ennek ellenére javasolja az ipari bevezetését és a továbbiakban legfeljebb ipari kísérletek szükségességét látja fennforogni. Meg kell mondjuk, hogy ezekben az állásfoglalásokban ellentmondást látunk. Legyen szabad azon véleményünknek is kifejezést adni, hogy mi, fiatalabb kutatók az Akadémiától és az Akadémia tagjaitól azt várjuk, hogy hátorítsanak és támogassanak minket kísérleteinkben és legyenek következetesek állásfoglalásaikban. Tisztában vagyunk azzal, hogy kísérleteink ipari megvalósítása folyamán még sok nehézséggel kell megküzdenünk. Segítsenek a nehézségeket vállalva kiküszöbölni. Szeretjük és tiszteljük akadémikusainkat, de azt várjuk, hogy ha munkánk nem is éri el az ő munkájuk ívóját, támogassanak megbecsülésükkel és adjanak tárgyilagos és következetes segítséget ahhoz.

#### BÁNHEGYI LÁSZLÓ

A nagyszilárdságú öntöttvas nagyüzemi gyártása állandóan erősen foglalkoztatja az öntődei szakembereket, és nagy örömmel vettük, hogy a műszaki tudományok kiemelkedő művelői ilyen behatóan foglalkoznak az üzemi problémákkal is, mint Verő prof. a mai előadásában.

A kéregöntésű hengerek gyártásánál ma különösen időszerű a nagy szilárdság elérése a hengerek csapjaiban, de a hengerrest kéreg alatti, úgynevezett szürke magrészeiben is.

Két évvel ezelőtt egy ankéton terelődött a közfigyelem arra a kérdésre, hogy az általános vasöntészet fejlesztésének körébe bele kell vonni a kéregöntésű hengerek öntésének fejlesztését is, mert a hazai gumigyártás kalander és gumikeverő hengerei, valamint az összes kohászati üzemek hengerdéinek hengerei nagy százalékban még mindig külföldön készülnek és csak behozatal útján jutnak a felhasználó üzemek hengerekhez azért, mert a felhasználó üzemek kényesebb igényeinek megfelelő minőségű hengereket a hazai öntődék nem tudnak előállítani.

Az ország hengerszükségletének kisebbik részét kitevő hengerek hazai gyártásának két évvel ezelőtt még igen nagy nehézséget okozott az öntődei selejt nagy százaléka, ami miatt minden erőt a selejt okainak felkutatására kellett elsősorban fordítani. A kérdés megoldásával igen behatóan foglalkozott a Kohó és Gépipari Minisztérium is és ennek következtében egy évvel ezelőtt a Szovjetunióban és Csehszlovákiában történt tapasztalatszerzéssel az öntődei selejtet sikerült a normális minimumra csökkenteni, illetve a selejt-okok legveszedelmesebb fajtáját, a repedéseket megszüntetni. Ennek a kérdésnek a megoldásánál nem volt szerepe a mai előadásban tárgyalt kétféle modifikációs eljárás közül egyiknek sem.

Ellenben a kérdés megoldása után a helyes öntési technológiával sikeresen öntött hengerekkel szemben új követelményekkel léptek fel a felhasználó üzemek minőség és élettartam tekintetében. Idéznem kell itt a Kohászati Lapok januári számából, amely szerint »a hengerművekben az átállási időkre befolyást gyakorol a hengerek anyagának minősége, illetve tartóssága. Különösen kiélezett a kérdés hazai viszonylatban a kéreghengereknél, amelyek keménysége, kéregvastagsága és általában tartóssága jóval elmarad a kívánalomtól, ill. a technikailag valóban elérhető optimumtól.« Ez a véleménye egy közismert hengerész szakembernek, aki nyilván ismeri a hazai hengergyártás körülményeit és éppen ezért — bár véleménye nem egészen tárgyilagos — a valóságot mégis megközelíti.

1951 év folyamán jó néhány cikk jelent meg, és több előadás hangzott el a nagyszilárdságú öntöttvas anyagának ismertetésére. Önként vetődött fel a feladat, hogy a Vaskutató Intézettel karöltve végezzünk kísérleteket a hengerek minőségének, illetve mechanikai tulajdonságainak megjavítására.

Verő prof. előadásában is ismertetett okok miatt úgy határoztunk, hogy gömbgrafitos kísérleteket kezdünk el a feladat megoldására. Egyik célunk konkrétan az volt, hogy a hengereknek csaptörés ellen nagyobb szilárdságot adjunk, bár csaptörés ellen anyaghibából kifolyólag igen kevés a panasz. A második főcél ellenben az volt, hogy a gyorsdrótsori és finomsorozati hengerek csaprőzsáinak a morzsolódását, rövid idő utáni felhasználódását megakadályozzuk. Programmba vettük tehát, hogy [4 db. (750×290∅)] gyorsdrótsori és [2 db. (650×300∅)] finomsorozati hengereket öntünk gömbgrafitos kéregöntvényből és ezeket az ózdi finomhengermű azonnal beszereli és üzembehelyezi. Kísérletünket gyakorlati próbának szántuk az eddig megjelent irodalomban és előadásban lefektetett elméleti megállapítások alapján a Vaskutató Intézet irányítása mellett. Ez a kísérletünk még folyamatban van. A henger öntése megtörtént, azok még e hó folyamán Ózdra kerülnek és aztán rövid időn belül értesülni fogunk a hengerek viselkedéséről munka közben.



Az ötvözéshez eleinte 20/80 Mg-Fe-Si (75%), később 10/90 Mg-Fe-Si (45%) segédötvözetet használtunk. Ebből a segédötvözetből annyit adagoltunk, hogy az ötvényben 0,35% Mg maradjon. Kéregöntvényről lévén szó, ezért nagyon óvatosan kellett a segédötvözzel számolni, mert a hengeren megkívánt kéregvastagság kialakítására a Si nagy befolyással van, mert 0,1% Si emelkedés a kéregvastagságot 10 mm-rel csökkentheti. Ezeknél a hengertípusoknál pedig 30–40 mm-es kéregvastagságot kíván a hengermű. Nem kívánok itt annak a magyarázatával foglalkozni, hogy milyen helytelen ez a követelmény. Elfogadjuk ezt a feladatot, mert azt a gyorshengertelés elősegítése érdekében akarják. Törekvésünk elsősorban a gömbgrafitos szövetszerkezet elérése volt tehát, mert annak jobb a szilárdsága és mert a gömbgrafitos öntöttvas — Veró prof. megállapítása szerint is — a régi öntöttvas és acél közé beilleszkedő újszerű anyag.

A kalander-hengerek csaptörése ellen ugyanis úgy védekeztünk az utóbbi időben, hogy kéregöntésű köpenyt csap nélkül öntöttünk. Ezekbe a köpenyekbe kovácsolt csapokat hidegen sajtoltunk be. Természetesen a henger belső hűtésére, vagy szükség szerint melegítésére szolgáló üreget a csapon keresztül kifúrtuk. Ezek az acélcsapal bíró kéregöntésű hengerek jelenleg a Felten-gyárban üzemben vannak és minden zökkenő nélkül viselik a legnagyobb terheléseket is.

Mindjárt meg kell mondanom, hogy bármennyire is beválik ez a megoldás, az öntésnek mégsem ezt az utat kell követni, hanem az ötvénynek olyan tulajdonságát biztosítani, — különösen, ha erre lehetőség is kínálkozik — hogy az acél tulajdonságait legalább megközelítse.

A gömbgrafitos ötvény rugalmassági modulusza 16–18 000 kg/mm<sup>2</sup> lévén, már az acélhoz hasonló anyag.

A hengerek csapjában erősen figyelembe kell vennünk a kifáradás határát. Gyakorlati kipróbálással akarjuk megállapítani, hogy a lemezes grafitos öntöttvas kifáradási határát mennyivel haladja túl a gömbgrafitos öntöttvas.

A kísérlethez szükséges segédötvözetet a Vaskutató Intézettől kaptuk. A kísérlet alatt egyszer sem használtunk egy tömegben 60 kg-ot kitevő magnéziumos segédötvözetnél többet az előbb említett 10/90 Mg-Fe-Si (45%) anyagból és bár erős fény és hőhatások jelentkeztek, a keletkezett felhő 10 perc alatt eltávozott és a műhely levegője nem volt elviselhetetlen. A hengeröntés egész technológiája maradt a régi. Sem az adagban, sem a formázásban nem történt változás külön a modifikáció kedvéért.

Az alapanyag össze:étele

C	=	3,7–3,8%
Si	=	0,5–0,6%
Mn	=	1,2–1,5%
P	=	0,2–0,3%
S	=	0,08% volt.

Modifikálás után, amely a segédötvözet beadagolásából állott és nem volt utána szilíciumos beoltás, az elemzések átlagban a következők:

C, Mn, P, maradt az eredeti, a kén csökkent kb. 20%-kal, a Si 1,04–1,2 között volt, illetve emelkedett.

A kéregvastagság a normális esetben az előírásnak megfelelő 30–40 mm helyett max. 20 mm volt, de volt 15 mm is. Az előforduló ennél kisebb kéregvastagságú hengert selejtnek tekintettük. A felületi keménység, szkleroszkóppal mérve, átlagban azonos a mi normális hengereinkkel, 64–68 Shore.

A megmunkálásnál egészen acélszerűen viselkedett. Szabályos forgács-

tekercesek jöttek le a csapról esztergályozás közben. A felület a csaprészen ezüstös fehér színű. Egészen finom elosztású apró-szemcsés felületet kaptunk. A kéreg alatti rész is fehér alaptónussal bír, és csak erős megfigyeléssel különböztethető meg a valódi kéregtől.

A mikrofelvétel tiszta, szabályos gömbgrafitos szerkezetet mutat.

Egyéb vizsgálati adatok a Vaskutató Intézet birtokában vannak. Ott végezték el ugyanis a szakítóvizsgálatot és a Mg-tartalom meghatározását. Egy beöntőről letört darabon eredményes kovácsolási próbát is végeztek.

Kísérleteinket egyébként elég rossz üzemi viszonyok között kellett végezni, mert kupolókemencénk meglévő adottsága mellett 1360 °C-nál nagyobb csapolási hőmérsékletet nem lehet elérni.

A célt, azaz az acélosan viselkedő gömbgrafitos szövetet tehát elértük, de — amire nem számítottunk — a kéregvastagság kisebb lett a segédötvözet Fe Si-tartalma miatt.

Ezeknél a hengertípusoknál — feltéve, hogy az üzemi próbán a csapok rózsái nem fognak morzsolódní — felvetődik az a kérdés a hengerműveknél: melyik gyártás az elfogadhatóbb számukra: kisebb kéreggel, de a csaprózsa morzsolódása nélkül kapjanak-e hengert, vagy nagyobb kéregvastagsággal, de a csaprózsa erős morzsolódásával számoljanak.

Verő prof. mai előadása után könnyű erre a válasznak. Fém magnézium vagy elektron adagolásával kell a gömbgrafitos szövetet elérni, a szovjet öntődékekben már kipróbált és bevált eljárás szerint. A kéregvastagság-csökkenést ugyanis az a sok Si jelenléte okozza, amelyet a segédötvözettel vittünk be az anyagba. Ezt az utat kell tehát alapos kísérlettel kipróbálni. Kísérleteink ilyen értékelése azonban csak azokra a hengerekre vonatkozik, amelyeknél nagy kéregvastagság a kívánalom.

Nagy lemezhengereknél, vagy akár kaland-r- és gumikeverő-hengereknél is, a kéregvastagság iránti követelmény 10—20 mm. Ilyen hengerek gyártásánál már a kísérleteink eredménye felhasználható, ami meg is történt. A borsodnádasi lemezgyár részére a nálunk szerzett tapasztalatok alapján fog elkészülni Salgótarjánban a Vaskutató Intézet irányításával az első 7 tonna súlyú kéregöntésű lemezhenget, amely egyszersmind a gömbgrafitos öntöttvas első nagyüzemi bevezetését is fogja jelenteni.

Végleges eredményről még nem számolhatunk be addig, amíg a hengeröntvényeket a legrövidebb időn belül be nem szerelik és használhatóságukról, jobb élettartamukról értesítést nem kapunk. Az eddig elvégezhető vizsgálatok eredményei alapján a végleges eredmény is biztatónak látszik.

A további eljárásunk során mégis változtatnunk kell a segédötvözet összetételén az előadó említette okok miatt, mert azt alátámasztják az eddigi tapasztalataink. Helyesebb a segédötvözetben kisebb szilíciumtartalmú ferroszilíciumot használni, mert a kéregvastagság kialakítására a kisebb szilíciumtartalmú segédötvözet használata nagyobb találati biztonságot ad. Ezenkívül annak alacsonyabb is az olvadáspontja.

A segédötvözet készítését nem mi végeztük, sem a Vaskutató Intézet, hanem készen kaptuk. Ennek a készítése, tapasztalatunk szerint, még nem lehet jól kidolgozott. Két szállítmányt használtunk ugyanis eddig. Az első is és a második is 10% Mg-tartalmúnak volt jelezve. Mégis, amíg az első szállítmánnyal végeztük a kezelést, nem volt semmi zavar, vagy probléma a kezelésnél. A második szállítmányból vett segédötvözetet ugyanolyan mennyiségben használtuk, és mégis olyan fény- és meleghatás, valamint gáz-fejlődés következett

be, szemben az előzővel, hogy pár percre megzavarta a kezelést, és annak betartandó idejét túlléptük.

Nagy súlyt kell tehát helyezni a segédötvözet gyártásánál arra, hogy biztos összetételű, megbízható anyagot kapjunk.

Ezek a jelenségek igazolják azt, hogy a Mg-s modifikációs fémbeviteli módszerben mégsem értünk el olyan fejlődést, hogy a kezdeti bizonytalanságokat elkerülhettük volna.

Ezzel szemben fejlődésnek kell minősíteni azt az eredményt, hogy 2 és 4 tonna súlyú kéregöntvény szövetszerkezetében tiszta gömbgrafitot értünk el és szövetét acélossá tette.

Fejlődés lett volna a kezelés módszerében, ha azt fémmagnéziummal való ötvözéssel végeztük volna el, amint erre utalás is történt az előadás során.

Véleményem szerint a tudományos kutatás feladata lesz nemcsak a kezelési módszerek további fejlesztése, hanem a gömbgrafitos öntöttvas összes tulajdonságainak feltárása is.

Külföldön szerzett tapasztalatok szerint a jó minőségű kéregöntésű hengereket Cr-Ni-Mo-ötvözéssel és lángkemencében történő olvasztással állítják elő. Velük szemben mi nagy hátrányban vagyunk. Igen időszerű lenne tehát a fejlődés megindítása.

Az üzemünkben történt — csupán néhány hetes — kísérleti kezdeményezésünk szerény lépés volt a fejlődést biztató kezdet felé, hogy a hengerművek állandóan hangoztatott kívánságának megfelelően a hengerek minőségében elérjük a technikai optimumot.

Népgazdasági szempontból is rendkívül fontos, hogy megoldjuk a hazai kéreghengergyártás eddig ismertett problémáit, amely szorosan összefügg, sőt egy és azonos a nagy szilárdságú öntöttvas kérdésével. Ennek elérésére magnéziumos modifikációs módszerrel tettük meg az első biztató eredménytel kecsgetető lépéseket, mert a kéregöntésű hengerek problémájának megoldása igen sürgős központi kérdése hengergyártásunknak.

Verő prof. a mai modifikációs eljárások javítására, fejlesztésére 5 pontban foglalja össze javaslatait.

Véleménye szerint a Fe-Si-os modifikálást üzemünkben meg kell honosítani. E téren *csak* üzemi kísérletezésre lehet szükség.

Javasolja továbbá, hogy az üzemekben a gömbgrafitos öntöttvas gyártási eljárását meg kell honosítani. A ma használatos ferroszilíciumos magnézium segédötvözet helyett azonban a fémmagnéziummal való ötvözés bevált szovjet módszert ajánlja.

Kétségtelen, hogy a fejlődés iránya a jobb és tökéletes felé ezt mutatja. Kutatásunknak tehát foglalkozni kell ezzel a módszerrel. Itt azonban a tudományos kutatásnak az üzemekkel összefogva kell azt a helyes kezelési eljárást megmutatni, ami a szovjet öntődékben bevált. Jelenleg ugyanis az üzemeknek nincs a birtokában a fémmagnéziumos ötvözési eljárás ilyen leírása sem. A kezdeményezést várjuk tehát a tudományos oldalról minél előbb.

Valószínű azonban, hogy rövid idő alatt nem lesznek eredmények. Ezért ajánlatosnak tartom a ferroszilíciumos magnézium ötvözéssel megkezdett üzemi kísérleteket tovább folytatni, mert az eddigi eredmények biztatást adnak legalább is a kis kéregvastagságot igénylő kéreghengereknél. A segédötvözet gyártásánál azonban igen élesen kell lefektetni, hogy a ma még meglévő összetételű bizonytalanságokat elkerüljük. Ennél az eljárásnál ugyanis a ferro-

szilícium jelenléte a fém magnéziummal történő ötvözés esetében is szükséges szilícium beoltást, illetőleg modifikálást kívánja elérni.

Az ötödik pontban foglaltakat megjegyzés nélkül fogadom el, annál is inkább, mert a mi kísérleteinknél ez a javaslat meg van valósítva.

E megjegyzéseimmel a javaslatot elfogadásra ajánlom. És azzal a reménnyel fejezem be felszólalásomat, hogy kormányzatunknak eddig is meghozott nagy anyagi áldozata után népgazdaságunk számára a mai tanácskozás meg fogja hozni jelentős eredményeit.

#### HARGITAY SÁNDOR

*Verő* professzor kartárs előadásának ahhoz a részéhez kívánok hozzászólni, amelyben a Fe-Si-mal végzett modifikálás eredményeit foglalta össze.

Az RM-Művek vasöntődéinek gyártmányai túlnyomórészt kényes szerszámgéöntvények és kényes robbanómotoröntvények. Az előírt 26 kg szilárdság biztosítása nem okozott különösebb gondot, de a nagyobb súlyú — 1,5–2,2 tonnás — szerszámgéöntvényeknek az új öntéstechnológia szerint nedves formában való öntésével 1950 őszétől kezdve (különösen a téli hónapokban) elég gyakran előfordult, hogy a vékony falak felesen, vagy fehéren dermedtek és a megmunkálásnál nem kívánatos nehézségeket és szerszámfogyasztást okoztak. A feladat az volt, hogyan lehet kiküszöbölni az egyenlőtlen lehűlésből eredő keménység-különbségeket, és biztosítani a vastag csúszófelületekre előírt átlagos 200 Brinell-keménység mellett a vékony falak jó megmunkálhatóságát, tehát a szürkén való dermedést. Tapasztalatunk szerint, ha sikerült az 1400 C° feletti csapolási hőfokot elérni és magas hőfokon önteni, a hibát részben ki lehetett küszöbölni, csak az volt a baj, hogy a rendelkezésre álló koksminőséggel ritkán sikerült elérni a kívánatos magas csapolási hőfokot. Más utat is kellett tehát keresni, s a következő lépés az volt, hogy zárt melegítő felöntéseket alkalmaztunk. Ezzel a megoldással sem értünk el teljesen kielégítő eredményt, s így a feladat nem volt megoldott. Ilyen előzmények után örömmel fogadtuk a Fe-Si-mal való modifikálás bevezetését, amellyel a lengyel tapasztalatcsere tanulságai szerint az egyenlőtlen lehűlésből eredő keménység-különbségeket ki lehet küszöbölni. A Fe-Si-mal való modifikálás végrehajtása igen egyszerű feladatnak látszott, hiszen a megadott technológia szerint nem kellett egyebet tenni, mint a megfelelő szemmagyságúra törött 75%-os Fe-Si-ot átlagosan 0,3% mennyiségben beadagolni a folyókába és öt perc eltelte után, a 15 percen belül önteni a darabot. A probléma ott kezdődött, hogyan lehet biztosítani a gyenge koksminőség ellenére is a megkívánt minimális 1380 C° csapolási hőfokot. Kupolóinkat még a modifikálás gondolatának felvetése előtt kétsoros fúvókákkal láttuk el, mert tapasztalat szerint így lehetett biztosítani a magasabb csapolási hőfokot, a fenékrefúvatást is megvalósítottuk, hogy az első csapolások hőfokát is emelni tudjuk; a fuvó levegő mennyisége szintén megfelelő volt, gyakorlati szakemberek is rendelkezésre állottak és mégis gondot okozott az 1380 C° feletti csapolási hőfok biztosítása. A Fe-Si-mal való modifikálás kísérleti stádiuma ezért húzódott hosszabb ideig és csak a csehszlovák tapasztalatcsere után, ez év februárjától tudtunk áttérni a modifikálás üzemszerű bevezetésére. Őszintén meg kell mondanom, ma sem tudjuk állandósítani a magas csapolási hőfokot és éppen ezért nem tudtuk általánossá tenni a modifikálást, pedig közben rátértünk az ú. n. Corsali-féle eljárásra is, de ha nincs nagyobb szilárdságú koks, tisztán gyengébb minőségű

koksszal nem tudjuk biztosítani az 1380 C° feletti csapolási hőfokot. Tulajdonképpen ebben látom a Fe-Si-mal való modifikálás elterjedésének legfőbb akadályát. A feladat legegyszerűbb megoldása az lenne, hogy biztosítsanak megfelelő minőségű kokszot az öntödék számára, de mert erre — úgy látszik — nincs lehetőség, feltétlenül szükséges, hogy a Vaskutató Intézet az üzemek tapasztalatainak felhasználásával dolgozza ki a forró olvasztás technológiáját és bocsássa rendelkezésére azoknak az öntödéknek, ahol a kupolókat az új technológia szerint átalakították és megvan a szakszerű vezetés is.

Az RM-műveknél a Fe-Si-os modifikálást nem az 50 kg-on felüli szilárdság biztosítása érdekében vezettük be, arra nincs szükség pillanatnyilag, de igenis szükség volt az egyenlőtlen lehűlésből eredő keménység különbségek kiküszöbölésére, és ez sikerült is. A szilárdságot inkább a kísérleti stádiumban vizsgáltuk, s a fősúlyt kezdettől fogva arra fektettük, hogy az előírt keménység biztosítása mellett a feles és fehér dermedést kiküszöböljük. Ezt a célt elértük, és ezideig 1100 modifikált vasöntvényt gyártottunk.

Az elmúlt hónapok tanulságai szerint tovább kell szigorítanunk a technikai fegyelmet, de a koksz-szállítmányoknak is rendszeresebben kell érkezniök, különben jó szakemberek, megfelelően átalakított kupolók és jó technikai előírások esetén sem lehet biztosítani a szükséges magas csapolási hőfokot, s a modifikálást nem lehet olyan mértékben elterjeszteni, amint az kívánatos.

A Mg-mal való modifikálás kérdéséhez csak annyiban kívánok hozzászólni, hogy az azzal járó fényjelenség és gázképződés, saját tapasztalatom szerint is kétségtelenül befolyásolja bevezetését, de nem jelent olyan akadályt, amit nem lehetne leküzdeni. Nem hiszem, hogy akadna közöttünk egyetlen olyan öntödei műszaki vezető is, aki megfelelő adottságok és főleg technológiai előírások birtokában nem követne el minden lehető a gömbgrafitos vasöntvények előállítására érdekében, éppen ezért helyeslem azoknak a pontoknak megvalósítását, amit Verő professzor kartárs javasol. Javaslom továbbá, hogy a gazdag szovjet tapasztalatok felhasználásával folytassuk tovább a kísérleteket, de lehetőleg egy külön erre a célra beállított öntödében és a vaskutatóban, mert az üzemek operatív terveik teljesítése mellett képtelenek olyan odaadással foglalkozni a kérdéssel, mint amelyet az megkövetel. Bevált technológia segítségével az ütemszerű termelésnek nem lehetnek akadályai.

#### JÁNDI GÉZA

Verő kartársunk előadásában a nagyszilárdságú öntöttvassal elérhető gazdasági eredményekkel foglalkozva, bizonyos határt kíván szabni azoknak a törekvéseknek, amelyek a nagy szakítószilárdságot jelölik meg, mint az anyagok közt fennálló verseny egyedüli alapját.

A gömbgrafitos öntést és a modifikálást a nagy szilárdságú öntöttvas előállítására irányuló törekvéseket két fő csoportra oszthatjuk:

*Az egyik, amelyik igen nagy szilárdságú, rendszerint nagy nyúlású, sőt kovácsolható, tehát acélértékű öntvényt kívánt »feltalálni«, nem igen jutott túl a valóban szenzációs próbapálcák termelésének határain és legfeljebb néhány igen egyszerű forma öntvényen alkalmazta azt (ezt is legtöbbször hőkezeléssel).*

*A másik nem távolodott el a szürkevas fogalmától és lényegében csak az ismeretes gyártási eljárásokat tökéletesítette.*

Így született meg a perlites öntvény, amely a forma előmelegítésével érte el, hogy a kis C-Si-tartalmú ötvözet ne dermedjen fehéren és több más,



az adagolás és a kupolókemence menetének megfelelő szabályozásával működő eljárás, amely a perlites szövet kialakításával, vagy a szilárdság szempontjából hasonló értékű finom szemcséjű grafitos szerkezettel ért célhoz.

A gömbgrafitos öntvény az első csoportbeli — annakidején csak a próbapálcáig eljutott — törekvéseknek a teljesítését jelenti, a modifikálás pedig a perlites és evvel egyenértékű nemesvasgyártás utódja.

A gömbgrafitos öntvény valóban csak az előállítási módját tekintve nevezhető öntöttvasnak, új anyag, melynek alkalmazási területét igen nagy mértékben a gazdasági szempontok határozzák majd meg. Öntöttvasból, illetve csak öntöttvasból azok a géprészek készülnek, melyeknél a nyúlás nem kívánatos: gépállvány és gépalap jellegű elemek, ahol csapágyhelyek és egyenesvezetékek szabják meg a bennük mozgó, rendszerint szerkezeti acélból készült mechanizmus méreteit. E fix pontoknak és vonaloknak egymástól való távolsága és helyzete nem változhatik, még egy minimális, akár csak századmilliméterekben kifejezhető rugalmas, vagy maradandó nyúlás következtében sem, és teljesen igazat kell adni Verő kartársnak abban, hogy a gömbgrafitos öntöttvas terhelhetőségének határait ezeknél a gépelemeknél a rugalmas és maradandó alakváltozásokra jellemző értékek adják meg (arányossági határ, folyási határ), és hogy ilyen alapon a gömbgrafitos öntvényt nem terhelhetjük erősebben, mint a lemezes grafitosat. Alkalmazási tere tehát nem itt van, hanem azoknál a gépelemeknél, melyek eddig acélöntvényből vagy kovácsolással készültek s amelyeknél megfelel ez, az acél és öntöttvas között fekvő »új anyag« is.

A modifikált öntvény, gyakorlatilag előzetes nyúlás nélküli nagy szilárdságú szürkevas, az előbbieken meghatározott gépelemeknek jelen tudásunk szerinti legjobb és leggazdaságosabb anyaga. Mint a régebbi, már említett nemesvasat termelő eljárások, így a modifikálás is leginkább a perlites szövetszerkezet kialakításával teszi az öntvényt nemesebbé. Minden előnyös tulajdonsága: nagy húzó- és szakítószilárdsága, falvastagság érzéketlensége, kopásállósága, a dagadással szemben való ellenállása mind olyan, amelyet addigi ismereteink szerint a perlites struktúra, illetőleg a finomszemcséjű grafitos szerkezet biztosít.

A modifikálási folyamat lényegét nem ismerjük még teljesen, éppúgy, mint a gömbgrafitos képződés feltételeit sem; a modifikálás kivitelére vonatkozó előírások azonban elég határozottak ahhoz, hogy öntődeink nagyobb csoportja különleges berendezkedés nélkül is megkezdheti ennek, az eddigi nemesvas eljárásoknál egyszerűbb és eredményesebb módszernek a bevezetését.

Verő kartárs kimutatta, hogy a gömbgrafitos öntvénynek anyaggal, súllyal való takarékoság szempontjából nincs előnye a lemezes grafitossal szemben, de nem tért ki arra, s így ezt talán most én említem meg, hogy a lemezes grafitos öntvények között a nagy szilárdságúnak, így elsősorban a modifikáltak viszont hatalmas gazdasági előnyei vannak a közönséges szürkeöntéssel szemben, mert a nagyobb szakítószilárdság arányában, ennek birtokában könnyebb, kisebb falvastagságú öntvények szerkeszthetők. Az öntöttvas gépelemek nemesak nyomó, hanem húzó- és hajlító-igénybevételnek is ki vannak téve s a konstruktor itt nyilván a »húzott szálát« veszi figyelembe, mint veszélyeset, és természetesen az öntöttvas kis szakítószilárdsága alapján ezt eddig igen bőven dimenzionálta. Így a gépágy jellegű öntvények nagyjából kettős T szelvényre emlékeztető keresztmetszete, majdnem mindig változó húzó-, nyomó-, sőt ugyancsak változó hajlító-igénybevételek felvételére hivatott. Erre, mint legjobb példát a dugattyús és hajtókaros gépek ágyát említhetem,

ahol a kettős T szelvény talpelemeinek igénybevétele tekintve, a nemesvas, a modifikált öntvény használatával 25—30% anyagtakarítást is elérhetünk.

A modifikálás kivételére vonatkozó közvetlen tapasztalatainkból az Április 4. gépgyárban folyamatban lévő dugattyúgyűrű öntésekről számolok be még néhány szóval, amit a Vasipari Kutató Intézet és a K.G.M. illetékes osztálya kezdeményezésére és közreműködésével folytatunk.

75%-os Fe-Si-mal modifikálunk, amelynek aránya 0,3—0,5% között változik; az olvasztási hőfok 1360—1400 között mozog. A modifikátoron kívül még a foszfor tartalom beállításá is van gondunk, mert az eddigi megfigyelések szerint a dugattyúgyűrű üzemére kedvező hatással van a zárt, illetve gyengén szakadozott foszfidháló képződése.

Dugattyúgyűrű gyártásunk jelenleg egyes öntésű gyűrűkben havi 10 t tiszta öntvényt termel s ezenkívül másik 10 t-t hüvelyalakban, valamennyit modifikáltan.

A modifikálás ilyen értelmű bevezetése két szempontból hozott eredményt:

1. az aránylag kis keresztmetszetű, kis falvastagságú öntvényekben ezúton tudjuk elérni az előírt nagy keménységet s ezzel lényegében arányban a kész gyűrűk megkívánt tangenciális feszítő erejét anélkül, hogy az anyag »kifehérednék»; ugyanígy a modifikálás biztosítja, hogy ugyanazon öntvény gyűrűn belül egyenletes keménységet kapjunk. Előzőleg, a modifikálás nélküli öntésnél 30—40 Brinell-keménység különbséget is mértünk ugyanazon a darabon, amíg csak azt az intézkedést nem tettük, hogy a formán a kívánt öntvényt 3—4-szeresének megfelelő vasmennyiséget öntöttünk keresztül s gyűjtöttünk a beöntéssel szemben egy üregbe (1 pogácsába), mielőtt azt megdermedni hagytuk volna. Ez az eljárás természetesen rendkívül növelte az olvasztott és improduktív vasmennyiség révén a gyártási költséget. Modifikált öntésnél ez az átöntés feleslegessé vált és ezt az anyagot megtakarítottuk. (10 t-s termelésnél 30—340 t folyékony vastöbbllet). A modifikálás biztosította azt is, hogy a legkülönbözőbb méretű gyűrűöntvényeket ugyanazon, vagy kevésszámú adagféleséggel tudjuk jól leönteni.

Öntvényeink Brinell-keménysége 250—280, szakítószilárdsága 28—33 nagy találati biztonsággal selejtünk, fehér és fekete selejt együtt, a modifikálás bevezetésekor 55—60% volt, jelenleg 30% körül van, javuló tendenciával.

2. A felsorolt és a falvastagság érzékenység szempontjából döntő eredményen kívül még megemlíthetem a következőket:

Robbanó motorok dugattyúgyűrűinél a legtöbb eddigi elemzés szerint a külföldi gyártmányok Cr-Ni ötvözésűek; Fe-Si modifikálású gyűrűk az eddigi kísérletek biztatása szerint ilyen ötvözés nélkül is megállják helyüket. Ha ez utóbbi, nemzetgazdasági szempontból igen nagyjelentőségű probléma még nem is tekinthető a praxis által igazoltan véglegesen megoldottnak, a dugattyúgyűrű-öntvények modifikálásával kapcsolatban azt a biztos megállapítást tehetjük, hogy a szürke öntvények alacsonyabbrendűségének legfőbb okát, a falvastagság érzékenységet ezúton erőteljesen le tudjuk küzdeni, s mindazt az előnyt, amit régebbi ismereteink szerint is a perlitesszövetű nemes öntöttvas ad, nagy találati biztonsággal, egyszerű eszközökkel használhatjuk fel népgazdaságunk javára.

Ezért üdvözljük örömmel a K.G.M.-nek azt a rendelkezését, amellyel máris megindította öntődeink egy csoportjánál a modifikálás fokozatos bevezetését.

## KERPELY KÁLMÁN

Az előadásból hallottuk, hogy a gömbszemcsés grafit primér kristályosodása igen beható kutatások tárgyát képezte, azonban úgy látszik, hogy ezen a téren még sok tisztázatlan kérdés vár megoldásra. Mindenesetre feltűnő, hogy a gömbszemcsés öntöttvas szövetfelépítése, illetve kristályosodásának lefolyása eltér a közönséges öntöttvasétól.

A közönséges öntöttvasnak közel eutektikus megdermedését kis dúsulási hajlam jellemzi, tehát eltér a gömszemcsés grafitképzéstől. Ez utóbbi szövete csaknem kizárólag globulitos szerkezetű szilárd oldat, melynek közepe felé található a gömbszemcsés grafit, amire egyébként az erősen dúsulásra való hajlamosságból is lehetett következtetni. Hallottuk azt is, hogy a gömbszemcsés öntöttvas képződésével velejár egy lényegileg jelentős hőköz a szilárd oldat területén, mellyel ezen öntöttvas gömbszemcsés grafitképződésének elmélete összefüggésben van.

Az is figyelemreméltó, hogy a gömbszemcsés öntöttvas mindig több zárványt, szuszpenziót stb. tartalmaz, mint a közönséges öntöttvasfélések, úgyhogy a szerkezetének mintegy *jellegzetessége a nagy zárványtartalom a Mg-mal és Si-mal kezelt öntöttvasféléseknél*. Épp ez a sok, magas olvadáspontúnak is látszó tisztátalanság, szuszpenzió, a határozott fajtájú csírák segítik elő a gömbszemcsés grafit képződését, legalább is hozzájárulnak ahhoz és bizonyos körülmények között elnyomják a lemezes grafit létrejöttének lehetőségét. Valószínű, hogy a lemezes grafit akadálytalan képződése hexagonális, vagy hozzá közelálló csírájú rácsszerkezethez van kötve és ha ezek hiányoznak az olvadékból, akkor feltételezhetően a grafit-kiválás elmarad, vagy erősen késik és ez valahogyan összefüggésben van a gömbszemcsés grafit képződésével. A primér kristályosodást elsősorban a saját és idegenfajtájú csírák befolyásolják. Lényegileg csak akkor remélhetünk hathatós változást az öntöttvas kristályosodási mechanizmusában, ha sikerülne ezeket a csírákat közömbösíteni. Emellett a képződött reakciótermékeknek (csíraoltás következtében) sem volna szabad a lemezes grafit kristályosodásának kedvezni. Ezzel magyarázható, hogy pl. a folyékony öntöttvasat Al-mal dezoxidálva gömbszemcsés grafit nem képződik, mert a hexagonálisan kristályosodó  $Al_2O_3$  a lemezes grafit kristályképződését segíti elő. Viszont a fürdőt alkáliákkal és földalkáliákkal kezelve, a redukció terméke kizárólag a köbös térrács szerint kristályosodik, ami lemezes grafit képződését megakadályozza és egyúttal az éppen képződő szilárd oldatnak C-nal való túltelítődöttségét elősegíti.

Az eddigi kutatások eredményeként minden jel arra mutat, hogy a Mg-os ötvözzel való oltásnál pl. a Mg-os csíráknak az olvadékban komplex rácsszerkezetűeknek kell lenniök és ezért van talán az olvadéknak nagyobb túlhűtésre szüksége, hogy a csírahajtás kifejlődhessék, dacára magas hőmérsékleten is nagy stabilitásuknak. Az is tény, hogy a MgO csíra-képződmények durvábbak és így magképzőhatásuknak kisebbnek kell lenni, mint pl. a MgS-ének.

A csíra-képződés nem azonnal megy végbe, hanem bizonyos időt igényel és így bizonyos időbe telik, míg a valószínűleg két dimenziójú részecskék áramlása megindulhat.

Nagyon valószínű, hogy itt a diffúziósebesség is közrejátszik, mert egyrészt a kristályosodás folyamán a fázisépítő részecskéket a diffúziósebesség befolyásolja, másrészt épp a gömbszemcsés grafit kristályosodására jellemző és fennálló a túlhűlés, mely általában úgy a grafit, mint alapfázis kristályoso-

dásra különbözőképen hathat. Az alapfázis csírájához a másik fázis levált részecskéi további csírákat indukálhatnak az alapfázis részecskéiből, úgyhogy a már ismert sugaras vagy lapkás szerkezet létrejöhet.

Itt felvetődik a probléma, hogy a *primér grafit a folyékony vagy szilárd állapotban keletkezik-e?* Miután az öntöttvas túlhűlési hajlama a Mg-hozaggal nagyobb lesz, úgy feltételezhető volt, hogy a gömbszemcsés kristályosodás feltételeinek megfelelően a *szferoidok nem egyebek, mint a grafit túlhűléses alakulatai*. Ezen egyszerű feltevessel szemben azonban fontos újabb érvek szólnak. Mert pl. lemezes grafit előfordulhat gömbszemcsés grafitban is (Adey közölte képek), mely szerint a gömbszemcsés grafit biztos, hogy a közönséges grafit képződése előtt kellett hogy képződjék. Másrészt szürkén dermedő öntöttvas is erősen túlhűlhet a gömbszemcsés kristályképződés legkisebb jele nélkül. Ezek szerint a gömbszemcsés grafitképződés *nem fogható fel, mint túlhűlés folyamánya*.

Viszont a szürkevas túlhűlési hajlama a vas túlhevítésével erősen nő, és dacára 30–35°-os túlhevüléseknek, túlnyomóan lemezes grafit képződik. Szulfid jelenlétében ez a túlhűlés 80°-ot is kitehet. Újabb kutatások szerint az austenit túlhűléses kristályosodását szintén az idegenfajtájú csírák száma és jellege indítja meg. Minél több az ilyen csíra az olvadékban, annál kisebb lesz a dendrit kristályok képződésére a hajlam és végül a felületi feszültség olyan értékeket vehet fel, hogy a primér austenit globulitszerűvé válik. Egy további kérdés, hogy az austenites kristályképződés az eutektikus hőmérsék vonal alatt folytatódik-e és milyen mértékben dúsul a primér austenit határretege C-ben. Bizonyíték híján csak feltételezhető, hogy a növésben lévő és sokkal kisebb széntartalmú austenit egy koncentráltabb C-réteget tol maga előtt, úgyhogy a maradék olvadék austenittel határos rétegében a C-koncentráció és a túltelítődöttség a legnagyobb lehet. Ebben az esetben pedig a feltételeknek kedvezőknek kell a grafitképződés szempontjából lenni.

Tehát az idegen fajtájú csíra aktiválásához szükséges túltelítődöttség nem közvetlenül az austenit hatás felületén, hanem attól egy kis távolságra jelentkezik, és most megindult egy idegen csírából kiindulólag egy grafitrészecske növése, és e grafitrészecske többé-kevésbé durva lemezkévé nőhet. Ugyanakkor egy equivalens szemcséjű maradék olvadék kiválásra kész és mint e grafit eutektikus társa, lerakódni igyekszik, legvalószínűbben a primér austenitre. Egy egymással ellentétes irányú diffúzió áramlás folytán a maradék oldat karbonja a grafithoz, és a vasban oldott karbon az austenithez vándorol. Idegen fajtájú csírák, pl. FeS jelenléte a grafit kristályosodását befolyásolhatja kisebb túlhűlés esetében is, és így közvetve okai lehetnek a növesi modifikációnak.

Ha csak ilyen csírák vannak az olvadékban, akkor a grafit gömb alakban is kiválhat. Az eutektikus társ a már meglévő primér austenitre kristályosodik, és a ha r felület maradék olvadék austenit és maradék olvadék gömbszemcse egymás felé nőnek a diffúziósebesség megszabta mértékben.

Az azonban biztos, hogy a gömbszemcse lassabban nő, mint a lemezes grafit. Az pedig, hogy az öntöttvasnak eutektikus kristályosodása gömbszemcsés grafitnál az eutektikus pont alatt alacsonyabbra esik, nem a túlhűléssel függ össze, hanem az eutektikus rész kisebb kristályosodási sebességével.

A szferoid képződés kétdimenziós csírákkal függ össze, és ha egydimenziós csíra is elegendő számban jelen van, úgy mindkét kristályforma egyidejű-

leg is létrejöhet. Miután az eutektikus austenit a szemcsék felé nő, ezt végül is körülveszi, úgyhogy a maradékja mintegy elválasztódik.

Látjuk tehát, hogy a folyamatok értelmezése nem egyszerű, mert a túl-hűlés mellett igen fontos szerepe van a csírának is, mint a folyamatoknak, ha szabad így kifejezni, az irányítója, mert hogy gömbszemcsés vagy lemezes grafitképződés jön-e létre, az végeredményben az idegen fajtájú csírák és a grafit rácshasonlóságától függ a kutatás mai állása szerint.

Talán közelebb hoz minket a kérdés megoldásához a rádióaktív izotopokkal való vizsgálatok, melyek modifikátorokkal bevívve, lehetőséget nyújtanak a csak nagyon röviden vázolt összefüggések felderítésére és annak megállapítására, hogy a gömbgrafit cementit elbomlásának, vagy eutektikus primér kristályosodásnak folyamánya-e? Kíváncsún tartanám a kutatásokat ez irányban is kiterjeszteni és Akadémiánk figyelmét a rádióaktív nyomelemekkel való vizsgálat fontosságára épp ezen a téren felhívni. A kérdés tisztázása hathatósan fogja elősegíteni az ipari alkalmazás fejlesztését.

#### CSISZÁR MIKLÓS

Az elhangzott modifikációs kérdéssel kapcsolatban a Fe-Si-mal történő beoltás nagyüzemi gyakorlatával óhajtok foglalkozni.

A Fe-Si-mal történő beoltással az RM-Művek öntödéiben október óta foglalkoztam intenzíven a szovjet irodalom és a lengyel tanulmányút tapasztalatai alapján.

A kísérletek célja megállapítani különböző szelvényekben keletkező keménységkülönbségeket, nemkülönben a szövetszerkezetben történő változásokat.

Október-november hónapban folytak ezek a kísérletek, abból az alapelvből kiindulva, hogy a beoltás nélküli ékpróbának fehérre kell dermedni a helyes kiinduláshoz s az így beoltott folyékony fűrdő 5–12 perc alatt fejti ki hatását.

Csehszlovákiai tapasztalataim és a saját üzemi kísérleteim azt mutatták, hogy bármilyen nagyságú darabhoz szükséges anyagot eredményesen lehet beoltani Fe-Si-mal. Ha ugyanis egyszerre nem tudunk annyi vasat csapolni a kupolából, mint amennyire szükség van a darab öntéséhez, hanem 2–3. sőt 4 csapolás is szükséges a folyékony anyag összegyűjtéséhez, akkor a beoltást az utolsó és utolsóelőtti csapolásokból kifolyó vasnál kell alkalmazni. Ugyanakkor tapasztaltam, hogy az eddigi felfogással szemben, amely minden esetben az alapanyag fehérre dermedését írja elő, a falvastagság függvénye szerint az alapanyagot úgy kell választani, hogy az fehérre vagy szürkére dermedjen.

Helyes intézkedés volt a minisztérium részéről, hogy a nagyjelentőségű kérdés tanulmányozására szakembereket küldött ki a baráti államokba, ahol a nagy szilárdságú öntöttvas előállításának kérdése mind kísérleti, mind pedig üzemi téren haladottabb állapotban volt, mint nálunk.

A csehszlovákiai út után kísérleteket folytattam most már a szövetszerkezetre vonatkozóan, különös tekintettel a grafit kiválására. Azt vizsgáltam, hogy különböző időpontokban és különböző szelvényekben hogyan válik ki a grafit, illetőleg a beoltásnak mikor van intenzívebb hatása. A beoltást 75%-os 1–2 mm szemnagyságú Fe-Si-mal végeztük, a csapolási hőfok 1395 C° volt.

A kísérleteket a beoltás után 5, 10, 15, 20 és 25 perces időközben öntött ugyanazon anyaggal végeztem. Az egyes fázisokban öntött darabok gyors



ellenőrzését kokillába öntött ékpróbákkal ellenőriztem és már itt is tapasztaltam a beoltás hatását.

A grafit kiválása és finomodása mindegyik időpontban mást és mást mutatott. De míg a 80 mm-es falvastagságú darabnál a grafit legintenzívebb finomodása 20 perccel a beoltás után öntött próbatestnél mutatkozott, addig a 10 mm-es falvastagságú próbatest már az 5 perc után öntött próbatestnél grafit finomodása észlelhető volt. A 80 és 10 mm falvastagságokat azért vettem kísérleti alapul, mert ezen falvastagságok jellemzőek a Rákosi Művek öntődéjében, nagy daraboknál egy öntvényen belül.

Ezeket a vizsgálatokat, amelyeket a Rákosi Művek metallográfiai laboratóriumának segítségével készítettünk el, bemutatom alátámasztás céljából. Ezek a felvételek azt mutatják és bizonyítják, hogy vékonyszelvényű daraboknál a Fe-Si-mal történő beoltás lényegesen kényesebb és gyorsabb munkát kíván, mint a vastagszelvényű daraboknál. Ugyanakkor nagyon érdekes az a tünet, hogy míg a beoltásnál a grafitnak finom lemezekbe történő kialakulása teljesen bizonyított és látható, ezzel szemben a szövetszerkezetben lényeges eltérés nem mutatkozott. Természetes, hogy kísérletsorozatokra van szükség, amíg rá fogunk jönni arra, hogy a grafit finomodását mi idézi elő. Egyet tudunk, azt, hogy a beoltás következtében az anyag különböző szelvényeiben mutatkozó keménységmérések lényegesen közelebb kerülnek egymáshoz. Mert míg az alapanyag két szélső értéke között lévő különbség 68 Br-egység volt, addig a 10 perces várakozás után öntött darabnál 34 Br- és a 20 perces öntött darabnál a legnagyobb különbség 36 Br-egység volt. Szakítószilárdságoknál átlagban elértük a 30—34 kg szakítószilárdságot.

A mikroszkópos vizsgálatokból arra lehet következtetni, hogy a nagyobb szilárdság és a keménység különbségek csökkenése szoros összefüggésben van a grafitnak a beoltás következtében történő átalakulásával. Ezért a további vizsgálatokat, különös tekintettel a grafitlemezek finom eloszlására, illetőleg finomodására kell irányítani.

Ezen eredmények *figyelembevételével a kutatás célja* :

1. Fe-Si-mal történő beoltás hatásának vizsgálata a várakozási idő, a keménység alakulása és a grafitlemezek átalakulása a különböző falvastagság függvényében.

2. Az egyes szelvények között mutatkozó szívódáscsökkenés mértékének megállapítása.

3. A grafit finomodása, különböző időfázisokban történő öntéskor, illetőleg melyik az a kulminációs pont, ahol a finomodás csökkenni kezd és melyik az a végső időpont, ahol az anyag ismét eléri — mert el kell, hogy érje — az eredeti állapotot.

4. Az izzított és poralakban bevitt Fe-Si hatásának vizsgálata különböző űrméretű üstöknél, különböző falvastagságnál 1380° felett és alatt.

(Ezt igen fontos kérdésnek tartjuk, mert meggyőződésünk, hogy a beoltásnak legnagyobb akadálya az 1380° feletti csapolási hőfok elérése.)

5. Kísérlet útján meg kell állapítani a Fe-Si-mal beoltott öntöttvas anyag kopásellenállóságát és rezgéscsillapító hatását.

Ezen kutatási pontok országos érdekűek, országos jellegűek, már csak azért is, mert ebben az esetben biztonsággal végezheti bármelyik mű az öntöttvas Fe-Si-mal történő beoltását.

A Rákosi Művek szürkeöntődei most már öntvényeik 80%-át oltják 75% Fe-Si-mal sikeresen, s az eredmények mutatkoznak a minőségben.

A beoltást minden esetben 0,3% Si-adagolással végezzük és az adagot változtatjuk aszerint, hogy vékony, közepes vagy vastagfalú öntvényeket akarunk önteni a beoltott anyagból. Az adag összeállításánál az előírt 170—230 Br-keménység betartása a cél. Az ily módon öntött öntvényeink súlya 5 kg—6000 kg közt van.

Beoltott öntvényekből kísérletképpen különféle színes fém öntvényeket helyettesítettünk (különféle csapágyak, fogaskerek stb.). Ezen kísérletek jó eredménnyel végződtek.

Megállapíthatom, hogy a Fe-Si-mal történő beoltást minden szürkeöntő-débe be kell vezetni, mert ez országos érdek és nagy anyagtakarékossággal jár. Bevezetésétől félni nem kell, mert csehszlovákiai tapasztalatom is azt mutatta, hogy egészen primitív eszközökkel nagyon jó eredményeket lehet elérni.

A beoltásnak két fontos előfeltétele van: az egyik a minimum 1380<sup>o</sup>-on csapolt vas, melynek előfeltétele a jó kokszt és a korszerűen átalakított kupolókemence, a másik a 75% Fe-Si biztosítása megfelelő szemmagyságban.

#### KÖRÖS BÉLA

Egyes kutatási feladataim ez év elejétől kezdve most már a Vasip. Kut. Int.-ben szoros kapcsolatba hoztak a jelenleg szőnyegen forgó kérdéssel: a nagy szilárdságú öntöttvas problémáival és ezért legyen szabad a *Frank* kartárs előadta több lényeges szempontot kiegészítenem és részben számszerű adatokkal is alátámasztanom.

Ilyen elsősorban a segédötvözetek olvasztási módjának kérdése. Úgy a múlt év őszén, mint a közelmúlt hetekben nagyfrekvenciás kemencében végzett olvasztások igazolták, hogy az olvasztásnak ez a módja igen célszerű és gazdaságos, egészen mérsékelt, 3—5%-os Mg-veszteséggel jár. Bár a Mg a legalacsonyabb hőfoknál olvad, de azt a szilárd, poralakú fedőso kitűnően védi. S mivel az olvasztás jelenleg még 8—12%-os teljes kálóval jár (főleg Fe) tehát az eddigi olvasztások viszonylagos Mg-dúsulást eredményeztek. Valószínűnek látjuk, hogy a 8—10% Cu a segédötvözetből teljesen elhagyható lesz, ezt igen rövid időn belül eldöntjük.

Lényegesebb elvi szempontnak tartom magának a segédötvözetnek összetételét. A külföldi ötvözetek használatakor 1—1,5% Ni-tartalom adódik a gömbgrafitos öntöttvasban, de véleményem az, hogy Ni-nek ez a javító hatása eltörpül, illetve háttérbe szorul a mögött a radikális nemesítés mögött, amit a Mg bevitele végez. *Karsay* István, intézetünk aspiránsának bár még csekély számú vizsgálati adatai alapján a Ni-mentes gg. anyag hőkezelése után 39—46 kg mm<sup>2</sup> szakítószilárdság és 8—18,5% nyúlás érhető el. De visszatérve saját kutatási területemre: a kényesebb kéreghengereknek, főleg a jelenleg még nagy részben külföldről érkező lemezhengerek szilárdságának Mg-kezeléssel való megnövelésére, azt kell mondanom, hogy egyelőre ideálisabb segédötvözetet nem tudok elképzelni, mint a Fe-Si-osat, amely révén kéntelenítés, teljes gömbgrafitítás és a Si-beoltás kéregvastagság eléré-e egyidejűleg és sikeresen valószínűsíthető meg, a szilárdság jelentős megnövelésével egybekötve. A Fe-Si-os segédötvözet (Si-tartalmától függően semmi vagy csekély Si-pótlással az üstben) a legújabban kísérletezett beviteli módszerrel, minden hevesebb reakció nélkül igen jól bizonyult (Mg 20—25%). Kéreghengerek esetében több tonna anyag kezeléséről van szó, melynek az üstben történő utólagos Si-os beoltása megbízhatatlan és körülményes, míg így, ha a Fe-Si-t a Mg-mal együtt visszük be,

egyenletesen oszlik el. Általában tehát amidőn nagyobb mennyiségű öntöttvasat kezelünk, a Mg-Fe-Si segédötvözet jól beválik. A kezelendő anyag Si-tartalmát természetesen rá kell hangolni a kívánatos, végleges Si-tartalomra.

Ez a kérdés nem választható el a *segédötvözet bevitelének* módjától, mely vonatkozásban hengerkísérleteinknél új és jónak bizonyult radikális módszert alkalmaztunk. Az eljárással a Ni-es segédötvözetről sokat propagált Mg-beviteli (visszanyerési) hatásokot eddigi kísérleteimnél (egy esetet kivéve) mindig elértük, sőt túlhaladtuk. A Ganz Törzsgyár öntödéjében 500–1800 kg öntési súlyú hengerekből összesen 9 alkalommal ezideig 11 db-ot öntöttünk átlagosan 0,45% (ténylegesen 0,39–0,52%) adagolt Mg-mal. A hengerek, egyet kivéve, mind gömbgrafitosak, lemezes grafittól mentesek és legtöbbször keletkezésükben lévő, nem teljesen tömörült gömbgrafit is van. A 140–160 mm Ø-ű hengercsap alsó részéből (tehát homokba öntött vastag részéből) kivágtott tárcsa és egy ízben a beömlő is ilyen gömbgrafitot igazolt. Egy próba az elsők közül, amidőn a bevitel módját változtattuk, lemezes grafitos lett, egy próba vizsgálata még esedékes. A Mg-elemzése (általában 0,09–0,14% elemzett Mg) 18–32%-os kihozatalt igazolt, ami egyenértékű, sőt jobb a Ni-es segédötvözettel nyerhetőnél. A 0,45%-os Mg-adagolás tehát esetleg még csökkenthető lesz.

Az elemzett Si-tartalom 0,92–1,4% között van s az alapszövet ettől függően tiszta perlites, vagy max. 10%-osan cementit-perlites. Ebből igazolva látjuk *Akszenov* adatát, hogy a legnagyobb falvastagságoknál 1,3–1,5% elemzett Si kívánatos. Mi természetesen némileg még ez érték alá törekedtünk, mert a 10–20 mm kéregvastagság biztosítása ezt kívánta. Viszont az *Akszenov* megadta Mg-mennyiségnek fele is elég volt az általunk gyártott segédötvözetből a teljes gömbgrafitosodás létrehozására, ennél a nagy vastagságú darabnál. A szövetszerkezeti változások szemléltetésére bemutattunk 2–2 mikrofelvételt a szokásos gyártású és a Mg-mal kezelt hengerek csapjából (1–4 ábra). Mindezek igazolják a Mg-Fe-Si segédötvözettel elérhető jó eredményeket. Vékonyabb kéregre törekedtünk, mert lemezhenget előkísérleteknek szántuk.

A vastag hengercsapból kimetszett 12,5–8 mm-es öntöttvas szakítópróbák (ezideig 5 vizsgálat) 37,6–42,8 kg/mm<sup>2</sup> eredményt adtak. Nyúlást nem mértünk, az hőkezeletlenül nyilván csekély lehet.

Egy kísérletet már 2,8 t súlyú hengerrel a Salgótarjáni Acélárugyárban folytattunk le. Itt 0,4% volt az adagolt Mg, 1,1% végső Si-tartalom mellett tiszta perlites alapon teljes gömbgrafitosodás adódott. A kísérleteket az 5–7 t öntési súlyú lemezhengetek szilárdságnövelése érdekében fogjuk Salgótarjában folytatni. Kopásállóság, élettartam adatok csak később állnak rendelkezésre.

A Mg-nak fém vagy elektron alakban való bevitele utólagos Fe-Si-beoltással *Karsay István* aspiránsunk részfeladata. A folyamatban lévő kísérleteinek főbb eredményeit az alábbiakban foglalom össze:

A szovjet technológiához hasonló módon a Mg bevitele védőburkolatot és füstelszívást kíván és tágasabb üstöt, mint amiből egyébként önteni lehetne. A beadagolás 0,1–1,0% Mg között volt. Itt is igazolódott, hogy a növekvő falvastagsághoz növekvő Mg szükséges. Általában 0,3% Mg elég volt 30 mm falvastagságig, 0,5% 60 mm falvastagságig a gömbgrafitosodáshoz. Cementit és elszórtan gömbgrafit körüli ferrit, gyakran együtt mutatkoztak. A megfelelő (0,02%) alatti kéntelenítést általában 0,25% Mg biztosította.

Hőkezeletlenül próbákkal 55 kg/mm<sup>2</sup> szakítószilárdságot ismételtelen elért

tehát nemesebb ötvözők nélkül. Kevésszámú hőkezelt próbájával a Ni-es segéd-ötvözettel kapott külföldi értékeket elérte. Így egy esetben a pillanatnyilag még talán feltűnő  $46,4 \text{ kg/mm}^2$  és  $18\%$  nyúlást is. A betétanyagok befolyásának komoly szerepe látszik kibontakozni, amiről a külföldi irodalomban még kevés szó esik. Ez irányban kísérletek folynak.

Ezek a bár nem nagyszámú, de figyelemreméltó eredmények arra mutatnak, hogy mi is legyünk erőteljesen figyelemmel a gömbgrafitos ötvények hőkezelésére, hogy az anyag jó tulajdonságait kellően kiaknázhassuk, az előzőekben már hallott célokra. Ezt a szempontot idáig meglehetősen háttérben hagytuk, mondhatnám elhanyagoltuk, jóllehet ez a gömbgrafitos anyag mint sui generis anyagfajta megfelelő helyének kijelöléséhez szorosan hozzátartozik.

\*

A Fe-Si-mal modifikált ötvények terén ezideig a szovjet MSz 4, 1, 2 és 3 minőségekkel foglalkoztam az utóbbi hónapokban. Itt rá kell mutatnom, hogy nem a modifikált öntöttvasról van általában szó, hanem meghatározott szilárdsági kategóriák reprodukciójáról. Az iparnak csak így tudunk esetleges kezdeti problémáknál segítségére lenni, mert hiszen pl. a nagyobb szilárdságú kategóriáknál 40–50, sőt 60–70 acélhozagolás és ennek megfelelően növekvő Fe-Si hozzáadás szükséges, ami pusztán dokumentáció alapján korántsem magától értetődően reprodukálható feladat. Az acéladagolás optimumának vitatott kérdését sürgősen le is vehetjük a napirendről, mert az nem 20, vagy 30, vagy 40%, hanem az illető modifikált szilárdsági kategóriának megfelelően nő 15-ről esetleg 60–70%-ig. Ami a modifikált vasöntvénygyártás név alatt jelenleg vasöntödéinkben folyik, az a primér nehézségek kiküszöbölése szempontjából kétségtelenül hasznos (szívódáscsökkentés, falvastagság-érzékenység), de nem azt a főcél szolgálja, ami ezt az anyagminőséget teljes értékűen hasznosíthatja a szilárdsági, tömörségi, savállósági, hőállósági stb. viszonylatban. Fehérre vagy felesre olvasztott anyag minőségéből kiindulva érhetőek el a minden tekintetben jó eredmények.

Modifikált kísérleteink adatai, amidőn kis kupolónknak forró olvasztását megfelelő rendszabályokkal biztosítottuk, a szovjet szabvány szakítószilárdsági értékeit mindig elérték, és mivel a szilárdsági kategóriák egymáshoz közelesnek, gyakran 1, sőt néha 2 kategóriával is feljebb kerültünk, mint az az acéladagolás szerint várható volt.

Az elvégzett 46 hibátlan próbatestű szakítóvizsgálat közül mindössze 5 volt a kategóriája alatt és mindössze három  $30 \text{ kg/mm}^2$  alatt ( $28 \text{ kg/mm}^2$  körül).

MC 4 28–48 minőség	27,1–35,1 $\text{kg/mm}^2$	8 próba
MC 4 32–52 minőség	31,2–38,4 $\text{kg/mm}^2$	20 próba
MC 4 35–56 minőség	32,5–41,1 $\text{kg/mm}^2$	17 próba

Hasonlóak a hajlítóvizsgálati eredmények, míg a behajlási értékek biztosítása terén még van tennivaló. Néhány sorozat nyomószilárdsági vizsgálat mindig felette volt a szabványos értékeknek, hasonlóan a keménységi vizsgálatok is.

A forró olvasztás hiánya  $1380^\circ$  alatt kezdett nehézségeket okozni.

Kísérleteink eredményeit a következőkben látjuk:

1. A Mg-Fe-Si segédötvözet indukciós kemencében lényegesebb Mg-veszteség nélkül jól olvasztható.

2. Ez a segédötvtözet nagyobb öntvényekhez az általunk alkalmazott beviteli móddal 20–30% hatásfokkal használható fel, még nagy falvastagságoknál is.

3. A fém Mg-kezelés találati biztonsága ugyancsak kielégítőnek látszik. Kellő óvintézkedések esetén veszéllyel nem jár és a környezetre nem káros.

4. A szilárdság hőkezelés nélkül 50 kg/mm<sup>2</sup> felett mutatkozik, hőkezelve 8–18% nyúlási adatok vannak. Ezekkel megdölni látszik a Ni-es segédötvtözet privilégiuma, bár erre még kevés adatunk van.

5. A Fe-Si-os modifikálás előírásos lefolytatása (fehérről szürkére) esetén kísérleteink szerint 30,8, 34,4, és 36,6 átlagos szilárdsági értéket ad a vizsgált 3 kategóriával, miáltal ez az anyag egyéb jó technológiai tulajdonságai is fokozottabban érvényesíthetők.

#### BUDINSZKY TIBOR

Vállalatunk az országban egyedül készíti centrifugáló öntéssel a hengerperselyeket. A vasat indukciós kemencében olvasztjuk meg, a hengerperselyeknél támasztott követelmények a motorban különleges követelmények miatt igen nagyok. A szövetszerkezetnek, a kémiai összetételnek és a Brinell-keményiségnek a legnagyobb összhangban kell lennie, de az egyes szövetelemeknek, a grafit alakjának, eloszlásának, a foszfidháló méreteinek és elrendezésének is igen fontos jelentősége van, hogy a megkívánt különleges követelményeket a perselyek gyártásánál teljesíteni tudjuk.

Ezeket a követelményeket még homokformába öntéskor is csak akkor lehet biztosítani, hogyha kidolgozott eljárás áll rendelkezésre és azt 100%-ig be is lehet tartani az üzemekben. Még nagyobb technológiai fegyelemre és egész részletekbe menő pontos kidolgozott technológiára van szükség, ha ezeket a perselyeket centrifugáló öntéssel vízzel hűtött kokillában állítjuk elő. Ebben az esetben u. i. a lehülési sebesség gyors változtatásán kívül a csapolási hőmérséklet, a túlhevítés mértéke, a betétanyagok pontos — egész kis határok között mozgó — mértéke igen nagy hatással van a szövetszerkezetre. Különös nehézséget okoz az ilyen gyártási móddal előállított perselyeknél a megmunkálás kérdése. Nem nagy nehézséggel jár u. i. a jó szövetszerkezetű hengerperselyt vízzel hűtött kokillában előállítani akkor, ha megmunkálásra, illetve kérgesedésre nem vagyunk tekintettel. Ebben az esetben a kéreg megszüntetésére mintegy 850°-on történő lágyításra van szükség, ami megbonthatja a külső felületen lévő cementitot, a jó fedő tulajdonságú és nagy kopásállóságú perlitet és ferritit alakíthatja át, ami egyáltalán nem kívánatos szövetszerkezet a hengerperselyeknél.

Tehát a fő törekvés olyan jó (max. 15%) ferrittartalommal rendelkező perlités szövetszerkezetű, jó grafit- és foszfid-hálós hengerperselyeket előállítani, hogy azok öntés után megmunkálhatók legyenek.

A nálunk korábban gyártott hengerperselyek is kisebb-nagyobb kérgesedést mutattak, ami főleg a perselyek két végén jelentkezett legnagyobb mértékben, bár emiatt a perselyek nagyrésze megmunkálható lett volna egyedi megmunkálás esetében, azonban a lánchban való megmunkálásnál állandó sebesség eltolás és fogós-mélység esetében megmunkálhatatlanok voltak. Ezért az általunk gyártott perselyeket lágyítani, majd végső megmunkálás előtt Brinell-keményiség elérése céljából hőkezeltetni kellett és a többszöri hőkezelés okozta,



hogy a beépítésre kerülő perselyek nagy ferrit-tartalmúak voltak annyira, hogy a perselyeknek jórészt beépíteni nem lehetett.

Hosszú kísérleteket végeztünk a gyártási technológia egyes fázisainál, 22 tényezőt vizsgáltunk végig — a nyersvas válogatásától kezdve az öntött perselyek lehűlésének szabályozásáig —, amiből a legjelentősebbeket kiszűrve, pontos technológiai eljárást állapítottunk meg.

Ezek eredményeit összefoglalva, az alábbiakkal értünk el eredményeket :

1. Megállapítottuk, hogy ha a perselyekhez ferrites szerkezetű nyersvasat használtunk, a perselyek ferrit tartalma is nagyobb volt, mint akkor, ha a perlitese szerkezetű nyersvasból indultunk ki, annak ellenére, hogy mindkét esetben a végső analízis azonos volt és az olvasztási körülmények is azonosak voltak.

2. Megállapítottuk a túlhevítés hőfokát 1450—1500° között, valamint a túlhevítés időtartamát 5—10'-ben. Ha a túlhevítés ideje hosszabb volt ennél, akkor nagyobb ferrit-tartalmú perselyeket kaptunk.

3. Nagy jelentősége volt a modifikálás bevezetésének is, mert a nyersvasból származó ingadozásokat ki lehetett egyenlíteni.

4. Az öntési hőmérséklet helyes betartása.

5. A C-előpróba és ékpróbának csapolás előtt és öntés alatti ellenőrzése.

6. Végül pedig a hengerperselyek saját üzemükben történő megmunkálása.

Fentiek bevezetése után április hóban 15% ferrit-tartalom alatti perselyek mennyisége 80%-os volt, 25%-on felüli ferritet tartalmazó hengerpersely összesen 3%-on felül nem volt. Kérgesedés miatt a perselyek 2%-át kellett hőkezeltetni és a megmunkálás közben felszínre kerülő porozitás, illetve repedés miatt a perselyek selejt százaléka 1/3-ra csökkent.

Tapasztalataink a modifikálással kapcsolatban azt mutatták, hogy fő előnye abban rejlik, hogy a modifikált vas a lehűlési sebesség változtatásával szemben kevésbé érzékeny, mint a modifikálatlan, ez azt eredményezi, hogy a perselynek a kokilla felé eső része kevésbé hajlamos a kéregképződésre.

Ezeket a megfigyeléseket 1—3 mm szemnagyságú 75% Fe-Si alkalmazásánál tapasztaltuk. A poralakú Fe-Si-vel történő modifikálás esetén eredményeket a perselygyártásnál nem értünk el, s a poralakú modifikátor elhalmozását el is hagytuk.

Kísérleteink folytán megállapítottuk, hogy a modifikálásnak lényegesen nagyobb hatása van abban az esetben, ha a C-tartalom 3%, illetve ez alatt van, mint annak, ha a C-tartalom 3%-nál nagyobb.

A ferroszilikiummal történő modifikálás üzemi bevezetésénél még számos adatot kell kidolgozni az egyes összetételi típusoknál végrehajtandó módokon.

Úgy kell a ferroszilikiummal való modifikálás technológiai eljárását kidolgozni öntöttvasakra is, mint ahogy az a könnyűfémeknél a Na-mal való nemesítésnél már hosszú évek óta ismeretes. A cél az, hogy a gyakorlati üzemi ember biztonsággal tudjon az elérhető eredményekre számítani.

GERÉDI JÓZSEF

A hazai járműipar, így a Csepel Autógyár is az utóbbi években a statikailag és dinamikailag, valamint hő terhelte öntvények gyártásához jó minőségű nyersvasból, ötvözőkkel előállított öntvényeket használt. Időközben azonban nemzetgazdasági szempontból szükségessé vált az eredetileg használttól eltérő tulajdonságú nyersvasak alkalmazása, csökkentett mennyiségű ötvözővel,

illetőleg teljesen ötvözetlen öntvények előállítására. Az anyag változtatással kapcsolatos nehézségek leginkább a hengerpersely, dugattyúgyűrű és a hengerfej előállításánál jelentkeztek, melyeknél a mechanikai igénybevételek kívül változó hő igénybevétel is van és tartósságuk biztosítására a Brinell-keménység mellett, részben a szövetszerkezet és előírt, belső, valamint felületi folytonossági hiányok nem engedhetők meg. A felsorolt öntvények részben különböző falvastagságú részeket tartalmaznak és kérgesedésre hajlamosak. A felsorolt tulajdonságok mellett az anyag változása természetesen zavarokat okozott, öntési és megmunkálási szempontból. A felsorolt hátrányok kiküszöbölése, illetőleg csökkentése a változott anyag megkövetelte öntési mód kidolgozásán, bevezetésén és fokozott műszaki fegyelem megvalósításán kívül, részben a Fe-Si-os modifikálásnak volt köszönhető. A hengerpersely gyártásnál az áttérés folyamán fennállott maximális selejt, a modifikálással kapcsolatos gyártási mód bevezetésével 70%-kal csökkent. A megmunkálhatóság javult. A dugattyúgyűrűknél a modifikálás bevezetésével a korábban mutatkozott kopásállósági hiányok nagy részben megszűntek. Az olajszivattyúház öntvényeknél súlyos kérgesedés és elszívódásból eredő belső folytonossági hiányok keletkeztek, amelyek megszüntetése legutóbb a modifikált öntés bevezetésével sikerült.

A hazai modifikált öntéssel szerzett tapasztalatokat mindenben alátámasztják az élenjáró Szovjetunióban és más baráti államokban szerzett tapasztalatok.

A hengerpersely minőségjavításával kapcsolatban résztvettünk az új gyártási mód kidolgozásával kapcsolatos kb. egyéves kísérletek folyamán Fe-Si modifikálási kísérletekben és a modifikált öntési mód bevezetésében. Ennek folyamán azt tapasztaltuk, hogy az új öntési mód kidolgozásán kívül szükséges a gyors-öntödék sajátosságai, felszerelése és egyéb adottságai szerint a modifikálási és öntési technológia vázlatos kidolgozása és a szükséges fokozott műszaki fegyelem megvalósítása. Ezt az öntödék erőltetett tervük teljesítése mellett meglévő kérdésekkel teljesíteni nehezen, vagy nem képesek. Ezért javasoljuk a modifikált öntés bevezetésére sztahanovista brigádok szervezését, amelyek így előre megállapított sürgősségi sorrendben kidolgoznák a nyers-öntödékre a Fe-Si modifikálás tervét és felosztanák azt, valamint segítséget nyújtanának a műveletek bevezetésénél.

Összefoglalva eddigi tapasztalatainkat, megállapíthatjuk, hogy a Fe-Si-mal való modifikálás bevezetésével selejt- és önköltségesökkenés volna elérhető, ezért ennek bevezetése népgazdasági szempontból szükséges lenne.

#### TÓTH ANDRÁS

*Verő* professzor előadásában élesen rávilágított a ferroszilíciummal és magnéziummal modifikált nagy:zilárdságú szürkevassal a nyilvánosság előtt eddig megjelent közlemények alapján elért eredményekre és hiányosságokra. Fejtegetései kétségtelenül helyesek, és a szürkevas szilárdságának megnövelésére irányuló törekvések ügyét azzal is előbbre vitte, hogy az új anyagnak, a gömb-szemcsés grafitú vasnak előállítására új irányokat mutatott.

A vasnak ferroszilíciummal való oltása meglehetősen régi. Közel 20 évvel ezelőtt is voltak megfigyeléseink, amelyek a ferroszilíciumnak a folyékony vasba való adagolását előnyösnek találták, különösen jók voltak azok az oltások, melyek a kéregbe futó vasfészeségekbe való adagolásakor mutatkoztak. Természetesen inkább tudat alatt, mint tudatosan érezték az öntöde gyakorlati emberei, hogy az oltás sikere annál jobb, minél forróbb a vas. Úgy is történt oltás, hogy kétféle

összetételű folyékony vasat öntöttek össze, vagy pedig nagy szilícium-tartalmú szürke öntvénydarabokat raktak a forró vashoz. Ennek az eljárásnak irodalmi ismertetése is régebbi keletű. Miután azonban az üzemek ismerték, különösebb feltűnést nem keltett. A szürkevas szilárdságának fokozottabb növelését elsősorban az autó- és repülőgépmotor váltotta ki, hogy a szürkevas rezgést csillapító hatása következtében ezeknek a tengelyeknek a tartóssága nemcsak egyéni értékű, hanem nagyobb is volt, mint az ötvözött kovácsolt acéloké. Nem is beszélve a sokkal könnyebb, sokkal egyszerűbb módszerekkel való előállításról.

A fentiek után nyilván sokakban felmerül a kérdés, ha az öntödék ismerték az oltásnak a jó kihatásait, vajjon miért nem tértek át kizárólag erre a gyártási módra? Erre Verő professzor részben megadta a választ. Az összenyomó szilárdság növekedése ugyanis alig tapasztalható a húzószilárdság növekedése mellett. Indokolatlan tehát, hogy az oltással járó többletmunkát a jobb minőségű nyersanyagokat, a jobb minőségű kokszkészletünket fogyasszuk akkor, amikor a szerkezete főképp nyomásra van igénybevéve és a nagy szakítószilárdság előállítása indokolatlan.

A szilíciummal való oltás elsősorban ott indokolt, ahol nagy falvastagság-különbségek vannak és emiatt a megmunkálást gátló keménységi értékek mutatkoznak, vagy pedig a szerkezet nem oldható úgy meg, hogy abban kizárólag nyomó igénybevétel keletkezzék.

Verő professzor előadását a Mávagban végzett kísérletekkel, helyesebben törzskönyvezett modifikálásokkal kívánom kiegészíteni. Általában három csoportba osztottuk betétanyagainkat. Az első csoportban az acélhulladék 30%, a másodikban 35% és a harmadik csoportban 40% volt. Ezzel biztosítottuk azt, hogy a 25%-os nyersvasbetét mellett a vas szilíciumtartalma 1% alatti legyen és a vas kéntartalmát, valamint szénttartalmát a lehetőség szerint lesozórítsuk. A tapasztalat szerint, bár mind a három féleség jól modifikálható volt és a szakítószilárdság valamennyi esetben meghaladta a 27,3 kg/mm<sup>2</sup> értéket, mégis a nagyobb mennyiségű acélhulladék betétben való alkalmazása esetében azt tapasztaltuk, hogy a kapott szilárdsági értékek jobbak. Ezt annak tulajdonítjuk, hogy nagyobb mennyiségű acél adagolásakor a vas csapolási hőmérséklete nagyobb az acél megömlesztéséhez szükséges kevesebb melegmennyiség következtében.

Ezeknél az acélban dúsabb adagoknál a legkisebb szakítószilárdsági értékek 20,2 és 33 kg között váltakoztak. Megállapítható volt az is, hogy a szakítószilárdság növekedésével a hajlítószilárdság nem növekedett arányosan és a legnagyobb érték 57 kg/mm<sup>2</sup> volt. A rendelkezésünkre bocsátott dokumentáció szerint a ferroszilícium szemcseátmérői igen fontosak és a ferroszilíciumpor feltétlen kiszitálendő. Tapasztalataink szerint azonban a por ferroszilícium oltó hatása sokkal jobbnak bizonyult, mint a daraszerű, vagy nagyobb darabos ferroszilíciummal végzett oltás, amiben valószínűleg annak is nagy szerepe volt, hogy a törzskönyvezett vizsgálataink időpontjában az igen gyenge minőségű öntödei kokszzsal 1380°-nál nagyobb csapolási hőmérsékletet nem sikerült előállítanunk.

Meglepő volt vizsgálatainknál, hogy a modifikált nagyobb szilárdságú szürkevas behajlási mértéke nem volt nagyobb, mint a modifikálatlan próbaké. Modifikálási kísérleteinknél csak az utóbbi időben sikerült a 30 mm  $\varnothing$ -jú és 600 mm távolságban alátámasztott próbapálcáknál jobb eredményt kapnunk.

A modifikálás elsősorban a szövetszerkezet tömörségében jelentkezett. A megmunkált öntvény felületei sokkal tömörebb szövetűek voltak, mint a

modifikálatlanok, ami főképp annak tudható be, hogy a kisebb grafitlemezek és főképpen a perlites szövetszerkezet a megmunkált felületen sokkal kevesebb rést, folytonossági megszakítást eredményeztek. Fe-Si-mal való modifikálással mindössze egy esetben sikerült 39 kg szakítószilárdságot elérni, ennek körülményei azonban a betétbe kerülő nyersvas összetételének hiányos adatai következtében nem tisztázódtak. A Mávag öntődékben a jelenlegi nyersanyag mellett a 30 kg-os szakítószilárdság elérése biztosított. Megfelelő koksz és betét adagolása mellett a korszerűen épített magas kupolókemencékben azonban a 35 kg-os szakítószilárdság biztosítását is lehetőnek tartjuk.

A modifikált vassal kapcsolatban helytelennek tartjuk azonban annak a hírnek terjesztését, hogy a modifikált vas azért, mert a vas falvastagság iránti érzékenységét az oltás lényegesen csökkenti, a modifikált öntvényben az öntési feszültség lényegesen kisebb, sőt egyesek állítása szerint egyáltalán nem is mutatkozik. Az öntési feszültségnek ugyanis a szövetszerkezethez semmi köze sincsen, mert ha ez így lenne, akkor az acélöntvények teljesen feszültségmentesek lennének, miután ott az öntési struktúra még nagy falvastagság eltérésnek esetén is közel azonos. Acélöntvényeknél mégis azt tapasztaltuk, hogy azok feszültségmentesítő lágyítás nélkül igen ridegek, egész kis rázkódás elegendő ahhoz, hogy több tonna súlyú öntvények megrepedjenek. Mozdonykerék öntvényeknél igen gyakori jelenség feszültségmentesítő lágyítás előtt az öntvények robbanászerű szétesése. Hogy ilyen öntési feszültség a m. öntvénynél van, nemcsak az elrepedt öntvények, de a modifikált anyag feszültségének vizsgálására öntött jármoknál észlelt jelenségek is igazolják.

Amennyire biztatóak és sokat ígérőek a ferroszilíciummal való oltások, a szilícium-magnézium segédötvözetekkel történt modifikálás ezideig annál kevesebb eredményt hozott. Bár a próbák tömör szövetszerkezetét a legtöbb esetben sikerült biztosítanunk, az öntvényekét azonban csak a legtrikább esetben. Az öntőüst-berendezéseink ugyanis a salak teljes eltávolítására nem adtak lehetőséget, a legtöbb zavart az okozta, hogy az oltás alkalmával a magnézium-oxid finom por alakban az üst felszínén úszott és eltávolítani nem tudtuk, öntéskor kisebb vagy nagyobb mennyiségben a beöntött vassugárral együtt a beöntőcsatornákon át az öntvénybe jutott és rendszerint nagyobb csomós foltokat okozva, az öntvény folytonosságát megszakította és selejtet okozott. A selejt általában az öntvények 25—30%-nál emiatt jelentkezett.

Meg kell még említeni azt is, hogy a felsorolt hibák megfelelő berendezéssel nagyrészt kiküszöbölhetőek lettek volna, sokkal súlyosabb nehézséget okozott azonban a modifikálás találati biztonsága, az értékek igen szóróak voltak még egyazon öntvényen belül is. A hiba kiküszöbölése céljából a Mávagban végzett nagyszámú kísérletekhez a legjobb mérnökeinket és öntőinket állítottuk be, ennek dacára a már előzőekben ismertetett eredmények megjavítása nem sikerült. A Si-Mg-mal modifikált szürkevasnak főképpen a temperöntvények területén kellett volna mint új anyagnak jelentkeznie, ezt a szerepet azonban nem tudta betölteni részben a nagy szilárdsági szórás, és főképpen nagy ridegsége miatt. Igen nagymértékűek voltak az öntési feszültségek a magnéziummal modifikált öntvényeknél, különösen a nagyobb méretűek állandóan törtek. Így pl. az egyik 1300 mm átmérőjű lánckerékből 37 db-ot öntöttünk és végül mindössze egy darabot sikerült beépítésre alkalmasnak találni.

Üzemi viselkedése azonban ennek is még mindig ismeretlen és kevés a valószínűség arra, hogy megfelel, mert az öntvényeknek a legnagyobb része hőkezelés dacára is annyira ridegnek bizonyult, hogy minden különösebb külső

erőhatás nélkül még pár héttel az öntés után is robbanásszerűen szétrepedt. Így 18 db kerék repedt el, míg a többiek már az öntődében váltak selejtté. Első feltevés az volt, hogy helytelen szerkezetről van szó, de amikor acélból is leöntöttük, kiderült, hogy nem szerkezeti hibával állunk szemben, mert egy 3000 kg-os öntvény ráejtése után sem tört el és bár igen erősen deformálódott, hidegen is egyengethető és felhasználható volt.

A Mávagban Mg-os modifikálással készített öntvényeknél, ridegségben nyilván nagy szerepe van a ferroszilíciumos segédötvözettel bevitt nagymennyiségű szilíciumnak is. Kísérleteket végeztünk a színmagnéziumnak haranggal való bevitelével is. Ezek a kísérletek azonban, bár a próbákban szövetszerkezeti elváltozást tapasztaltunk, lényeges eredményt nem adtak, ami nyilván a helytelen végrehajtásban keresendő és éppen ezért kívánatos lenne a Szovjetunióban kidolgozott technológiának legalább is olyan kivonatos összefoglalását az öntődéknek rendelkezésére bocsátani, mint a közönséges ferroszilíciumos oltásnál, mely ismertető közreadása már igen jó eredményeket hozott és nyilván a Mg-oltás technológiájának közzététele is rövid idő alatt komoly eredményeket hozna. Ezt azért kellett megemlítenem, mert tudomásom szerint ilyen leírást ezideig az üzemek nem kaptak.

A színmagnéziummal való modifikálás haranggal való bevitelének mód-szere — a nikkellel készített segédötvözet kivételével — előnyösebbnek látszik és a jövőben ebben az irányban kell a kísérleteket folytatni, ehhez azonban szükséges kupolókemencéink gyűjtőmedencéinek megnagyobbítása, a kupolókemencék korszerű átépítése, a bázisos kupolóbélések bevezetése, jó minőségű nyersanyag biztosítása, megfelelő oltókészülék szerkesztése, ami nemcsak az oltásban közreműködők testi épségét védi, hanem a mindenkor keletkező magnéziumoxidpor-füst üzemben való szétterjedését is megakadályozza, továbbá a teáskannaszerű üstök alkalmazása a porszerű salak üstben való visszatartása céljából.

Mindezek előtt azonban szükségesnek tartom az idevonatkozó és eddig főképp csak a tudományos intézetek birtokában lévő szovjet dokumentációt valamennyi öntödénk részére kiadni, hogy így a nagy gyakorlattal rendelkező üzemmérnökeink, technikusaink, a szovjet tudomány által kitaposott úton haladva, mennél kevesebb költséggel és mielőbb sajátíthassák el nemcsak a ferroszilíciumos, hanem a magnéziumos oltást is és ezáltal iparunkat a gömbszemcsés szűrkeveással, ezzel az új értékes anyaggal gazdagítsák.

#### VARGA FERENC

Az 1946—47-ben megjelent első irodalmi közléseket követően nálunk is megindultak a kísérletek a gömbgrafitos öntöttvas előállítási lehetőségeinek megállapítására.

Az első közlemények hiányos, de sokat ígérő jelentései alapján minden üzemi szakember tisztában volt azzal, hogy nálunk is feltétlenül megoldást kell keresnünk a gyártás megindítására és az eljárás nagyüzemi bevezetésére. Világos volt már akkor, hogy a kérdés nagyüzemi megoldása fontos nemzetgazdasági érdek és ezt az azóta eltelt három esztendő még fokozottabban igazolta.

Az ezirányban végzett kísérleteket két csoportra oszthatjuk: üzemi kísérletek és laboratóriumi kísérletek.

1949-ben végzett néhány üzemi kísérlet után a nagyobb méretű üzemi kísérletek 1950 április havában kezdődtek a Mávag Mozdony- és Gépgyár vas-

öntödéjében *Frank László* irányításával. Hangsúlyozni kívánom, hogy a Mávag vezérigazgatósága és az öntödei gyárrészleg vezetősége akkor is és az azóta eltelt kísérleti időszakban is, a legnagyobb megértéssel viselkedett a kísérletekkel kapcsolatban és nemcsak a szükséges erkölcsi, hanem anyagi lehetőséget is biztosította a kísérletek lefolytatására.

Az első kísérleti ciklus 1950. IV. hó és IX. hó között tartott, arról részletesen 1950. XII. hó 15-én a Bányászati és Kohászati Egyesület Öntödei tagozatának ülésén beszámoltam. (Öntöde 1951. 5. szám.) A kísérletek célja a következők megállapítása volt: 1. Az eddig ismert és hazai viszonyok mellett is rendelkezésre álló segédötvözetek közül, melyek a gömbgrafitos öntöttvas gyártására nagyüzemi viszonyok mellett is alkalmasak. 2. Kupolókemencés üzemben milyen adag összeállítása biztosítja legjobban a gömbgrafit képződését. 3. Mi a segédötvözet, illetve Mg bevitelének legalkalmasabb módja nagyüzemi gyártásnál. 4. A gömbgrafitos öntöttvas öntészeti tulajdonságainak vizsgálata.

A 39 kísérleti egységből álló kísérletsorozathoz kb. 40 t folyékony vasat használtunk fel. A kísérletek célkitűzései mellett rendszeresen öntöttünk különböző öntvényeket is, az új anyag öntészeti tulajdonságainak vizsgálata céljára: nevezetesen dugattyúvezetéseket, hengerfedeleket, hengerperselyeket, szelepházakat, motorházakat, kormányházakat, féktuskókat, formaszekrényeket stb.

Ezen kísérleti periódus eredményeképp megállapítottuk: 1. Hazai viszonylatban sem a nagy réz-, sem a nikkeltartalmú segédötvözet használata nem jöhet szóba, hanem a külföldi irodalomból ismert, viszonyainknak egyedül megfelelő Mg-Si-Fe segédötvözet. 2. Az anyagösszeállításnak a gömbgrafitképződés szempontjából különösebb jelentősége nincs. 3. A gömbgrafit képződéséhez szükséges magnéziummennyiségen túl a segédötvözet adagolásának bármely módjával sikeres lehet a gömbgrafitgyártás, ha a folyékonyvas összetétele, a fürdő hőmérséklete, a segédötvözet mennyisége és szemmagyság helyesen van választva.

Az így végzett kísérletek szakítószilárdsági eredményei a következők voltak: 55 kg-on felül egy esetben, 50—55 kg között egy esetben, 26 és 40 kg között hét esetben. A többi 25 esetben 26 kg alatt voltak a szakítószilárdsági értékek. Az eredmények ingadozása akkori ismereteink mellett annál megmagyarázhatatlanabbak voltak számunkra, mert a kiugró eredmények elérésének gyártási technológiáját, előállítási feltételeit hűen követtük, de azok hű reprodukálása mellett ismételtelen és rendszeresen biztosítani a kívánatos szilárdsági értékeket nem tudtuk. A találati biztonság kérdése ezek alapján önkéntelenül felvetődik, mert hisz a találati biztonság kérdése ebben az értelemben a gyártást bizonytalanná tevő és általunk konkrétan nem ismert gyártástechnológiai feltételeket takar. A gyártási bizonytalanság két alakban jelentkezett: a kupolóból lecsapolt folyékony vas összetételét az adagolt segédötvözet lényegesen megváltoztatta és sok esetben nem kívánt összetételt eredményezett. A megfelelő összetételű és a próbapálcák méretében gömbgrafitosnak bizonyuló öntöttvas a gyártott öntvény keresztmetszeteiben csak *legfeljebb* a szélén vagy egyáltalában nem volt gömbgrafitos. Ezt tapasztaltuk azoknál a féktuskóknál, amelyeket kopási kísérletek céljából mozdonyokba bekötöttünk, bizonyos mérvű elkopás után kikötvé a MÁV anyagvizsgáló laboratóriumában felszeletelve vizsgálatnak vetettük alá. A féktuskók vastagabb keresztmetszetében a finom lemezes perlit mellett csak lemezes grafitot találtunk. Ez a körülmény magyarázta meg, hogy ezeknek a magnéziummal kezelt féktuskóknak a kopása semmivel sem volt jobb, mint a velük együtt koptatott többi lemezes grafitú féktuskóé. Pedig



anyagtakarékoság szempontjából lényeges a gömbgrafitos öntöttvasnak  $\frac{1}{3}$ -dal kisebb kopása ezen a területen is.

Az üzemi kísérletek második periódusa alatt (1950. XII. hó—1951. I. hó) szerves kötőanyagokkal kötött Mg-segédötvözet-pogácsák hatását vizsgáltuk a folyékony vasra, másrészt ugyanezen pogácsáknak kupolóban való adagolásával kíséreltük meg a gömbgrafitos öntöttvas üzemi gyártását. A kísérletek ezen szakaszáról részletes ismertetés nem jelent meg, de azok kézzelfogható eredményt nem adtak.

Az üzemi kísérletek harmadik szakaszában (1951. évben) az eddigiekben megállapított technológiai feltételek mellett különböző öntvényeket gyártotunk rendelésre, hogy ezzel a gömbgrafitos öntöttvas alkalmazási területét gyakorlatban állapítsuk meg.

A gyártott öntvények között voltak lánckerekek, traktor hengerfejek, törő alkatrészek, kompresszor lendkerekek stb. A gyártott öntvények felhasználásáról, illetve azok sorsáról tudomásom nincs, mert azt a felhasználó üzemek eddig nem közölték. Ezeknek a szilárdsági értékei, mint a legutóbbi nagyhét előadásaiiban hallottuk, 35—45 kg/mm<sup>2</sup> között mozogtak. Nem érte el tehát a szilárdsági érték átlaga az előző kísérletekben már szórványosan elért és a külföldi szakirodalomból ismert lényegesen nagyobb szilárdsági értékeket.

A gömbgrafitos ö. v. gyártásánál fennálló ismeretlen technológiai feltételeket kellett volna tisztázni a múlt ősszel a Vasipari Kutató Intézetben végzett kísérletsorozatnak. Mint hallottuk, törvényszerű pontossággal ezek sem tisztázták a gyártás körül fennálló bizonytalan, ismeretlen technológiai feltételeket.

A kísérleti feltételek lehetőségeinek tág határok között való változtatása mellett, végeredményképpen azt a következtetést vonhatjuk le, hogy csak a Mg-Si-Fe-Cu segédötvözettel bevitt egyéb ötvözőelem okozhatja ezt a gyártási bizonytalanságot.

Az azóta megismert szovjet technológiai tapasztalatok azonban magyarázatot adnak eddigi nehézségeinkre és a további utat is megjelölik a kutatás számára.

Az eddigi sikertelen kísérletek tapasztalatai alapján a színmagnéziummal való kezelés látszik a gömbgrafitos öntöttvas nagyüzemi gyártására hazai viszonyok közötti egyedüli megoldási lehetőségnek. Ezt az eddigi, vagy a közeli hónapok kísérletei igazolhatják és alapot szolgáltathatnak a gömbgrafitos öntöttvas nagyüzemi gyártásához.

A szín Mg-mal folytatott és elért kísérleti eredmények természetesen szükségtelemné teszik az eddigi, akár 10 vagy 20% Mg-tartalmú Mg-Si-Fe-Cu segédötvözettel való további kísérletezgetéseket, akár kombináltan is szín Mg-mal. A fejlődés útja világos, s ilyenkor kár csökönyösen ragaszkodni az elavult mód-szerekhez; összefoglalva a gömbgrafitos öntöttvas további fejlődését hazai viszonylatban egyedül a szín Mg-mal való további kísérletekben látom, az eddigi szovjet technológiai tapasztalatok felhasználása mellett. A kísérletek természetesen csak akkor vezethetnek eredményhez, ha ezek nem a pillanatnyi látszatteredményeket hajszolják, hanem szisztematikus, műszakilag megalapozott kísérlet-sorozatok lesznek.

HAJTÓ NÁNDOR

*Verő* professzor előadásának első részében lényegében végigvizsgálta a haladottabb ipari államokban eddig elért eredményeket. Bemutatta a Szovjet-unióknak az ötvözetlen magnéziummal elért, e téren is élenjáró ipari eredményeit

és összehasonlítással a nyugati államok segédötvözetekkel dolgozó módszereit is. Ezek az adatok némi felvilágosítást adtak arra vonatkozólag, hogy a gömbgrafitos öntöttvastól és a ferroszilíciummal beoltott, ha úgy tetszik modifikált öntöttvastól egyáltalán mit várhatunk. Mik azok a tulajdonságok, amelyek ezt a kétféle eljárással előállított és egymástól merőben különböző két anyagot számunkra értékesé tehetik, mik azok a tulajdonságok, amelyek már előre kijelölik azt a területet, ahol gazdaságosan és sikerrel alkalmazhatók.

Az elhangzott előadás teljesen különválasztható, második részében viszont a múlt év végéig lezajlott hazai kutatómunka mérlegét állította fel az e téren tényleges kutatást nem végző, de a fejleményeket hivatásánál fogva is mindig éberrel figyelő tudós vitán felül álló hozzáértésével és tárgyilagosságával. Ez a kritika éppen a tárgyilagossága miatt volt szükségszerűen kemény, de építő jellegét mi sem bizonyítja jobban, mint az az öt pontra foglalt javaslat, amely valóban alkalmas arra, hogy annak a megvalósítására vonatkozó egészséges ötletek egybehangelésével ennek a konferenciának a munkáját termékenyítse.

Nyilvánvaló, hogy ennek a konferenciának csak egy célja van és csak egy célja lehet. Nyilvánvaló, hogy a konferencia minden résztvevője azzal, hogy itt megjelent és a vitában közvetlenül vagy közvetve részt vesz, csak egyet akarhat, hogy ezt a megvitatásra került kétféle fém anyagot hazai vonatkozásban is mielőbb ipari gyártásra alkalmassá tegye, illetve megtalálja azokat a lehetőségeket, amelyeknek a segítségével ezeket a külföldön már teljes sikerrel alkalmazott anyagokat a népgazdaság, végeredményben pedig a béketábor szolgálatába állítsa. Ez és csakis ez biztosíthatja ennek a konferenciának a remélt sikerét.

Sajnálatlaltal tapasztaltam azonban, hogy a felszólalások egy része éppen a kritika tárgyilagos voltát vontatta kétségbe és annak egyes megállapításaival polemizált, ahelyett hogy az egyedül járható útra élesen rávilágító öt pont megvalósításának lehetőségeit fejtegette volna.

Az elhangzott összefoglaló előadás egyes megállapításaival vitázó hozzászólások megválaszolója az előadó feladata, aki közölte azokat az adatokat is, amelyeknek az alapján a kritikáját összeállította. Nem kívánom itt a vita műszaki tudományos jellegét az elsőség kérdésének a tisztázásával sem zavarni, annak ellenére, hogy az ez irányú, kezdetben halkabb megnyilvánulások mind hangsúlyozottabban és felettébb egyoldalúan jelentkeztek. Erre más alkalmat fogok keresni.

A ma tárgyalásra került két probléma közül elsősorban a gömbgrafitos öntöttvasnak, pontosabban a ferroszilíciummal készített segédötvözetnek kérdésével foglalkozom. Ezzel kapcsolatban eleve le kell szögezmem, hogy ezzel a ferroszilíciummal készült magnéziumos segédötvözetrel szemben soha senki nem igyekezett bizalmatlanságot kelteni. Minden vele kísérletező és a kapott eredményeket reálisan értékelő szakember előtt világos és részletesebb fejtegetésre nem szorul, hogy ezt a bizalmatlanságot a segédötvözet maga keltette.

De hosszúra nyúlna, ha itt az ez irányú megnyilatkozásokat sorra idézném, ezért inkább ötletszerűen kiragadva csak néhány példát említek. *Körös Béla*, a múlt év végén Frank előadásához szólva, a ferroszilíciummal *modifikált* öntöttvasra célozva a következőket állapította meg: »Az Mg-Si-Fe gömbgrafitos anyagtól szilárdságban (pusztán a 20–22 év előtti gyári adatokat mérlegelve) csak 7 kg/mm<sup>2</sup>-rel marad el, találati biztonsága felülmúlja, előállítás egyszerűbb és olcsóbb.« És itt szabadon aláhúznom az előállítás egyszerűbb és olcsóbb

voltát, valamint azt a megállapítást, hogy ez az öntöttvas még szakítószilárdság szempontjából is alig gyengébb, a mi jelenleg gömbgrafitosnak nevezett öntöttvasunknál. A szilíciumos segédötvözettel készített gömbgrafitos öntöttvas ridegségére célozva pedig ezt mondta: »Ha csak néhány százalékos nyúlást is sikerül rövid időtartamú hőkezeléssel biztosítani, az máris előrevinné ezt az anyagot, hogy a közönséges acélöntvény és temperöntvény helyettesítője legyen.« Ebből a mondatból azt szeretném kiemelni, hogy némi szívósság elérését még némi hőkezelés árán is szükségesnek, de megvalósítását problematikusnak tartja.

Tóth András akkori felszólalásából a falvastagsággal foglalkozó részt emelem ki: »A magnéziummal modifikált öntvény szövetszerkezetét nagy mértékben befolyásolja a falvastagság. Az elrepedt nagymértékű lánckerék-öntvények vékony küllőiből kivett csiszolatban nagyon szép gömbgrafitot lehetett látni, míg a vastag agyrészből kivett csiszolatban a grafit kvasi-flake (tehát lemezes) alakzatú volt.« Ez a megállapítás csak kiragadott példa arra, hogy a gömbgrafitos öntöttvas nagyon is érzékeny a falvastagságra és éppen ezért nem tudok egyetérteni Frank Lászlóval azzal a megállapításával, hogy a magnéziummal modifikált öntöttvas szakítószilárdsága a falvastagság változásának a következtében legfeljebb 10%-kal változik, míg a lemezes grafitú öntöttvasban ez a változás 50%-os is lehet. Jelentősebb falvastagság-növekedéskor ugyanis a grafit ugyanannak az öntvénynek vékonyabb részében gömbösen, a vastagabb lemezesen kristályosodik és ilyenkor a szilárdság csökkentése nemcsak a grafitalak megváltozásának, hanem a szilikoperlit vagy szilikoferrit szilíciumkoncentrációjának a megnövekedése miatt a fémes alapanyag ridegedésének is következménye.

A magnéziumos segédötvözet szilíciumtartalma csökkentésének a szükségességére utal Tömösközi Jenő hozzászólása ezekkel a szavakkal: »A magnéziumnak főmagnézium, illetve magnézium gőzalakjában való bevitelével megoldódna az a probléma is, hogy a segédötvözetből miként lehetne a rezet kiküszöbölni, a magnéziumtartalmat fokozni és a szilíciumtartalmat csökkenteni.« Ez a megnyilatkozás is utal arra, hogy a segédötvözet jelentős szilíciumtartalma semmiképpen sem kívánatos.

Ezek a kritikák kereken fél évvel ezelőtt hangzottak el, de másfél éves az az ugyancsak az Akadémián Bíró Ferenc előadását követő felszólalásomban hangoztatott véleményem: »A szilíciumos segédötvözettel készített ötvözet szívóssága oly kicsi, hogy az csak az ötvözéssel egyidőben a fürdőbe juttatott, jelentős mennyiségű szilícium káros hatásának tulajdonítható. Minden tekintetben kielégítő hatást csak a szilíciumban szegény, vagy azt egyáltalán nem tartalmazó segédötvözet biztosít.« Ezt a véleményemet azóta sem szüntem meg hangoztatni, ha erre alkalmam nyílt.

Végül, de jelentőségében első helyen felemlítem még Gillemot professzor ugyancsak tavaly decemberben publikált, de egyébként már sokkal régebben ismert idevágó véleményét, aki diagrammban bizonyította a szilíciumos segédötvözet célszerűtlen voltát, illetve a vele való ötvözés igen gyenge találati biztonságát.

De talán kár is ezt a mindenki előtt közismert megállapítást ilyen messze-menően bizonyítani, amikor nyilvánvalóan Frank Lászlónak is nehézségei lehettek vele, különben nem gondolt volna arra, hogy a segédötvözet magnéziumtartalmát 20%-ra növelje és ugyanakkor a 75%-os Fe-Si helyett 45%-ossal

próbálkozzék. Sajnos ez sem vezet célhoz, mert a 20%-os segédötvozet túlságosan hevesen reagál, amiről magam is meggyőződtem, a 45%-os Fe-Si-mal pedig a segédötvozet elkészítése ütközött akadályba. Ezzel kapcsolatban ki kell térnem arra, hogy nem értem, miért mondta Frank László mai felszólalásában azt, hogy a segédötvozeteket 45%-os, tehát sziliciumban aránylag szegény ferrosziliciummal készítették, amikor a múlt év végén szó szerint így nyilatkozott: »Az első kísérletek után rövidesen áttértünk a ferrosziliciumos előtvozetre. Ez az ötvozet állt: 10% Mg, 10% vörösréz-ből és 80% 75%-os Fe-Si-ből.« Majd néhány mondattal később: »Mindezeket a kérdéseket sikerrel megoldottuk, kivéve az alacsonyabb sziliciumtartalom ferroszilicium felhasználását, ami jelenleg még további kísérleteket igényel.« Egyébként pontosan ugyanez a szöveg megjelent az Öntöde ez évi 3. számában is. Ezek után nehéz volna megállapítani, hogy Frank kartárs melyik megnyilatkozása volt helyes és melyik téves, ha a kísérletek céljából hozzám küldött segédötvozet elemzési adatai nem bizonyítanák a felhasznált ferroszilicium 75%-os voltát. Ez különben nyilvánvaló abból is, hogy semmi szükség sem lett volna a felhasznált ferrosziliciumnak a felcserélésére, illetve a csere megkísérlésére, ha ettől nem éppen a segédötvozet sziliciumtartalmának a csökkentése lett volna remélhető.

A segédötvozzel kapcsolatban az elmondottakból végeredményben csak egy következtetést vonhatunk le, ami egyébként nyilvánvalóvá vált már az első kísérletek eredményei alapján is, és ez az, hogy a sziliciumos segédötvozet gömbgrafitos öntöttvas gyártására nem alkalmas. A probléma ennek ellenére megoldható, mert az élenjáró szovjet technika tapasztalatait felhasználva, nem csak a mikroszkópon, hanem a mechanikai tulajdonságaiban, pontosabban a szívósságában is kiváló és éppen ezért értékes gömbgrafitos öntöttvasat színmagnéziummal a különleges, tehát a közönséges öntöttvasénál drágább gyártási technológiájának ellenére is gazdaságosan gyárthatunk.

A baj csak az, hogy ez az eljárás nem ebben az évben vált ismertté, hanem legalább is az elvéről már évek óta tudunk. Erre célzott Tömösközi Jenő is a már idézett és fél évvel ezelőtt elhangzott felszólalásában és erre akkor csak mint másik felszólaló azt válaszoltam, hogy ilyen irányú kísérletek — ha egyelőre eredménytelenül is — már háromnegyed éve folynak. A Szüle-féle kísérletekre céloztam, amelyek nem most a tavasszal, hanem már több mint egy évvel ezelőtt elkezdődtek nyilvánvalóan a szovjet ismertetések alapján, de a szovjet technológiát nem ismerve, nem is vezettek eredményre.

Biztos vagyok benne, hogy a Szovjetunióból most is meg fogjuk kapni a már annyiszor élvezett támogatást, amelynek a segítségével meggyorsíthatjuk a gömbgrafitos öntöttvas bevezetését és valamit pótolhatunk az alkalmatlan segédötvozzel eleve sikertelenségre kárhozottatott kísérletek miatt elvesztett időből. Itt azonban jó lesz vigyázni a bejelentett kombinált eljárással. Ez a gömbgrafitos öntöttvas gyártástechnológián semmit sem fog javítani, a tulajdonságait azonban éppúgy elronthatjuk, mint a pusztán ferrosziliciumos kezeléssel.

A ferrosziliciummal való *modifikálás* terén már az ez év folyamán elért eredményeket, amelyeket *Csiszár* kartárs mutatott be, igaz örömmel üdvözlöm. Ezeknek az eredményeknek különleges jelentőséget kell tulajdonítanunk, mert üzemben, termelőmunkával foglalkozó kartársaink kísérletező kedvének szovjet és cseh tapasztalatok alapján sikerült termékei. Ugyanez vonatkozik *Budinszky* Tibor ismertett munkásságára is. Ezek az eredmények Verő professzor javaslatainak 4. pontjában említett szovjet források behatóbb tanulmányozása után a teljes siker reményével kecsegtetnek. Ez a példa azonban a hivatásos

kutatókat is kell, hogy figyelmeztesse arra, milyen lehetőségek rejlenek az üzemekkel és üzemi kartársakkal való még szorosabb együttműködésben és milyen komoly jelentőséget kell tulajdonítanunk Verő professzor öt javaslatának.

BALOGH IMRE

Ismertetem a MÁVAG-ban folytatott kísérleteket.

Az ipari Mg-os kísérletek második részéhez szeretnék hozzászólni, mint a kísérletek aktív résztvevője. A kísérleteket a már ismertetett 10%-os Mg-os segédötvtözetekkel végeztük. Az alapvas minden esetben 1% körüli Si-tartalmú volt. A többi alkotó az öntöttvasban szokásos.

Az előbb ismertetett öntvényeket öntöttük. Az öntvényekhez minden esetben az ú. n. »lóhere« próbákat formáztattuk be és ezekből munkáltuk ki a 20 mm átmérőjű négy darab szakító próbatestet. A négy próbatestből két darabot hőkezelés nélkül, kettőt az öntvényekkel együtt történt hőkezelés után szakítottunk el. A hőkezeletlen pálcák szakítása egy-két kivétellel 40–46 kg/mm<sup>2</sup> volt, mérhető nyúlás nélkül. A hőkezelt pálcák mintegy 10–15%-kal gyengébb eredményt adtak szintén nyúlás nélkül. A hőkezelést már előttem ismertették. A próbapálcák külön egyedi öntésből vagy rúdból kiesztergályozva nem váltak be, mert belül salakosak és gázlyukacsosak voltak. A lóhere alakú próbából a kivágott próbák még így is gyakran salakos, hólyagos felületűek voltak.

Sajnos a belső salakosság, szívódás és gázosodás nemcsak a próbatestekben nyilvánult meg, hanem az öntvények nagyobb keresztmetszeteiben is úgyszólván állandó kísérő jelenség volt. Így pl. az említett lánckerekek és fogaskerekek koszorújában a hengerfejek vastag felfekvő felületén. Ezek a belső odvasodások, gáz- és salakzárványok sajnos majdnem minden esetben csak a megmunkálás-kor vagy töréskor kerültek felszínre. Ezek a tünetek annál erőteljesebbek voltak, minél alacsonyabb hőmérsékleten öntöttünk. Ez természetes is, mert minél hidegebb volt a vasunk, annál kevesebb idő volt a kezelés következtében keletkezett porszerű salak eltávolítására, illetőleg ezeknek a szennyezőknek és gázoknak az öntöttvasból megdermedés előtt a felszínre való kijutására. Ezért igyekeztünk minél magasabb csapolási és öntési hőmérsékletet biztosítani. Ezt általában a későbbiek során el is értük, de az említett hibákat nem sikerült megszüntetni.

Ennek másik oka a végső összetétel nagy Si-tartalmával magyarázható. de sajnos akkor nagy Si-tartalmú segédötvtözetten kívül más Mg beviteli móddal nem rendelkezünk.

Remélem a szovjet eljárás a színmagnézium beviteléről ezt a problémát, felszámolja és így szocializmusunk építésében a nagyszilárdságú Mg és öntöttvas jelentős tényezővé válik.

VERŐ JÓZSEF akadémikus összefoglaló válasza:

A közel 3 óra hosszát tartó hozzászólások minden részletére természetesen nem reflektálhatok újabb 3 órán keresztül. Ezért mindenekelőtt megpróbálom a hozzászólásokból kiszűrni azt, ami azokban haladás, pozitívum az én előadásom alapjául szolgált állapothoz képest. Ilyen haladást két ponton látok. Az egyik, hogy azok az üzemi kísérletek, amelyeket a ferroszilíciumos modifikálással kapcsolatban az egyik pontban javasoltam, azóta örvendetesen megindultak és eredményhez vezettek.

Hogy ezek a kísérletek nagyobb részét üzemben folynak és hogy a problé-

mákat az üzemben kell megoldani, az nézetem szerint természetes. A Budinszky kartárs említette kérdések, a hengerpersely, a vízzel hűtött kokillák, a dugattyúgyűrűk mind más természetű problémákat vetnek fel és azokra nézve más megoldási részleteket kell megállapítani. Ezt nem lehet központosan végezni. Ezeket csak abban az üzemben lehet megnyugtatóan megoldani, amelynek feladatkörébe a gyártmány tartozik. Helyes volt az a javaslatom tehát, hogy a ferroszilíciumos modifikálás tökéletesítésére üzemi kísérletekre van szükség. Ezért örvendetes tény annak megindulása.

Másik pozitívum hengerek sikeres öntése a magnézium ferroszilíciumos segédötvözetrel. Ha a hengerek viselkedéséről nem is tudunk végleges képet alkotni, az is eredmény, ha sikerül a jónak látszó hengereket önteni. Erre való tekintettel az előadásban javasolt öt pontnak azzal való kiegészítését indítványozom, hogy a hengeröntés céljára ferroszilíciumos segédötvözetrel folyó kísérletek tovább menjenek. Életrevaló és megvalósítandó javaslatnak tartom *Geédi* kartárs indítványát, a hevető brigádok megalkotására és javaslataimnak ilyen irányú kiegészítését is kérem.

A ferroszilíciumos magnéziumos segédötvözetrel végzett kísérleteket illetően — nem számítva most a hengeröntés kérdését, mert a többi öntvényekre gondolok — úgy látszik a hozzászólók jórésze alátámasztotta azon véleményemet, amelyet a múlt évi állapot alapján alkottam. Ezt alátámasztják azután az üzemi tapasztalatok is, amelyeket a kísérleti gyártás során az azzal foglalkozó kartársak szereztek.

Ezért a gömbgrafitos szerkezetű alakos öntvények gyártása szempontjából a ferroszilíciumos segédötvözet alkalmazására tett javaslatom fenntartását ugyancsak kérem.

*Frank* kartá sunk hozzászólásában olyan megállapítások is elhangzottak, amelyekre mint kutató, illetve — ne vegyük szerénytelenségnek — mint tudós, kénytelen vagyok reflektálni. Olyan vádak hangzottak el részéről, amelyek egy tudós működését nézetem szerint nagyon kétes és gyanús megvilágításba helyezik.

Egyik ilyen vád az első felvetett kérdéssel kapcsolatban, amelyet úgy fogalmazott meg, hogy »az első kérdés, amelyet az előadás tárgyal az, hogy a nagy szilárdságú öntöttvasak alkalmazása jelent-e népgazdaságunk számára megtakarítást?«

A továbbiakban fejtegetéseit úgy formulázza, hogy az a látszat tűnik ki belőle, mintha én ilyen megtakarítás lehetőségét abból kiindulva tagadtam volna, hogy a lemezes grafitos öntöttvas húzó igénybevétel viselésére nem nagyon alkalmas.

Az előadásomban elhangzott fejtegetéseimet úgy aposztrofálja, mintha az 50—60 évvel ezelőtt megjelent tankönyvek alapján alkotott vélemény volna. Arra vonatkozólag, hogy a nagy szilárdságú öntöttvas bevezetése körül látok-e anyagtakarékosági lehetőséget, azt hiszen egészen világos választ az első pontban megfogalmazott javaslatom ad, amelyben mind a gömbgrafitos, mind pedig a ferroszilíciummal modifikált öntöttvasnak mielőbbi bevezetését kívánatosnak mondom. Azt gondolom, nem tételezi fel rólam senki sem, hogy anyagpocsékoló javaslattal állok elő.

Az a megállapítás, illetve látszatkeltés, hogy 50—60 éve megjelent tankönyvek álláspontját képviselem, nyilván arra a két mondatra támaszkodik, hogy a »lemezes grafitos öntöttvas csak gazdaságtalanul használható húzásra igénybevett szerkezeti elem anyagaként, nyomásra igénybevett részekben jól használható.«



Ez a megállapítás semmi egyéb, mint megfogalmazása annak a ténynek, hogy minden lemezes grafitos öntöttvas húzásra csak kereken negyedrészes akkora erővel terhelhető, mint nyomásra. Ezt tudtuk már 50—60 évvel ezelőtt is, de ugyanúgy érvényes az ma is. A másik mondat, amely forrása lehet ennek, úgy szól, hogy »keresztmetszetben, súlyban tehát semmit, vagy csak nagyon keveset takaríthatunk meg, ha ugyanúgy nyomásra vesszük igénybe, mint a régi öntöttvasat. A gömbgrafitos öntöttvas ennél fogva nem helyettesítheti a régi öntöttvasat, ha ettől az egyszerű helyettesítéstől gazdasági előnyt is várunk«.

Ami ezt a mondatot illeti, a magam részéről többször is hangsúlyoztam, hogy én a gömbgrafitos öntöttvasban új anyagot látok, nem egyszerű helyettesítőt a régi lemezes grafitos öntöttvasnak. Arra is elég világosan rámutattam, hogy a gömbgrafitos öntöttvasal nem a lemezes grafitos vasat, hanem az ennél költségesebben előállítható anyagokat, a tempervasat, az acélöntvényt, sőt a kovácsolt acélt lehet helyettesíteni. Így az első vád könnyen megválaszolható. Nyilván nagyobb megtakarítást eredményez, ha adott anyaggal értékesebbet helyettesítünk, mint ha olcsóbbat. A helyzet itt ugyanaz, — hogy példával világítsam meg — mint amikor egy ügyes középkereset a vállalatvezető mérnöki munkakörben jól tud alkalmazni. Változik a vállalatvezető és az új vállalatvezető azt mondja, hogy középkereset, középkereset, beválik valahová, akár portásnak. Helyesen nyilván az első vállalatvezető járt el, az biztos.

A második vád úgy van megfogalmazva, hogy »előadó az általunk előállított első segédöntvözet kérdését tárgyalja, téved azonban abban, hogy mi 10% magnézium, 10% réz mellett 80% ferroszilíciumot használtunk, 75% ferroszilíciumtartalommal. Mi ugyanis ezt az előöntvözet típust 45% szilíciumtartalmú ferroszilíciummal állítottuk elő«.

Ezzel kapcsolatban Frank kartársnak az 1951-i nagygyűlésen elhangzott előadásának szövegéből Hajtó Nándor idézett már. Itt van a kezemben a Vasipari Kutató Intézet évi zárójelentése, amelynek az első része azonos Frank kartárs nagygyűlésen elhangzott előadásával. Ennek a gépelt szövegnek a 10., 13., 22. lapján nevezi meg, hogy 75%-os ferroszilíciummal készült segédöntvözetéről van szó, illetve hogy üzemi kísérleteket 75%-os ferroszilíciumból készült segédöntvözzel végeztek. Egy külön fejezetben foglalkozik a segédöntvözet gyártásának kísérleteivel, amelyeket előadásomban már szintén felhasználtam. Ebben táblázatos alakban van felsorolva vagy 20 adag olyan arányban, hogy a 20 közül 19 75%-os, egy pedig 45%-os ferroszilíciumból készült. Erről az egyről aztán a kísérő szövegből megtudjuk, hogy a beolvasztás nem sikerült. (Derűtlenség.)

Ha itt valóban tévedtem, és nem 75, hanem 45%-os ferroszilíciumból készültek a segédöntvözetek, akkor tévedésem nyilván csak ott lehet, hogy nem vettem észre, hogy az az egy 45%-os ferroszilíciumos adag volt a kísérlet, a többi 19 adag pedig körítés.

A harmadik és talán legsúlyosabb vád így szól: »legyen szabad rámutatnom arra, hogy 1950-ben az első akadémiai nagyhét előtt az Akadémia Kohászati Bizottsága — amelynek vezetője Verő professzor — levelet intézett a nehézipari miniszterhez, amelyben felhívta figyelmét arra, hogy az Akadémia tudomására jutott, hogy a magnéziumos modifikálást be kívánják vezetni az iparba. Felhívta arra a veszélyre a figyelmet . . . stb.

Kezemben vannak a vonatkozó jegyzőkönyvek. Az egyik az Akadémia Vaskohászati Bizottságának 1950. október 26-án hozott határozatát a következőképpen ismerteti: »az Akadémia Titkársága közölje a Műszaki Fejlesztési Osztállyal és a Tervhivatallal, hogy a Bizottság véleménye szerint a gömb-

szemcsés grafit alkalmazásának kérdése szürke öntvényeknél Magyarországon még nem érett arra, hogy üzemszerűen foglalkozzanak vele. Mindennemű döntés előtt az akadémiai nagyhéten Frank és Hajtó kartársak előadásai alapján remélhetőleg határozottabb kép fog kialakulni, hogy mennyire érett már az eljárás ipari kísérletekre.»

November végén elhangzott Frank kartársunk előadása; az előadáson elhangzott javaslatokat összegező Osztályülésen december 2-án a vonatkozó jegyzőkönyv szerint a következő történt: »Verő József kifejtette, hogy Frank László javaslata röviden úgy szerepelt a Gépészeti Bizottság részéről előterjesztett javaslatok között, mint a nagy szilárdságú öntöttvas ipari bevezetése. A kísérletek olyan stádiumba jutottak, hogy üzemi termelésbe kísérletképpen beállíthatók. Előadja, hogy a Bányászati és Kohászati Egyesület december 22-én ebben a tárgyban előadást tűzött ki, amelyet vita fog követni. Javasolja, hogy a Gépészeti és Kohászati Akadémiai Bizottság a kísérletben résztvevő összes érdekeltek, a Tervhivatal, a Nehézipari Minisztérium öntődei főosztályának képviselői részvételével az elhangzott előadás után a kérdést ismételten tárgyalja. Frank László hozzászólásában a kérdés további vitatását helyesnek tartja, azonban ez nem késleltetheti az üzemi kísérletek megindítását. Ennek eredményeképpen a határozat úgy szól, hogy az értekezlet az üzemi kísérletek megindítását szükségesnek tartja.«

Ezen előzmények után Frank kartársunk 1951 decemberében a második akadémiai nagygyűlésen előadását a következő szavakkal kezdte:

»Egy évvel ezelőtt az akadémiai nagyhéten már foglalkoztunk a nagy szilárdságú öntöttvasok kérdésével. Ismertettük azt a fejlődést, amely az öntvények mechanikai tulajdonságainak emelése terén az elmúlt 30 évben az öntődei gyakorlatban bekövetkezett. Rámutattunk a nagy fejlődés jelentőségére és az ezzel kapcsolatos kísérleteink kezdeti eredményeire.«

Ez az előadás egy évvel később hangzott el, mint az Akadémiai Bizottság előbb ismertetett javaslata.

Felteszem a kérdést, ha Frank kartárs saját maga 1951-ben azt, ami a gömbgrafitos kísérletek terén 1950. végén volt, kezdeti eredményeknek minősíti, érett volt-e akkor ez a téma az üzemi bevezetésre?

Az Akadémiai Bizottság, velem együtt nyilván lelkiismeretesen csak azt a döntést hozhatta, — mi is kezdetnek tekintettük azt, ami akkor volt. — hogy ez üzemi bevezetésre még nem érett, legfeljebb csak üzemi kísérletezésről lehet szó.

Frank kartárs előadásának befejező részében azt mondja, »Verő professzor felszólalt azon javaslat ellen« — ez az 1950. decemberi értekezletre vonatkozik —, »hogy a magnéziumos modifikálást vezessék be az iparba és a tudós köteles gondosságával rámutat arra, hogy ilyen eljárást előbb a legnagyobb részletességgel, laboratóriumban kell kikísérletezni, mert ez kevesebb anyagi áldozattal jár, mint az ipari kísérlet. Mai előadásában Verő professzor lényegében kimutatta azt, hogy eddigi kísérleteink feleslegesek voltak és bizonyos mértékben sikertelenek. Ennek ellenére javasolja az ipari bevezetést és a továbbiakban legfeljebb ipari kísérletek szükségességét látja fennforogni.«

Ezek a szavak is ott vannak javaslataimban, de kissé tagozottabban. Számozott pontokba szedtem mondanivalómat. Egyik pont vonatkozik a gömbgrafitos öntöttvasra. Ezen a téren véleményem szerint még ma sem tartunk ott, hogy üzemi gyártást lehessen elindítani. A Mg kezelést illetően ezen a téren tehát feltétlenül kutatást, mégpedig eleinte intézeti kutatást látok szükségesnek. Ezt mondtam javaslatomban is. A ferroszilíciumos modifikálás terén más a

helyzet. Ezen a téren ugyanis a Szovjetunióból és a baráti államokból szerzett olyan részletes technológiai ismereteink vannak, hogy a már ismert részleteknek intézeti kutatómunkával való reprodukálása nem szükséges. Ehelyett neki kell fogni az egyes öntvények, a kokillával öntött hengerperselyek, dugattyúgyűrűk és a felsorolt egyéb öntvények egyéni problémáinak megoldásához, ezt pedig üzemben kell végezni.

Így most világosan látszik, hogy a nagy szilárdságú öntöttvas kérdésében álláspontom kezdetiől fogva következetes volt, és amennyire tölem tellett, lelkiismeretes is. Ha tévedtem volna, — mert ez nem lehetetlen, én is ember vagyok — mihelyt erről bizonyítékot szerzek, véleményemet meg fogom változtatni.

Frank kartárs előadásának legvégén a tapasztalt kutatók segítségét kéri a fontos problémák megoldására. Nem tudom, miért kellett ezt a kérdést itt hangoztatni. Volt-e egy eset is, amikor segítséget kértek más kutatók és mi nem adtunk? Egyetlen kérést sem utasítottunk vissza, amikor felkértek bennünket. Amióta az ipari kutatás nálunk komoly mértékben megindult. Elvállaltam a Vasipari Kutató Intézet tanácstagságát. Amikor felmerült a gondolata a témakollégiumok alakulásának, vállaltam, hogy mindazokban a kollégiumokban, amelyekben pozitív segítséget tudnék nyújtani, közreműködöm. Részemről és nyugodtan hozzátehetem, a tanszék részéről a jóakarát, a segíteni akarás mindig megvolt. Tény azonban, hogy segítséget a valóságban nem nyújtottunk, ez azonban nem rajtunk múlott. Segítségadás elsősorban a tématervek kidolgozása körül, a tématervek részleteinek rögzítése terén történhetett volna. Ez a tanácsülésnek, illetve esetleg az Akadémiai Vaskohászati Bizottság üléseinek lett volna a feladata. Csakhogy a tématervekről olyan mértékű ismertetést egyszer sem kaptunk, hogy érdemben lehetett volna hozzászólni. A tématervek velünk való közlése — én mindig könyvbeli fejezetcímekhez hasonlítom — összefoglaló témacímek alapján történt, pl.: az öntöttvas szilárdságának fokozása, vagy a magnéziumos modifikálási kísérletek. Természetes, hogy ezeket mint kitűzött célt, minden kutató, illetve tanácsstag feltétlenül megvalósítandónak tartja. De ilyen körülmények között tényleges, effektív segítséget nem lehet adni. Ahhoz, hogy mi, akik nem tartozunk a hivatásos kutatók közé, segítséget tudjunk ezen a vonalon adni, változásnak kell bekövetkeznie. Változásnak, de nem a mi, hanem a másik oldalról, mert a mi oldalunkon minden jószándék megvan.

Végül még egyre szeretnék rámutatni. A segítségadásnak nemcsak a tanácsadás, vagy a tématervek kidolgozása, a kísérletekben való aktív részvétel alakjában van meg a lehetősége. Nagyon komoly segítség, illetve tanácsadás a szakszerű, objektív kritika is. Fejlődés csak akkor van, ha az elkövetett hibákat feltárjuk és azokat kiküszöböljük. Hibát mindenki követ el, legfeljebb az nem, aki nem csinál semmit. A kritika pedig éppen a hibák feltárását tűzi ki feladatul. A kritikának és a kritika kritikájának — mert az is helyes, hogy az én előadásom bírálat alá került — azonban precíznek, tárgyilagosnak kell lennie.

Nagyon helyes lett volna, ha Frank kartárs a saját fogalmazása helyett az én előadásomból vett részleteket eredeti szövegezéssel vette volna át. Ebben az esetben ugyanis hozzászólásának jelentős része felesleges lett volna.

Itt vissza kell térnem a kiindulópontához és Hevesi akadémikus bevezető szavaira, hogy a bírálat a magyar tudományos életben és kutatásban nélkülözhetetlen. Helyes kritika nélkül nincs fejlődés, vagy az legalább is lényegesen lassabb, mint annak birtokában.

Bízom abban, hogy a mai gyűlésnek tanulságai és következményei lesznek nemcsak ipari téren, hogy a nagy szilárdságú öntöttvassal minél előbb találkozhatunk a termelésben, hanem olyan értelemben is, hogy tudományos életünkben a jó értelemben vett kritika minél szélesebb körben érvényesül. (Nagy taps!)

HEVESI GYULA lev. tag zárszava Verő professzor előadásához :

Azt hiszem a mai értekezletnek azt a célját, hogy a modifikált öntésnek a népgazdaság és műszaki haladás szempontjából rendkívül fontos kérdését előbbrevigyük az ipari megvalósítás felé, elértük. Az értekezlet eredménye alapul szolgál ahhoz, hogy komoly reális munkát kezdjünk és folytassunk ennek a fontos ipari feladatnak megvalósításához. Másodszor, helyesnek tartanám megállapítani azt, hogy ez az értekezlet szemléltetően demonstrálta a tudománynak, az elméletnek és az üzemi gyakorlatnak egymásra utaltságát, a szovjet tudomány nagyszerű gyakorlata átvételének szükségességét, amely az elmélet és gyakorlat embereinek legszorosabb együttműködésével éri el azokat a hatalmas eredményeket, amelyeket a Szovjetunióban tapasztalunk. Ez az értekezlet rendkívül sokoldalú olyan gyakorlati tapasztalatot is hozott felszínre, amelyekből nem egyedül azok a kartársak tanulnak, akik az iparban dolgoznak, hanem a kutatók is. Helyes volt az is, hogy ezt a kérdést, mint az eddigi kutatómunka bírálatát tűztük napirendre, amelynek megerősítésére minden erővel törekszünk az Akadémián belül. Ezen a téren is ez a vita és ez az ülés jelentős haladást mutat és kétségteljesen példaként tekinthető a következő hasonló értekezleteink és további munkánk számára is. Azonban mégis rá kell mutatni ennek a vitának egy hiányosságára, amely nélkül talán nem lenne teljes az az eredmény, amelyet levonhatunk. Igen érdekes, sokoldalú volt az elhangzott kritika, amely elvileg is alátámasztotta a kritika szükségességét. Egy szót sem hallottunk azonban az önkritikáról, ami pedig éppen olyan lényeges és fontos a tudományos vitában, mint maga a bírálat. Ez szerves és feltétlenül szükséges tartozéka a szocialista értelemben vett kritikának. Ezt nélkülöztük nagy mértékben Frank kartárs felszólalásában is, mert ha több önkritikával nézte volna saját munkáját, tárgyilagosabban tudta volna bírálni Verő prof. előadását. De hiányzott ez a másik oldalon is. Nagy mértékben egyetérték Verő prof. összefoglalásával és megállapításával, mégis szükség van erről az oldalról is bizonyos önkritikára az Akadémia részéről, mivel másfél vagy két éven keresztül ilyen fontos kérdésben kutatások folyhattak, amelyekről megállapíthatjuk, hogy részben helytelen úton jártak, amiben kétségtelenül az Akadémia is hibás. A modifikált öntés és a nagy szilárdságú öntöttvas kérdése elsőrendű akadémiai téma, mert országos jelentőségű kérdést érint. Nem foglalkoztunk — és elsősorban Vaskohászati Bizottságunk — ezzel a problémával úgy, amint annak jelentősége azt megkövetelte volna. A feladat nem az lett volna, hogy megvárjuk, amíg a Vaskutatóból hozzánk jönnek segítségért; nem lett volna szabad megelegednünk azzal, hogy ez a kérdés a tematikában csak általános címszóként szerepel, hanem kötelességünk lett volna megnézni, mi van a címszó mögött, mi történik a Vaskutatóban egy ilyen különlegesen fontos kutatási témával. Ez nemcsak a Vaskohászati Bizottság hibája, hanem a Műszaki Osztály titkársága és osztályvezetőisége is hibás ebben. Az osztályvezetőség nem szoktatta rá szakmai főbizottságainkat arra, hogy teljes mértékben lássák a felelősséget, amely az egész országban folyó kutatómunkát illetően rájuk hárul.

Ez a vita igen fontos tanulság számunkra abból a szempontból is, hogy a jövőben ne fordulhasson elő csak másfél év múlva fontos kutatások helytelen-ségének felismerése. Ha ez nem történt volna meg, ebben a kérdésben is előbbre-jutottunk volna. Vaskohászati Bizottságunk feladata, hogy ezt a hibát helyre-hozza és a vita értékes tapasztalatait számításba véve, a Vaskutató vezetői-vel, munkatársaival, mérnök szakembereivel együtt erélyesen elősegítse az új öntési eljárások ipari bevezetését. Úgy gondolom, hogy a Vaskohászati Bizott-ság élén Verő professzossal, aki leghívatottabb vezetője ennek a kérdésnek, ezt a feladatot végre is tudja hajtani, és így végeredményben ez az ülés jelentősen előre fogja vinni szocialista építőmunkánkat.





*Ara: 35.— Ft*

## TARTALOMJEGYZÉK

<i>Ratkovszky Ferenc</i> : Nagyvasutak 50 periódusú villamosítása és a periódusváltós rendszer	113
<i>Csanádi György</i> : A Magyar Államvasutak villamosításának időszerű kérdései	177
<i>Vajta Miklós</i> : Az 50 periódusú egyfázisú nagyvasúti rendszer hálózati kérdései	197
<i>Verebély László</i> zárószava	239
<i>Hevesi Gyula</i> bevezető szavai Verő professzor előadásához	245
<i>Verő József</i> : A nagyszilárdságú öntöttvas készítésére irányuló kutatások kritikai összefoglalása	247
<i>Hozzászólások:</i>	
<i>Frank László</i>	260
<i>Bánhegyi László</i>	267
<i>Hargitay Sándor</i>	272
<i>Jándi Géza</i>	273
<i>Kerpely Kálmán</i>	276
<i>Csiszár Miklós</i>	278
<i>Kőrös Béla</i>	280
<i>Budinszky Tibor</i>	283
<i>Gerédi József</i>	284
<i>Tóth András</i>	285
<i>Varga Ferenc</i>	288
<i>Hajtó Nándor</i>	290
<i>Balogh Imre</i>	294
<i>Verő József</i> összefoglaló válasza	294
<i>Hevesi Gyula</i> zárószava	299

Akadémiai Kiadó, Budapest V., Alkotmány-utca 21. — Felelős: Mestyán János

Akadémiai nyomda, Budapest, V., Gerlőczy-utca 2. — 22095/53 — Felelős vezető: ifj. Puskás Ferenc

A  
MAGYAR  
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK  
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI  
HEVESI GYULA

VIII. KÖTET

3—4 SZÁM



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
BUDAPEST, 1953

VI. OSZT. KÖZL.

A  
MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK  
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI  
HEVESI GYULA

VIII. KÖTET 3—4. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG : BUDAPEST, V., NÁDOR-UTCA 12.  
KIADÓHIVATAL : BUDAPEST, V., ALKOTMÁNY-UTCA 21.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei változó terjedelmű füzetekben jelennek meg. Négy füzet alkot egy kötetet. Évenként általában egy kötet jelenik meg.

Kéziratok a következő címre küldendők :

Magyar Tudományos Akadémia  
Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei  
Budapest, V., Nádor-u. 12.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Minden szerzót száz különnyomat illet meg megjelent munkájáért. Közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttat a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért, vagy továbbításáért nem vállal.

A Közlemények előfizetési ára kötetenként belföldi címre 40 forint, külföldi címre 60 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest, V., Alkotmány-u. 21. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám : 04-878-111-48), külföldi megrendelések a »Kultúra« Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest, VI., Sztálin út 21. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám : 45-790-057-50-032) útján eszközölhetők.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának kiadványa az

**Acta Technica**

című idegennyelvű folyóirat.

E lap hivatott a magyar műszaki tudományok eredményeinek legjavát a külföld felé tolmácsolni. A cikkek orosz, német, angol vagy francia nyelven jelennek meg, lehetőleg a szerző kívánsága szerint, összefoglaló pedig a cikk nyelvén és azonkívül a másik három nyelven. Cikkeket magyar, vagy a szerző választotta idegen nyelven a következő címre kell beküldeni :

Acta Technica szerkesztősége. Budapest, V., Nádor-utca 12.

# ÁRAMLÁS CSŐVEZETÉKEKBEN. FÖLDGÁZVEZETÉKEK MÉRETEZÉSE.

GUMAN JENŐ

[Beérkezett 1952 ápr. 17-én]

Gázvezetékek, különösen nagy távvezetékek méreteit még ma is tisztán gyakorlati képletekkel számítják ki. A földgázvezetékek építésével gyűjtött tapasztalatokat és a vezetékeken véghezvitt kísérletek eredményeit sokan igyekeztek algebrai formába önteni: míg az amerikaiak, *Oliphant* (1902), *Unwin* (1904), *F. M. Towl* (1910), *Weymouth* (1912) teljesen tapasztalati adataikra támaszkodva állították fel képleteiket, az angol és német szerzők, mint *Fritzsche* (1908), *Lees* (1914), *Sherwood* és *McAdams* (1926), *Biel* (1927) az elméleti kutatások eredményeivel igyekeztek összhangba hozni gyakorlati egyenleteiket. Ezek közül a gyakorlati egyenletek közül leghasználatosabbak: Amerikában *Weymouth* egyenlete, Németországban *dr. Biel* gyakorlati képlete (Gebrauchsformel) és Erdély gázmezőin az *e* sorok írójától 1915-ben felállított *erdélyi formula*.

Az orosz származású *Nikuradsenak* sikerült a síma és mesterségesen érdessé tett csövekben a turbulens áramlás feltételeit tisztázni és különösen az érdes csövekben való áramlásra általános érvényű szabályokat felállítani. *Colebrook* és *White* igazolták ezeket az eredményeket.

## I. Reynolds hasonlósági elve

### *Réteges és örvénylő áramlás*

A 18. és 19. század a technika hatalmas fejlődését hozta magával és az emberi közösségek napi szükségleteinek kielégítésére a javaknak csővezetékeken való szállítása mindinkább tért hódított. Ezek a tények a hidrodinamikai tudományok fejlődését is nagyban előmozdították. Amikor az 1840-es években *Poiseulle* francia orvos a nyúlósság fogalmát az áramlástanba behozta és a réteges, lamináris áramlás szabályait mennyiségtani alakba öntötte, ezzel a tudományos áramlástan alapját lefektette.

Ámbár az áramlás két alakját, a *réteges* (lamináris) és az *örvénylő* (turbulens) áramlást már régebben ismerték, ezeknek lényegéről tiszta képet *Reynolds* kísérletei adnak. Szellemes és egyszerű eszközökkel mutatta meg, hogy az áramlás ezen két alakjának egészen különböző áramlasképei vannak és törvényei is teljesen eltérőek.

*Osborne Reynolds* [1] vízszintes üvegcsőben egyenletes sebességgel mozgó vízáramba finoman kihúzott üvegcső nyílásán át az áram irányával párhuzamosan színezett folyadékot fecskendezett be, amelyet vékony fonalként ragadott magával az áramló víz. A víz sebessége a kifolyó csappal széles határok között változtatható volt. Kis sebességnél a színezett folyadék, mint egy egyenes fonál, élesen elváló határvonallal folyt együtt a vízzel, a sebesség növelésével, egy bizonyos áramlási sebességnél, a színes folyadékvonal határvonalai kezdenek elmosódni, a fonal vastagsága nagyobbodik, majd a csap további kinyitásával teljesen szétszolva, egész szélességében megfesti az áramló víztömeget. Kisebb sebességnél a színes folyadékszál szétszlása ennek beömlési szelvényétől távolabb kezdődik, a sebesség növekedésével azonban az mind közelebb húzódik a beömléshez. Később számosan megismételték ezt a kísérletet, cseppfolyós folyadékokkal éppúgy, mint levegővel és gázokkal, úgyhogy a levegőbe, vagy gázokba finoman elosztott füstöt fújtak be; az eredmény ugyanaz volt, csupán az a sebesség változott az áramló folyadék minőségével, amelynél a színes folyadékszál, vagy füstfonál szétszlani kezdett.

A színes folyadék helyett vigyünk be a vízáramba rendkívül finom fareszeléket, vagy csillogó alumíniumport és figyeljük meg ezek mozgását nagyobb folyadéksebességeknél. A reszelék rendezetlen örvénylő mozgással áramlik át a csövön. A kifolyó csap lassú elzárásával az örvénylés hevessége csökken és egy bizonyos sebességnél elérjük azt, hogy a reszelék ismét nyugodtan, a csőfallal párhuzamos áramvonalban fog a folyadékkal továbbhaladni.

Ezek a kísérletek két áramlásféleség belső szerkezetére adnak felvilágosítást: az egyenes, zavartalan színes folyadékszalaggal való áramlásnál a folyadék-részecskéknek csak a főáram irányában van sebességük, erre merőleges irányban sebességösszetevő nincs, az áramlás *réteges*, *fonalas* vagy *lamináris*. A színes folyadékszál eloszlása és a reszelék örvénylő mozgása azt jelzi, hogy a folyadék-részecskéknek az áramlás irányára merőleges irányban is vannak sebességösszetevői és a folyadék-részecskék a csőfallal párhuzamos áramlásrétegekből áthatolnak a vele szomszédos, vele érintkező rétegekbe, mozgásmennyiségeiket átviszik az anyarétegből a szomszédos rétegekbe. Így annak sebességét módosítják, fékezik, ha lassúbbakból jutottak gyorsabbakba, gyorsítják, ha a vándorlás ellenkező irányban történt, ezért ennél az áramlásféleségnél a sebességszelvény is laposabb, mint a réteges áramlásnál. Innen van a heves örvénylés, amelynek fenntartására mozgásenergia szükséges, ennél az áramlásféleségnél több energia emésztődik fel, mint a réteges áramlásnál. Ez az áramféleség az *örvénylő*, *gomolygó* vagy *turbulens* áramlás.

Ha ezekkel a kísérletekkel kapcsolatban a számbeli összefüggést keressük és kutatjuk, hogy minek a függvénye az a *kritikus sebesség*, amelynél a réteges áramlás éppen átmegy az örvénylő áramlásba, azt találjuk, hogy az az anyagtól és a cső méretétől függ. Hogy ugyanazt az áramlási képet kapjuk, nem elégséges csak az áramlást határoló felületek *geometriai* hasonlósága. Ha egy  $d$  átmérőjű

csőben  $u$  középsebességgel még fonalas az áramlás, egy  $2d$  átmérőjű csőben  $2u$  sebességgel, ugyanaz a folyadék már örvénylő áramlással ömölhet át a csövön. Kérdés tehát, hogy a geometriai hasonlóságon felül mily feltételt kell még teljesíteni, hogy hasonló áramlási képet kapjunk? Vagyis mi a feltétele a *dinamikai hasonlóságnak*?

Szabatosabban így fogalmazhatnók meg a kérdést: *Két, geometriailag hasonló vonalas elhatárolás között lefolyó áramlás mily feltétel mellett lesz dinamikai is hasonló olyképpen, hogy a megfelelő időkből az áramlás képe is hasonló, ugyanazon arányban megnagyobbított ábrákat adjon?* Ezt a feladatot, mely tulajdonképpen nem más, mint a mechanikában gyakran alkalmazott *kismintaszabály*, Reynolds oldotta meg. A hidro- és aerodinamikában többféleképpen szokás ezt levezetni, lehet dimenzionális vagy energetikai alapon, azonban szigorú mennyiségtani megoldást az általános áramlási egyenletekkel, a *Navier—Stokes* egyenletek segítségével kapunk.

Egyszerűség kedvéért vegyünk egy összenyomhatatlan, cseppfolyós folyadékot, mely külső erők behatása nélkül áramlik. Jelöljük a következőkben:

- $x, y, z$  egy áramló folyadék-részecske összrendezőit,
- $u, v, w$  ezen részecske sebességének összetevőit,
- $t$  az időt,
- $p$  a nyomást,
- $\rho$  a sűrűséget,
- $\nu$  a kinematikai nyúlósságot.

Elégséges, ha a levezetést a koordinátarendszer egyik tengelyének, az  $x$  tengelynek az irányára végezzük el, ennek ciklikus permutációjával automatikusan felírhatjuk az egyenleteket az  $y$  és  $z$  irányokra is. Az említett feltételek mellett a *Navier—Stokes* egyenlet:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right). \quad (1)$$

Feladatunk szerint, hogy a geometriai hasonlóság feltételét teljesítsük, minden vonalas mértéket ugyanolyan arányban kell megnövelnünk, így  $x$ -et,  $\lambda x$ -re,  $y$ -t  $\lambda y$ -ra és  $z$ -t  $\lambda z$ -re, hol  $\lambda$  tetszésszerint választott arányossági tényező. A többi változó közül kettőt, éspedig válasszuk a sebességet és nyúlósságot, növeljük  $\zeta$  arányban  $\zeta u$ ,  $\zeta v$ ,  $\zeta w$ , illetve  $\xi$  arányban  $\xi \nu$ -re, a többi változó növekedési aránya ebből adódik. Az idő növekedési arányszáma a sebességből vezethető le (a  $\sim$  jel arányosságot jelöl):

$$u = \frac{dx}{dt} \quad \text{és:} \quad dt = \frac{dx}{u} \sim \frac{d(\lambda x)}{\zeta u} \sim \frac{\lambda}{\zeta} \cdot dt.$$



A parciális differenciálhányadosok növekedési arányszáma :

$$\frac{\partial u}{\partial t} \sim \frac{\partial(\zeta u)}{\partial\left(\frac{\lambda}{\zeta} t\right)} \sim \frac{\zeta^2}{\lambda} \cdot \frac{\partial u}{\partial t}; \quad u \frac{\partial u}{\partial x} \sim \zeta u \frac{\partial(\zeta u)}{\partial(\lambda x)} \sim \frac{\zeta^2}{\lambda} \cdot u \frac{\partial u}{\partial x}; \text{ stb.}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \sim \frac{\partial^2(\zeta u)}{\partial(\lambda x)^2} \sim \frac{\zeta}{\lambda^2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}; \text{ stb.}$$

Az (1) egyenlet a megnagyobbított áramlási képre lesz tehát :

$$\frac{\zeta^2}{\lambda} \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{1}{\rho_1} \frac{\partial p_1}{\lambda \partial x} + \frac{\zeta \xi}{\lambda^2} \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right). \quad (2)$$

A sűrűség és nyomás növekedésének mértéke egyelőre ismeretlen, annak a fenti két egyenletből kell kiadódni, jelöljük  $\rho_1$  és  $p_1$ -el.

A (2) egyenlet az (1) egyenlet mellett csak úgy állhat meg, ha annak minden tagja ugyanazzal az arányossági tényezővel van megszorozva, hiszen feltételünk volt, hogy a megfelelő időbeli áramlási képek arányosan megnagyobbítva hasonlóak legyenek. Így ha az (1) egyenletet  $\zeta \xi / \lambda^2$  arányossági tényezővel szorozzuk :

$$\frac{\zeta \xi}{\lambda^2} \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\zeta \xi}{\lambda^2} \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\zeta \xi}{\lambda^2} \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

Összehasonlítva a (2) és (3) egyenleteket, feltételünk szerint

$$\frac{\zeta \xi}{\lambda^2} = \frac{\zeta^2}{\lambda}, \text{ amiből } \frac{\lambda \zeta}{\xi} = 1 \quad (4)$$

és

$$\frac{\zeta \xi}{\lambda^2} \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{1}{\lambda} \frac{1}{\rho_1} \cdot \frac{\partial p_1}{\partial x}, \text{ amiből : } \partial p_1 = \frac{\zeta \xi}{\lambda} \cdot \frac{\rho_1}{\rho} \cdot \partial p. \quad (5)$$

A (4) egyenlet szerint a mechanikai hasonlóság feltétele, hogy a három arányossági tényezőt úgy kell megválasztani, hogy a megnagyobbított áramlásnál

$$\frac{\lambda x \zeta u}{\xi \nu} = \frac{\lambda \zeta}{\xi} \cdot \frac{xu}{\nu} = \frac{xu}{\nu}; \text{ vagyis : } \frac{\lambda \zeta}{\xi} = 1$$

legyen, vagyis az  $xu/\nu$  arány állandó legyen a két hasonló áramlásban. Ez a hányados a *Reynolds-féle szám*

$$Re = \frac{xu}{\nu}, \quad (6)$$

vagy röviden a *Re-szám*. Geometriailag hasonló elhatárolások között két áramlás akkor folyik le dinamikailag is hasonlóan, ha mindkettőhöz ugyanaz a *Re-szám* tartozik.

Ha a folyadék sűrűsége is megváltozik,  $\rho_1$  lesz, akkor az (5) egyenlet szerint a nyomásnak is

$$p_1 = \frac{\zeta \xi}{\lambda} \cdot \frac{\rho_1}{\rho} p$$

arányban kell megváltoznia. Mivel az átáramló térfogat tehát a lineáris dimenziók hasonlósága a feltétel, — hasonló áramlasképet, tehát a lineáris áramlási dimenziók hasonlóságát is tételeztük fel, — a nyomás és sűrűség változása csupán ezen térfogat átszámításánál (normál állapotra vagy súlyra) jön tekintetbe, — az áramlás dinamikai hasonlóságát ez nem befolyásolja.

A körszelvényű csövek jellemző vonalas mérete a sugár vagy az átmérő  $s$  így ebben az esetben a *Reynolds*-szám

$$Re_D = \frac{Du}{\nu}, \quad \text{vagy:} \quad Re_R = \frac{Ru}{\nu}$$

és

$$Re_D = 2Re_R.$$

A következőkben a *Reynolds*-számot mindig az átmérőre fogjuk vonatkoztatni, és ezt a  $D$  index elhagyásával jelöljük. Ha kivételesen a sugárra vagy más jellemző vonalas kiterjedésre vonatkoztatott *Reynolds*-számról lesz szó, ezt mindig a jellemző index hozzáírásával fogjuk megjelölni. Természetesen más jellemző vonalas mérettel és bármely sebességgel is képezhetjük a *Reynolds*-számot, célunknak megfelelően.

A *Reynolds*-számnak nincs dimenziója. A vonalas dimenzió a hosszegység, a méter, a sebesség mértékegysége a  $\text{m sec}^{-1}$ , a kinematikai nyúlósságé  $\text{m}^2\text{sec}^{-1}$  és a *Re*-szám dimenziója:

$$\frac{\text{m} \cdot \text{m sec}^{-1}}{\text{m}^2 \text{sec}^{-1}} = 1,$$

tehát egy abszolút viszonyszám, független a mértékrendszerétől, amelyben a benne foglalt fizikai értékeket mérjük, így azonos vonalas dimenzióra vonatkozó *Re*-szám ugyanaz az angol  $ft-lb-sec$  mértékrendszerben, mint a méterrendszerben. A *Reynolds*-számnak tehát általános jellege van.

A sebesség helyett, mely ritkán ismeretes és a *Re*-szám meghatározásánál sokszor külön számítást okoz, behozhatjuk a leggyakrabban közvetlenül ismert adatot: az időegység alatt átáramló folyadékmennyiséget, az *áramlás erősségét*. Legyen az 1 sec alatt a  $D$  átmérőjű csővezetéken átáramló folyadékmennyiség az átfolyás állapotában  $V \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  $u \text{ m/s}$  a szelvény középsebessége, akkor

$$\bar{u} = \frac{V}{D^2 \frac{\pi}{4}} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{V}{D^2}$$

és

$$Re = \frac{\bar{u}D}{\nu} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{V}{D\nu}. \quad (7)$$

Vagy ha az áramlás erőssége nem az átfolyás állapotában,  $p$  kg/m<sup>2</sup> nyomás és  $T^\circ$  abszolút hőmérséklet, hanem  $p_0$  kg/m<sup>2</sup> és  $T_0$ -ra vonatkoztatott normál állapotban adjuk

$$V = \frac{p_0}{p} \cdot \frac{T}{T_0} V_0$$

legyen továbbá a gáznak a levegőre vonatkoztatott fajsúlya  $s$ , gázállandója  $B_g$ , a levegő gázállandója  $B_l = 29,256$ , akkor

$$s = \frac{\gamma_g}{\gamma_l} = \frac{B_l}{B_g}; \quad \nu = \frac{\mu_{abs}}{10\gamma_g} = \frac{\mu_{abs}}{10} \cdot \frac{T}{p} \cdot \frac{B_l}{s}$$

ezek behelyettesítésével

$$Re = \frac{40}{\pi} \cdot \frac{p_0}{T_0} \frac{s}{\mu_{abs}} \cdot \frac{V_0}{B_l D} \quad (7a)$$

és az állandók értékeinek betétele után

$$Re = 0,4352 \frac{p_0}{T_0} \frac{s}{\mu_{abs}} \cdot \frac{V_0}{D}. \quad (7b)$$

Vagy ha a gázáram erőssége + 15 C° és 760 Torr nyomásra vonatkozik :

$$Re = 15,6145 \frac{s}{\mu_{abs}} \cdot \frac{V_0}{D}. \quad (7c)$$

Például az erdélyi földgázvezetékknél : az áramló gáz közepes hőfoka +9 C° és ennél a hőmérsékletnél átlagban :

$$\mu = 1057 \cdot 10^{-7} \text{ Poise és } s = 0,56$$

$$Re = 82729 \frac{V_0}{D} \quad (7d)$$

Ugyanezek az egyenletek, ha a gázáram erősségét m<sup>3</sup>/óra egységben, a vezeték átmérőjét cm-ben, a nyomást kg/cm<sup>2</sup>-ben mérjük :

$$Re = 120,89 \frac{p_0}{T_0} \cdot \frac{s}{\mu_{abs}} \cdot \frac{Q_0}{d} \quad (8a)$$

$$Re = 0,4337 \frac{S}{\mu_{abs}} \cdot \frac{Q_0}{d} \quad (8b)$$

és az erdélyi földgázra

$$Re = 2298 \frac{Q_0}{d} \cong 2300 \frac{Q_0}{d} \quad (8c)$$

Nagykanizsai földgázra

$$s = 0,65; \quad \mu = 900 \cdot 10^{-7} \text{ Poise}; \quad Re = 112\,771 \frac{V_0}{D} = 3132,5 \frac{Q_0}{d}$$

Ha a nyúlósságot  $\text{kg}_T \text{m}^{-1} \text{sec}^{-1}$ \* egységben adjuk, úgy

$$\mu_{\text{tech}} = \frac{[\text{u kg}_T \text{m}^{-1} \text{sec}^{-1}]}{g_{[\text{m} \cdot \text{sec}^{-2}]}}$$

és

$$Re = \frac{\bar{u}D}{\nu} = \frac{\bar{u}D\sigma}{\mu} = \frac{\bar{u}D\gamma/g}{\mu_{[\text{kg}_T \text{m}^{-1} \text{sec}^{-1}]/g}} = \frac{\bar{u}D\gamma}{\mu}$$

$$Re = \frac{\bar{u} [\text{m} \cdot \text{sec}^{-1}] \cdot D_{[\text{m}]} \cdot \gamma_{[\text{kgm}^{-3}]}}{\mu_{[\text{kg}_T \text{m}^{-1} \text{sec}^{-1}]}}$$

Folyadékokra a Reynolds szám, mivel

$$\bar{u} = \frac{4}{\pi} \frac{Q''}{D^2} = \frac{Q_{[\text{m}^3/\text{óra}]}}{3600} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{1}{D_{[\text{m}]^2}}; \quad D_{[\text{m}]} = 10^{-2} d_{[\text{cm}]}; \quad \nu_{\text{tech}} = \frac{\mu_{[\text{CGS}]}}{10\gamma_{[\text{kg} \text{m}^{-3}]}}$$

ezzel:

$$Re = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{Q}{3600} \cdot \frac{100}{d} \cdot \frac{10\gamma}{\mu} = 0,35368 \frac{Q \cdot \gamma}{\mu \cdot d},$$

vagy ha  $G$  az óránkénti folyadéksúlyt jelenti  $\text{kg}$ -ban

$$Re = 0,35368 \frac{G}{\mu d},$$

kikerekítve

$$Re = 0,354 \frac{Q\gamma}{\mu d} = 0,354 \frac{G}{\mu d}.$$

A Reynolds-számot tehát visszavezettük a gázáram erősségére és a vezeték átmérőjére, amely két adat csaknem mindig ismeretes. Mivel erre a legtöbbször csupán azért van szükség, hogy megvizsgáljuk, vajjon az áramlás bizonyos  $Re$ -szakaszba esik-e vagy sem, megeleghszünk ennek hozzávetőleges kiszámításával, amire a (8c) egyenlet kikerekített alakja igen alkalmas, ezt könnyen megjegyezhetjük. Ha nem erdélyi földgázzal, hanem valamely  $s$  levegőre vonatkoztatott fajsúlyú és  $\mu$  abszolút nyúlósságú gázzal van szó, az erdélyi földgázra

számított  $Re$ -számot az  $\frac{s}{0,56} \cdot \frac{1057 \cdot 10^{-7}}{\mu}$  korrekciós tényezővel szorozzuk:

$$Re = Re' \cdot \frac{s}{0,56} \cdot \frac{1057 \cdot 10^{-7}}{\mu}. \quad (8d)$$

\* A következőkben, ha tömegről van szó, a mértékegység jele mellé írt T index jelzi ezt. Ezen index nélkül súlyt jelent a mértékegység jele.

Számítsuk ki a Reynolds-féle kísérletben használt különféle anyagokra, folyadékokra és gázokra, valamint sebességekre és csőátmérőkre a *Re*-számokat : azt fogjuk találni, hogy az átmenet a réteges áramlásból az örvénylő áramlásba körülbelül ugyanazon *Re*-számnál következik be. A két áramlásféleség között labilis átmenet van, amelynél réteges áramlás és örvénylő áramlás is lehetséges. Ebben az átmeneti szakaszban azonban a réteges áramlásnak legkisebb megzavarása — éles beömlő nyílás, kiálló perem, idomdarab stb. — elégséges ahhoz, hogy az áramlás átcsapjon örvénylő áramlásba. Viszont a kritikus *Re*-szám alatt réteges áramlásban valamilyen zavaró ok miatt keletkezett örvény a zavaró ok megszűntével azonnal eltűnik, és az áramlás visszatér eredeti réteges alakjába.

Általában a *kritikus Reynolds-szám* 2200—2500 között van ; sorozatos mérések szerint valószínű értékét 2320-nak vehetjük, mely alatt csak réteges áramlás lehetséges, e fölött lehetséges azonban réteges és örvénylő áramlás is. Gondosan véghezvitt kísérletekben sikerült réteges áramlást  $Re = 20\ 000$ , sőt  $Re = 25\ 000$ -ig is fenntartani. [2]

## II. Réteges áramlás

*Poiseuille* francia orvos a vérnek az áramlását tanulmányozta a hajszálerekben és evégből finom hajszálcsöveken végzett átfolyási kísérleteket. Ha ezeket könnyen folyó alkohollal, éterrel stb., különben azonos nyomás, hőmérsék és idő mellett végezte, ugyanazon hajszálcsövön, egészen más átfolyó mennyiségeket kapott, mint amikor nehezebben folyó olajat, vért használt kísérleteiben. Különösen feltűnő volt ez a csaknem azonos fajsúlyú víz és olaj esetében, mert hiszen ebből nyilvánvaló volt, hogy a két folyadék sűrűsége nem lehet oka ennek az eltérő viselkedésnek, hanem az okot más, belső molekuláris anyagtulajdonságban kell keresnünk.

Korlátozzuk megfigyeléseinket igen kis sebességű áramlásokra, amelyeknél a folyadékmozgás réteges, lamináris, és képzeljük el két egymással párhuzamos síklapot, melyeknek között egy homogén folyadék tölti ki és amely lapok közül az egyik áll, a másik  $u$  sebességgel egyenletesen mozog. A kísérlet azt mutatja, hogy a lapokon közvetlenül fekvő, végtelen vékony folyadékréteg, mintegy a lapokhoz tapadva, az álló lappal áll, a mozgó lappal annak  $u$  sebességével együtt mozog, a két lap közötti folyadékrétegek sebessége pedig az álló laptól mért  $y$  távolsággal arányosan növekszik 0-tól  $u$ -ig, vagyis a  $du/dy$  sebességgradiens állandó. Az az erő, amelyet az egyik végtelen vékony folyadékréteg a vele  $F$  felületen érintkező, tőle  $dy$  távolságban lévő és vele párhuzamos, hozzá viszonyítva  $du$  relatív sebességgel mozgó folyadékrétegre gyakorol, arányos a két réteg közötti sebességkülönbséggel és az érintkező felülettel,

$$P = \mu F \frac{\partial u}{\partial y}$$

és a felületegységre ható erő, vagyis a *csúsztató feszültség*

$$\tau = \frac{P}{F} = \mu \frac{du}{dy} \quad (9)$$

Itt  $\mu$  egy arányossági tényező, amelyet a

$$\mu = \tau \frac{dy}{du} \quad (10)$$

egyenlet meghatároz. A  $\mu$  arányossági tényező az anyagra jellemző belső súrlódási együttható, a *nyúlóssági tényező*, az anyag *viszkozitása*.

A nyúlóssági tényezőt és annak mértékegységét a (10) egyenlet definiálja. A CGS mértékrendszerben, ahol ezt *abszolút nyúlósságnak* nevezzük, a csúsztató feszültség dimenziója  $\text{dyn/cm}^2 = \text{gr}_T \text{cm}^{-1} \text{sec}^{-2}$ , a távolságé  $\text{cm}$ , a sebességé  $\text{cm sec}^{-1}$ , a nyúlósság dimenziója tehát, melynek egységét első meghatározója tiszteletére, *Poise*-nak nevezzük :

kisebb egységei a

$$1 \text{ Poise} = 1 \text{ gr}_T \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^{-1} = 1 \text{ dyn cm}^{-2} \text{ sec}$$

centipoise (cP)	=	$10^{-2}$ Poise
millipoise (mP)	=	$10^{-3}$ Poise
mikropoise ( $\mu$ P)	=	$10^{-6}$ Poise

Szokás a fizikai mértékrendszerben mért viszkozitást  $\text{kg}_T, \text{m}, \text{sec}$  egységekben megadni. Ez a viszkozitás

$$1 \text{ kg}_T \text{ m}^{-1} \text{ sec}^{-1} = \frac{1000 \text{ gr}_T}{100 \text{ cm sec}} = 10 \text{ Poise}$$

és így

$$\mu [\text{kg}_T \text{ m}^{-1} \text{ sec}^{-1}] = \frac{\mu [\text{Poise}]}{10}$$

A technikai mértékrendszerben a csúsztató feszültséget  $\text{kg/m}^2$ -ben, a távolságot  $\text{m}$  és a sebességet  $\text{m/sec}$ -ben mérjük, így a nyúlósság dimenziója :  $\text{kg m}^{-2} \text{ sec}$ .

Ha az abszolút nyúlósságot műszaki mértékrendszerre kívánjuk átszámítani, tekintetbe kell vennünk, hogy  $1 \text{ gr}_T = 1 \text{ kg}/10^3 \text{ g}$ ;  $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$  és

$$\mu_{\text{tech}} = \mu_{\text{CGS}} \frac{100}{1000 \text{ g}} = \frac{\mu_{\text{CGS}}}{10 \text{ g}} \text{ kg m}^{-2} \text{ sec} \quad (11)$$

Fizikai-, kémiai táblázatokban a nyúlósság rendszeresen Poise-egységekben van megadva, ezt kell osztani a nehézségerő gyorsulásának tízszeresével, hogy a nyúlósságot technikai mértékrendszerre számítsuk át. Pl. a *metán* nyúlóssága  $0^\circ \text{C}$ -nál  $1025 \cdot 10^{-7}$  Poise technikai mértékrendszerben

$$\mu_{\text{tech}, 0^\circ} = \frac{1025 \cdot 10^{-7}}{98,0665} = 10,45 \cdot 10^{-7} \text{ kg m}^{-2} \text{ sec}$$

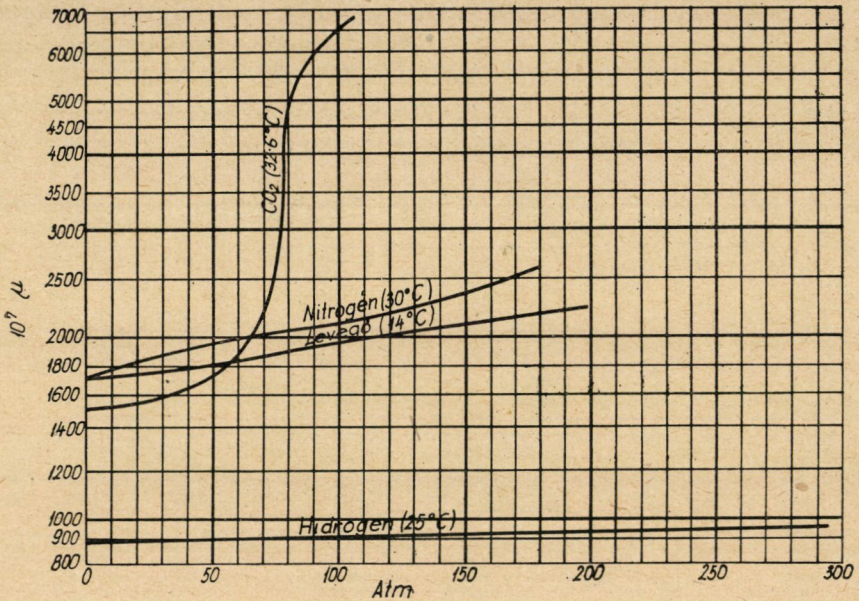
A technikai mértékrendszerben mért nyúlósság és a fizikai mértékrendszerben  $\text{kg}_T \text{ m}^{-1} \text{ sec}^{-1}$  egységben mért nyúlósság közötti összefüggés :

$$\mu_{\text{tech}} = \frac{\mu [\text{kg}_T \text{ m}^{-1} \text{ sec}^{-1}]}{\text{g} [\text{m sec}^{-1}]} = \frac{\mu}{\text{g}} \text{ kg m}^{-2} \text{ sec}$$



A nyúlósság a kinematikai gázelmélet szerint a sűrűségtől, tehát a gáz nyomásától független, amit, korlátolt nyomáshatárok között, a gyakorlat is igazol. Nagy nyomásoknál azonban ez nem egyezik a valósággal: az 1. ábra néhány gáz nyúlósságának a nyomással változását mutatja. Különösen feltűnő ez a szénsavnál [3], amelynek viszkozitása mintegy 60 at fölött rohamosan növekszik.

Annál érezhetőbb a nyúlósság változása a hőmérséklettel. Ha  $T_0$  abszolút



1. ábra

hőfokon a nyúlósság  $\mu_0$  és  $C$  az anyagra jellemző állandó, úgy Sutherland szerint

$$\mu_T = \mu_0 \frac{C + T_0}{C + T} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{3/2} \quad (12)$$

ahol  $C$  a Sutherland-állandó.

Az egyenlet állandóit összefoglalva

$$K = \mu_0 \frac{C + T_0}{T_0^{3/2}} = \mu_0 \frac{273 + C}{4511}$$

és

$$\mu_T = \frac{KT^{3/2}}{C + T}$$

A  $K$  állandó minden gázra előre kiszámítható. (I. táblázat.)

A Sutherland-egyenlet általában, az áramlásban előforduló hőmérséklet-határok között jól használható. Igen alacsony és igen nagy hőmérsékletnél

azonban az eltérés már lényeges lehet. A *hidrogén*- és *hélium*-gázokra jobban megfelel az exponenciális egyenlet [4]

$$\mu_T = \mu_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^n \quad (13)$$

a kitevő hidrogénra [5]:  $n = 6.681$  és héliumra [6]:  $n = 0.647$ .

Az áramlásban, különösen a folyadékmozgásoknak a hasonlósági elv alapján való tárgyalásában, a nyúlósság és sűrűség rendszerint egymáshoz kapcsolva, a  $\mu/\rho$  alakban fordulnak elő. Anélkül, hogy ennek valami fizikai jelentőséget tulajdonítanánk, *Maxwell* javaslatára szokás ezt a hányadost egy új anyagtulajdonságnak tekinteni, aki ennek a *kinematikai viszkozitás*, magyarul *mozgástani nyúlósság* nevet adta, ellentétben az abszolút vagy *dinamikai nyúlóssággal*.

A fizikai mértékrendszerben a *kinematikai nyúlósság*

$$\nu_{[CGS]} = \frac{\mu_{[grT \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^{-1}]}}{\rho_{[grT \text{ cm}^{-3}]}} = \frac{\mu}{\rho} \text{ cm}^2 \text{ sec}^{-1}.$$

Ennek neve, a nagy áramláskutató, *Stokes* tiszteletére *Stoke*, kisebb egységei:

$$\begin{aligned} 1 \text{ centistoke (cSt)} &= 10^{-2} \text{ Stoke} \\ 1 \text{ milistoke (mSt)} &= 10^{-3} \text{ Stoke} \\ 1 \text{ mikrostoke (\mu St)} &= 10^{-6} \text{ Stoke} \end{aligned}$$

A technikai mértékrendszerben a kinematikai nyúlósság dimenziója

$$\nu_{tech} = \frac{\mu_{[kg m^{-2} \text{ sec}]}}{\rho_{[kg m^{-4} \text{ sec}^2]}} = \frac{\mu_{tech}}{\rho} \text{ m}^2 \text{ sec}^{-1}$$

és az átszámítás egyik mértékrendszerből a másikba:

$$\nu_{tech} = 10^{-4} \nu_{[CGS]}$$

egyenlettel történik. Igen gyakran csak a gázok dinamikai nyúlóssága és fajsúlya ismeretes, ebből közvetlenül kiszámíthatjuk a kinematikai nyúlósságot, mert

$$\nu_{tech} = \frac{\mu_{tech}}{\rho} = \frac{\mu_{tech} g}{\gamma} = \frac{\mu_{[CGS]} g}{10g\gamma} = \frac{\mu_{[CGS]}}{10\gamma}.$$

és

$$\nu_{[CGS]} = 1000 \frac{\mu_{[CGS]}}{\gamma}$$

hol a fajsúly számértéke mindkét egyenletben  $kg/m^3$  egységben teendő be.

A  $kg_T m^{-1} sec^{-1}$  egységben megadott nyúlósságnak az a számításbeli előnye van, hogy egyszerűen  $\gamma$ -val való osztással számítható ki a táblázatokban

## A leggyakoribb műszaki gázok, szénhidrogén-

Sorszám	Megnevezés	Kémiai jel	Molekulasúly	Mol-térfogat 0°, 760 Torr m <sup>3</sup> /kg mol	Sűrűség és fajszűly			Gáz-állandó B
					Sűrűség $\rho_0$ 0°, 760 Torr kg m <sup>-3</sup> s <sup>2</sup>	Fajszűly $\gamma^0$ 0°, 760 Torr kg/m <sup>3</sup>	Levegő-re vonatkoztatott fajszűly s	
1.	Levegő .....		(28,98)	(22,414)	0,1318	1,29276	1	29,256
2.	Nitrogén, kém. tiszta	} N <sub>2</sub>	28,016	22,404	0,1275	1,25051	0,9673	30,244
3.	Nitrogén, levegőből		22,294	0,1281	1,25662	0,9720	30,097	
4.	Oxigén .....		O <sub>2</sub>	32	22,395	0,1457	1,42889	1,1053
5.	Hidrogén .....	H <sub>2</sub>	2,0156	22,428	0,00916	0,08987	0,0695	420,84
6.	Helium .....	He	4,002	22,423	0,0182	0,17848	0,1381	211,90
7.	Neon .....	Ne	20,2	22,440	0,0918	0,90017	0,6963	42,015
8.	Argon .....	Ar	39,94	22,412	0,1817	1,78210	1,3785	21,222
9.	Krypton .....	Kr	82,92	22,363	0,3781	3,7079	2,8682	10,200
10.	Xenon .....	X	130,2	22,253	0,5966	5,8508	4,5258	6,464
11.	Metán .....	CH <sub>4</sub>	16,0312	22,365	0,0731	0,71680	0,5545	52,763
12.	Etán .....	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30,0468	22,159	0,1384	1,35596	1,0489	27,892
13.	Propán .....	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44,0624	21,825	0,2059	2,0189	1,5617	18,733
14.	n. Bután .....	} C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58,078	21,710	0,2728	2,6752	2,0694	14,137
15.	i. Bután .....		21,771	0,2720	2,6677	2,0636	14,177	
16.	n. Pentán (gőz) .....		} C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72,0936	23,122	0,3179	3,118	2,411
17.	i. Pontán (gőz) .....	22,785		0,3234	3,171	2,453	11,927	
18.	Etilén .....	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28,0312	22,240	0,1285	1,2604	0,9750	30,006
19.	Propilén .....	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42,0468	22,389	0,1915	1,878	1,4527	20,139
20.	$\alpha$ Butilén .....	} C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56,0624	(22,414)	(0,2551)	(2,5012)	(1,935)	(15,121)
21.	$\beta$ Butilén .....							
22.	$\gamma$ Butilén .....							
23.	Acetilén .....	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26,0156	22,220	0,1194	1,17082	0,9057	32,303
24.	Szénmonoxid .....	CO	28	22,398	0,1275	1,25011	0,9670	30,254
25.	Széndioxid .....	CO <sub>2</sub>	44	22,260	0,2016	1,97664	1,5290	19,134
26.	Nitrogénoxid .....	NO	30,008	22,361	0,1368	1,342	1,0381	28,182
27.	Nitrogénoxidul .....	N <sub>2</sub> O	44,016	22,258	0,2016	1,9775	1,5297	19,125
28.	Ammoniak .....	NH <sub>3</sub>	17,0314	22,093	0,0786	0,7709	0,5963	49,060
29.	Kénhidrogén .....	SH <sub>2</sub>	34,0856	22,156	0,1569	1,5384	1,1900	24,584
30.	Kéndioxid .....	SO <sub>2</sub>	64,07	21,885	0,2985	2,9276	2,2646	12,919
31.	Vizgőz .....	H <sub>2</sub> O	18,0156	22,407	0,0820	0,804	0,622	47,041

A táblázatok összeállításánál használt

## fizikai állandók

Normál atmoszféra .....	1 Atm	= 760 Torr = 1,033258 kg/cm <sup>2</sup> = 1 013 280 dyn/cm <sup>2</sup>
Metrikus atmoszféra .....	1 at	= 735,54 Torr = 1 kg/cm <sup>2</sup> = 980 665 dyn/cm <sup>2</sup>
A nehézségi erő gyorsulása, 45° sz. ....	g	= 9,80665 m/sec <sup>2</sup>
A higany fajszűly, 0 C°-on .....	$\gamma_0$	= 13 595,5 kg/m <sup>3</sup>
A levegő litersűly, 0 C°, 760 Torr .....		1,29280 gr/liter
Az ideális gáz moltérfogata, 0 C°, 760 Torr .....		22,414 m <sup>3</sup> /mol
Az oxigén atomsűly .....		16,0000
A hidrogén atomsűly .....		1,0078
Az abszolút nullpont .....		-273,2 C°
Általános gázállandó .....		848 m <sup>3</sup> (kg/m <sup>2</sup> )/fok

L Á Z A T

gázok és nemes gázok fizikai állandói.

Nyúlóság, 0 C°, 760 Torr.									
Dinamikai $\mu_0 \cdot 10^7$	Sutherland állandó		Kinematikai $\gamma_0$	Műszaki mértérendszer		Forráspont 760 Torr	Kritikus hőmérséklet	Kritikus nyomás kg/cm <sup>2</sup>	Megjegyzés
	C	K · 10 <sup>7</sup>		Dinamikai	Kinematikai				
			Stoke			$\mu_0 \cdot 10^8$ kg/m <sup>-2</sup> s	$\nu_s \cdot 10^8$ m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>	C°	
1716	117	148,4	0,1328	1750	1328		-140,6	38,25	
1657	110	140,7	0,1325	1690	1325	-195,67	-146,6	33,75	
1905	130	170,2	0,1334	1943	1334	-183,0	-118,6	50,5	
849	*	*	0,9454	866	9454	-252,8	-239,9	12,8	* $\mu_T = \mu_0 (T/T_0)^{0,681}$
1876	*	*	1,0511	1913	10511	-268,82	-267,9	2,26	* $\mu_T = \mu_0 (T/T_0)^{0,647}$
2966	61	219,6	0,3294	3024	3294	-246	-228,4	26,9	
2090	142	192,2	0,1173	2131	1173	-186	-122,4	48,0	
2316	210	248,0	0,0625	2362	625	-152	-62,5	54,3	
2111	290	272,8	0,0361	2153	361	-109	+16,6	58,2	
1025	174	101,6	0,1430	1045	1430	-161,5	-82,4	47,3	
857	270	103,2	0,0632	874	632	-88,6	+32,3	49,85	
749	310	96,8	0,0371	764	371	-42	+96,8	45,0	
684	377	98,6	0,0255	697	255	-0,5	+152	38,7	
693	335	93,4	0,0260	707	260	-11,7	+134	37,3	
617	311	79,8	0,0198	629	198	+36	+197,2	34,1	
641	304	82,0	0,0202	654	202	+28	+188	33,9	
935	249	108,0	0,0742	953	742	-103,7	+7,2	52,65	
782	322	103,2	0,0416	797	416	-46,2	+91,4	47	
707	329	94,4	(0,0283)	721	(283)	-6,25	+144	43,5	
693	362	97,7	(0,0277)	707	(277)	+3,72	+155	—	(A gáztörvényből számítva.)
731	339	99,2	(0,0292)	745	(292)	+0,9	+155	—	
956	198	99,8	0,0817	975	817	-85,5	+37,2	64,0	
1657	104	138,5	0,1325	1690	1325	-190	-140,3	35,7	
1374	266	164,2	0,0695	1401	695	-78,5*	+31,5	75	* Szublimációpont
1794	195	186	0,1337	1829	1337	-153,6	-93,5	71,2	
1353	260	160	0,0685	1380	685	-89,9	+35,4	75,0	
926	353	128,5	0,1201	944	1201	-33	+130	115	
1175	331	157,7	0,0764	1198	764	-63,5	+100	88,7	
1183	416	180,7	0,0404	1206	404	-10	+155,4	78,9	
975	673	204,5	0,1212	994	1212	+100	+374	225	

A táblázat számításánál használt adatok és képletek :

$$\text{Fajsúly : } \dots\dots\dots \gamma_0 = \frac{\text{litersúly}}{1,000027} \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Sűrűség : } \dots\dots\dots \varrho_0 = \frac{\gamma_0}{9,80665} \text{ kg m}^{-4} \text{ sec}^2$$

$$\text{Gázállandó : } \dots\dots B = \frac{p_0}{T_0 \gamma_0} = \frac{10\,332,58}{273,2 \gamma_0} = \frac{37,820571}{\gamma_0} = \frac{848}{\text{Mol}}$$

$$\text{Mol térfogat} = \frac{\text{molekulasúly}}{\gamma_0}$$

## II. TÁBLÁZAT

## A dinamikai nyúlósság átszámítása

Mérték- egységbe	Metrikus mértérendszer				ft-lb-sec mértérendszer		
	Fizikai mértérendszer		Műszaki mértérendszer		Fizikai mértérendszer	Műszaki mértérendszer	
Mérték- egységből	Poise [CGS] $g_T \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^{-1}$	$kg_T \text{ m}^{-1} \text{ sec}^{-1}$	$kg \text{ m}^{-2} \text{ sec}$	$kg \text{ m}^{-2} \text{ h}$	$lb_T \cdot \text{ft}^{-1} \text{ sec}^{-1}$	$lb \cdot \text{ft}^{-2} \text{ sec}$	$lb \cdot \text{ft}^{-2} \text{ h}$
Poise	1	0,1	0,010 197	$2,8325 \cdot 10^{-6}$	0,067 197	0,002 089	$0,580 15 \cdot 10^{-6}$
$kg_T \text{ m}^{-1} \text{ sec}^{-1}$	10	1	0,101 97	$28,325 \cdot 10^{-6}$	0,671 97	0,020 89	$5,8015 \cdot 10^{-6}$
$kg \text{ m}^{-2} \text{ sec}$	98,0665	9,806 65	1	0,000 278	6,589 76	0,204 8	$56,8934 \cdot 10^{-6}$
$kg \text{ m}^{-2} \text{ h}$	353,039,4	35,303,94	3,600	1	23,723,14	737,338	0,204 816
$lb_T \text{ ft}^{-1} \text{ sec}^{-1}$	14,881 64	1,488 164	0,151 75	$42,1529 \cdot 10^{-6}$	1	0,031 08	$8,633 6 \cdot 10^{-6}$
$lb \text{ ft}^{-2} \text{ sec}$	478,8026	47,880 26	4,882 428	0,001 356	32,174	1	0,000 278
$lb \cdot \text{ft}^{-2} \text{ h}$	1 723 689	172 368,9	17 576,6	4,882 428	115 826,6	3,600	1

### III. TÁBLÁZAT

*A kinematikai nyúlósság átszámítási táblázata*

Mértékegységbe	Fizikai (CGS) mértékrendszer	Műszaki mértékrendszer		Ft—lb—secfizikai és műszaki	Ft—lb—sec műszaki mértékrendszer
Mértékegységből	Stoke $\text{cm}^2 \text{sec}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{sec}^{-1}$	$\text{m}^2 \text{h}^{-1}$	$\text{ft}^2 \text{sec}^{-1}$	$\text{ft}^2 \text{h}^{-1}$
Stoke .....	1	0,0001	0,36	0,001076	3,8750
$\text{m}^2 \text{sec}^{-1}$ .....	10 000	1	3 600	10,763 91	38 750
$\text{m}^2 \text{h}^{-1}$ .....	2,778	$2,778 \cdot 10^{-4}$	1	0,002 990	10,7639
$\text{ft}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ .....	929,0304	0,0929	334,45	1	3 600
$\text{ft}^2 \cdot \text{h}^{-1}$ .....	0,258	$25,8 \cdot 10^{-6}$	0,0929	$2,778 \cdot 10^{-4}$	1

Átszámítási tényezők:  $g=9,80665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}=32,174 \text{ 05 ft} \cdot \text{s}^{-2}$ ;  $l'=2,54000 \text{ cm}$   
 $1 \text{ ft}=0,3048 \text{ m}$ ;  $1 \text{ lb}=0,453 \text{ 592 4 kg}$ .

A baloldali oszlop mértékegységében mért nyúlósság szorozva az ezen mértékegységet mutató vízszintes sor és a táblázat fejében jelzett mértékegységet tartalmazó függőleges oszlop metszéspontjában talált együtthatóval, kapjuk a táblázat fejében jelzett mértékegységben mért nyúlósságot. Pl.:  $1025 \cdot 10^{-7} \text{ Poise}=1025 \times 0,067197 \cdot 10^{-7}=68,88 \cdot 10^{-7} \text{ lb}_T \text{ Ft}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ .



rendszerint Poise-okban megadott viszkozitásból és hogy ebből a kinematikai nyúlósság közvetlenül a fajsúllyal való osztással határozható meg és nem kell a sűrűséget külön kiszámítani. Ugyanis

$$\nu_{tech} = \frac{\mu_{tech}}{\rho} = \frac{\mu_{[CGS]} \cdot g}{10g \cdot \gamma} = \frac{10^4 \mu_{[kg \cdot T \cdot m^{-1} \cdot sec^{-1}]}}{10^4 \gamma_{[kg \cdot m^{-3}]}}$$

$$\nu_{tech} = \frac{[\mu_{kg \cdot T \cdot m^{-1} \cdot sec^{-1}}]}{\gamma_{[kg \cdot m^{-3}]}}.$$

Angol és amerikai szakkönyvek a nyúlósságot font-láb-másodperc mértékrendszerben adják meg. Az átszámítási tényezőket egyik mértékrendszerből a másikba a *II.* és *III. táblázat* foglalja össze.

A kinematikai nyúlósság úgy a hőmérséklettel, mint a nyomással gyorsan változik.  $T$  abszolút hőmérsékleten és  $p$  abszolút nyomásnál

$$\nu_T = \nu_0 \frac{p_0}{p} \cdot \frac{T_0 + C}{T + C} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{5/2}, \quad (14)$$

ahol  $C$  ismét a *Sutherland*-állandó. A nyúlósság nagyságára jegyezzük meg a következő jellemző adatokat: a 20 C°-os *repceolaj* dinamikai nyúlóssága 1 Poise, a 20,2°-os *vízé* 1 centipoise, a -7°-os *metángázé* 0,1 centipoise.

A gyakorlati életben csaknem kivétel nélkül *gázkeverékekkel* van dolgunk: a földgáz, a széngáz, a vízgáz, a nagyolvasztók és kokszkemencék gázai, a füstgázok, sőt még a levegő is gázkeverék. Ezért igen fontos a gázkeverékek nyúlósságának a meghatározása. Sokszor azonban nem áll rendelkezésünkre megfelelően felszerelt laboratórium, hogy ezt megmérhessük, — ami különben is igen körülményes művelet volna —, de rendelkezésünkre áll a gázkeverék összetétele: így kívánatos volna oly számítási módot találni, amellyel az elemzési adatokból a gázkeverékek nyúlósságát meghatározhatjuk. Sajnos, ez nem olyan egyszerű, mint pl. a fajsúllynál, vagy a fajhőnél. A kinematikai gázelmélet szerint két vagy több egyszerű gázból álló keverék nyúlósságát az alkotórészek nyúlósságából kiszámíthatjuk ugyan, de a számítás eredménye és a valódi érték között el nem hanyagolható különbség van [7].

Nyúlósság szempontjából általában kétféle gázkeveréket különböztetünk meg: egyiknél a keverék nyúlóssága az alkotórészek keverési arányával lineárisan vagy közel lineárisan változik, mint például az oxigén és nitrogén keveréke. A másikonál a nyúlósságnak egy bizonyos keverési arány mellett szélső értéke van, melynél a keverék nyúlóssága nagyobb, mint az egyes összetevők egyenkénti nyúlóssága. Ilyenek a hidrogént tartalmazó gázok keverékei, mint az ammónia és levegő, ammónia és széndioxid, sósav és széndioxid stb. Legújabb kísérletek szerint szénhidrogéngázok binér keverékei, mint metán és etán, a lineáristól kevésbé eltérő eredő nyúlósságot adnak, míg a metán és propán keverék — külö-

nösen a nagyobb metán tartalomnál — a lineáristól jobban eltérő eredményt ad. Polimér szénhidrogéngáz keverékeknél ez az eltérés nagyobb is lehet.

A kinematikai gázelméletből *Jung* és *Schmick* [7] binér gázkeverékekre az alábbi egyenletet vezeti le :

$$\mu_k = \frac{\mu_1}{1 + \frac{n_2}{n_1} A_1} + \frac{\mu_2}{1 + \frac{n_1}{n_2} A_2}, \quad (15)$$

amelyben  $\mu_k$  a keverék,  $\mu_1, \mu_2$  az egyes alkotó gázok nyúlóssága,  $n_1$  és  $n_2$  a keverékben résztvevő gázok molekula száma, vagy térfogata,  $A_1$  és  $A_2$  a molekulák átmérőjétől, tömegétől és vonzóerejétől függő állandók, melyeknek a kiszámítása igen körülményes. *W. Schudel* [8] ezeknek az állandóknak a meghatározására az alábbi viszonyt állította fel :

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\mu_1}{\mu_2} \cdot \frac{\gamma_2}{\gamma_1}$$

és így ha a keverék görbéjének egy pontja adva van, bármely más keverési arányú gázkeverék nyúlósságát kiszámíthatjuk. Ebben az egyenletben  $\gamma_1$  és  $\gamma_2$  az alkotó gázok fajsúlya.

*Herning* és *Zipperer* [9] empirikus képletet adnak több alkotóból álló gázkeverék nyúlósságának meghatározására, mely számos technikai gázra ellenőrizve, jó megegyezést adott a gyakorlati eredményekkel.

$$\mu_k = \frac{n_1 \sqrt{m_1 T_{k1}} \cdot \mu_1 + n_2 \sqrt{m_2 T_{k2}} \cdot \mu_2 + n_3 \sqrt{m_3 T_{k3}} \cdot \mu_3 + \dots}{n_1 \sqrt{m_1 T_{k1}} + n_2 \sqrt{m_2 T_{k2}} + n_3 \sqrt{m_3 T_{k3}} + \dots} \quad (16)$$

Itt  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_k$  az egyes gázok, illetve a keverék dinamikus nyúlósságát,  $m_1, m_2, m_3, \dots$  az egyes gázok molekulaszúlyát,  $n_1, n_2, n_3, \dots$  azok térfogatát,  $T_{k1}, T_{k2}, T_{k3}, \dots$  a keverékben résztvevő gázok abszolút fokokban mért kritikus hőmérsékletét jelölik. Ha a túl kicsiny nyúlósságú földgázoktól eltekintünk, ez a képlet jó eredményt ad és így ennek a használata ajánlható.

Gázkeverékek kinematikai nyúlósságának az elemzési adatokból való kiszámítására az irodalom több képletet közöl, amelyek közül a leghasználatosabb a *Mann*-féle reciprok képlet.

$$\frac{1}{\nu_k} = \frac{n_1}{\nu_1} + \frac{n_2}{\nu_2} + \frac{n_3}{\nu_3} + \dots,$$

hol  $n_1, n_2, n_3, \dots$  az egyes gázok térfogatát,  $\nu_1, \nu_2, \nu_3, \dots$  ezek kinematikai nyúlósságát,  $\nu_k$  a keverék kinematikai nyúlósságát jelzi. Metántartalmú kokszkemence és széngázokra jó megközelítő értékeket ad ez a képlet, némelykor azonban a tényleges adatoktól  $\pm 10\%$ -os eltérés is előfordul.

Zipperer és Müller [10] empirikus képlete :

$$\nu_k = \frac{100 \nu_m}{(\text{O}_2 + \text{CO} + \text{CH}_4 + \text{N}_2) + 2(\text{CO}_2 + \text{C}_m \text{H}_n) + \frac{1}{7} \text{H}_2}$$

A kémiai jelek az azokkal jelzett gázok százalékos térfogatát jelentik,  $\nu_m$  az  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  és  $\text{N}_2$  gázok mozgástani nyúlóságának algebrai középértékét, ami  $20^\circ \text{C}$  hőmérsékleten  $0,1528$  Stoke,  $-\nu_k$  a keverék kinematikai nyúlóságát ugyanezen hőfokon jelenti. Ha a keverékből az oxigén hiányzik, úgy a középérték enélkül számítható és ebben az esetben  $\nu_m = 0,1559$  Stoke. Metántartalmú gázokra,  $23\%$   $\text{CH}_4$ -ig jó eredménnyel használható ez a képlet is, nagyobb metántartalomra nem ellenőrizték, hidrogénban gazdag gázoknál az eltérés  $\pm 10\%$ -ra is rúg.

A réteges (*lamináris*) áramlásban a folytonos mozgásban lévő folyadék részecskéi mindig ugyanazon az áramvonalon maradnak, amely párhuzamosan fut az áramlást határoló felülettel, a csőfallal vagy a cső tengelyével. A tudományos irodalom ennek az áramlásféleségnek első tanulmányozójául *Poiseuille* [11] francia orvost tartja számon, aki a nyúlóság fogalmának meghatározására a réteges áramlás törvényeit is lefektette.

A réteges áramlás a hidro- és aerodinamikai feladatok közül egyike azoknak, amelyek tisztán analitikai úton oldható meg, s így *Poiseuille* kísérleti módszere helyett ezt választjuk, ámbár ennek az áramlásféleségnek csaknem kizáróan elméleti jelentősége van. A réteges áramlás ugyanis a gyakorlatban a legritkábban, igen viszkózus olajok, gravitációs központi fűtésekben a víz igen lassú áramlásánál vagy a nyúlóság meghatározásánál fordul elő.

Valamely áramlást akkor ismerünk, ha abban minden folyadék részecskének a helyét és sebességét minden pillanatban meg tudjuk határozni, vagy gyakorlatilag akkor, ha a sebességelosztás törvényét, a sebességszelveányt ismerjük. Ebből kiszámíthatjuk az időegységben átfolyó folyadék mennyiségét és ha még az áramlás folytán előálló nyomásesést vagy energia-átalakulást is ismerjük, ebből az áramlás fenntartásához szükséges munkát számíthatjuk ki. Réteges áramlásnál a nyomás esése állandó és lineáris, feltételünk, hogy az áramlás folytonos és egyenes, a folyadék fajsúlya állandó. Képzünk az áramlást egy vízszintes, egyenes körszelveányú csőben, melynek a sugara  $r$ , hossza  $l$  és a cső két vége közötti nyomáskülönbség  $\Delta p$ . Vegyük a koordináta-rendszer kezdőpontját a cső tengelyébe, annak  $x$  tengelyét az áramlás sebességével egybeesőnek. A folyadék változatlan sűrűsége  $\rho$ , abszolút nyúlósága  $\mu$ , kinematikai nyúlósága  $\nu$ . Réteges áramlásnál az áramlás irányára merőleges sebességösszetevők nincsenek :  $v = w = 0$ . Az  $u$  áramlási sebesség állandó lévén :

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} = 0 & \quad \frac{\partial u}{\partial x} = 0 & \quad \frac{\partial p}{\partial y} = 0 & \quad \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \\ & \quad \frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\Delta p}{l} = \text{állandó} \end{aligned}$$

a nyomásesés negatív, mivel  $l$  növekedésével a nyomás csökken. A *Navier—Stokes* egyenletcsoportnak az  $y$  és  $z$  tengelyirányra vonatkozó egyenletei ennek folytán kiesnek, az  $x$  tengelyirányra vonatkozó egyenlet lesz :

$$-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta p}{l} = \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right).$$

Térjünk át a hengeres koordináta-rendszerre, jelöljük az  $x$  irányra merőleges, a körszelvény sugarának irányába eső összendezőt  $z$ -vel. Tekintve, hogy most már teljes differenciálokról van szó :

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{d^2 u}{dz^2} \quad \text{és} \quad \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{d^2 u}{dz^2}$$

ezzel lesz :

$$-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\Delta p}{l} = 2\nu \frac{d^2 u}{dz^2} = 2\nu \frac{d \left( \frac{du}{dz} \right)}{dz}$$

Helyettesítsük  $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ , egyszer integrálva,  $C_1$  integrálállandóval :

$$-\frac{\Delta p}{l} z = 2\mu \frac{du}{dz} + C_1$$

$$-\frac{\Delta p}{l} z dz = 2\mu du + C_1 dz$$

ismételt integráció után,  $C_2$  integrálállandóval :

$$-\frac{dp}{l} \cdot \frac{z^2}{2} = 2\mu u + C_1 z + C_2.$$

Az integrálállandók meghatározására két egyenletet írhatunk fel. A fal melletti sebesség ugyanis zérus, tehát

$$z = +r \quad \text{és} \quad z = -r; \quad u = 0$$

$$-\frac{\Delta p}{l} \cdot \frac{r^2}{2} = C_1 r + C_2 \quad \text{és} \quad -\frac{\Delta p}{l} \cdot \frac{r^2}{2} = -C_1 r + C_2,$$

ahonnan

$$C_2 = -\frac{\Delta p}{l} \cdot \frac{r^2}{2} \quad \text{és} \quad C_1 = 0,$$

ezzel egyenletünk lesz :

$$\frac{\Delta p}{l} (r^2 - z^2) = 4\mu u,$$

amelyből a tengelytől  $z$  távolságra eső sebesség:

$$u = \frac{r^2 - z^2}{4\mu} \cdot \frac{\Delta p}{l} \quad (18)$$

A cső tengelyében  $z = 0$ , a sebesség a legnagyobb:

$$U_{max} = \frac{r^2}{4\mu} \cdot \frac{\Delta p}{l} \quad (19)$$

A (18) egyenlet a sebességelosztást és a nyomásesést is meghatározza. A csőtengellyel koncentrikus hengerfelületeken a sebesség egyenlő, a sebesség szelvénye forgási paraboloid. Ennek a paraboloidnak a köbtartalma az időegység alatt a szóban levő csőszelvényen átfolyó folyadékmennyiség térfogata:

$$V = \int_0^r 2\pi z \cdot u \, dz = \int_0^r 2\pi z \frac{r^2 - z^2}{4\mu} \cdot \frac{\Delta p}{l} \cdot dz$$

$$V = \frac{r^4 \pi}{8\mu} \cdot \frac{\Delta p}{l}, \quad (20)$$

a szelvényben a középsebesség pedig:

$$\bar{u} = \frac{V}{r^2 \pi} = \frac{r^2}{8\mu} \cdot \frac{\Delta p}{l} = \frac{U_{max}}{2}. \quad (21)$$

Az  $l$  hosszúságú cső két vége közötti nyomáskülönbség, a nyomásesés, a sugár helyett a  $D$  átmérőt behozva:

$$\Delta p = 8\mu \frac{l}{r^2} \cdot \bar{u} = 32\mu \frac{l}{D^2} \cdot \bar{u}. \quad (22)$$

Az egyenlet jobboldalát  $2\rho\bar{u}/\rho 2\bar{u}$  hányadossal szorozva, bevezethetjük a Reynolds-számot

$$\Delta p = 32 \frac{l}{D^2} \cdot \mu \bar{u} \cdot \frac{2\rho\bar{u}}{2\rho\bar{u}} = \frac{64}{\frac{2\rho\bar{u}}{\mu}} \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{\bar{u}^2}{2} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{\bar{u}^2}{2}, \quad (23)$$

amelyben a

$$\frac{64}{Re} = \lambda. \quad (24)$$

kifejezést *súrlódási együtthatónak* vagy *ellenállási tényezőnek* nevezzük és ezzel az általános áramlási egyenlet

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{D} \cdot \rho \frac{\bar{u}^2}{2} = \lambda \frac{l}{D} \cdot \gamma \frac{\bar{u}^2}{2g}. \quad (25)$$

Ez az egyenlet általános jellegű és a nyomásgradiens, a csővezeték mérete, a középsebesség és az ellenállási tényező közötti összefüggést adja, érvényes a folyadékok örvénylő áramlására is, természetesen az utóbbi esetben az ellenállási tényező egészen más függvénye az áramlásjellemzőnek, mint a réteges áramlásnál. Az egyenlet differenciális alakban és  $\lambda$ -ra megoldva

$$\lambda = \frac{dp}{dl} \cdot \frac{D}{\rho} \cdot \frac{2}{\bar{u}^2} = \frac{dp}{dl} \cdot \frac{D}{\gamma} \cdot \frac{2g}{\bar{u}^2} \quad (26)$$

az áramlás ellenállási tényezőjének meghatározására alkalmas.

Az ellenállási tényező tehát a réteges áramlásnál a *Reynolds*-szám egyszerű függvénye és ennek növekedésével fordított arányban csökken, vagy mivel a *Reynolds*-szám különben azonos körülmények mellett — átmérő, kinematikai nyúlóság — a sebességgel arányos, úgy is mondhatjuk, hogy az ellenállási tényező fordítva arányos a sebesség négyzetével. Mivel a réteges áramlásnál a cső falához símuló folyadékréteg áll, a súrlódási tényező független a csőfal felületének minőségétől, az álló réteg a felületi érdességet mintegy betakarja, az ezzel érintkező folyadékréteg mintegy ezen siklik tovább. Ezért az ellenállási tényező itt tisztán a *folyadék belső súrlódásának* a kifejezője és ezért a réteges áramlással a belső súrlódási tényezőt, a *folyadék nyúlóságát* igen pontosan meg lehet mérni. Ritka gázoknál a gázmolekuláknak a csőfalon való gördülése, valamint a folyadéktömeg mozgásban tartásához szükséges kinetikai energia bizonyos korrekciót követel.

Ugyanezen eredményre jutott *Poiseuille* is fentebb idézett munkájában, kísérletei alapján. Szerinte: hajszálcsőön az időegység alatt átfolyó folyadék mennyisége egyenes arányban van a hajszálcső két vége közötti nyomáseséssel és a csőszelvény sugarának negyedik hatványával és fordítva arányos a hajszálcső hosszával:

$$V = c \frac{\Delta p r^4}{l},$$

hol  $c$  egy arányossági tényező. Helyettesítsük,  $\bar{u}$  középsebességgel

$$V = r^2 \pi \bar{u}$$

és hozzuk a (22) egyenlettel egyező alakra:

$$\Delta p = \frac{1}{c} \frac{l}{r^4} r^2 \pi \bar{u} = \frac{\pi}{c} \cdot \frac{l}{r^2} \bar{u} = \frac{4\pi}{c} \cdot \frac{l}{D^2} \cdot \bar{u}.$$

Ebben az állandó tényező nem más, mint

$$\frac{\pi}{c} = 8\mu$$



a dinamikai nyúlóssággal arányos szám, tehát lesz

$$\Delta p = 32\mu \frac{l}{D^2} \bar{u},$$

amely azonos a (22) egyenlettel.

### III. Örvénylő áramlás sima csövekben

Örvény keletkezéséhez az áramlásnak valamely pontban való megzavarása szükséges. A zavaró ok legkönnyebben egy, az áramlást határoló szilárd test felületén, csőfalnál van meg, ahol egy érdességi elem mindig található. Ilyenkor a zavaró elem áramlással szembeni oldala és elülső oldala között kis, nyomáskülönbség keletkezik, amely a sebességprofilban inflexiós pontként jelentkezik és ha egyéb feltételek, megfelelő nagy *Reynolds*-szám megvannak, megvan az első örvény, mely az áramlás rétegeségét megbontja és azt örvénylővé teszi. *Prandtl*-nak [12] sikerült helyi örvényeket olyképpen előidézni és azokat mozgófényképen megörökíteni, hogy a csőfal egy nyílásán, a nyílásra erősített finom szítán át, az áramlásba pár csepp folyadékot vezetett be vagy onnan kiszívott. A folyadék felszínére szórt alumíniumpor a mozgófényképen megrögzítette az örvény kifejlődését és tovaterjedését. Mivel abszolút síma felület nincsen, az örvénylő áramláshoz az indító ok mindenütt megvan.

Nagyobb nyúlósság nagyobb belső súrlódást jelent, mely az örvénylő áramlás kifejlődését meggátolni igyekszik. Nagyon nyúlós, sűrű olajok aránylag nagy sebesség mellett is fenntartják a réteges áramlást. Minél kisebb valamely folyadék nyúlóssága, mint pl. a gázoké, annál könnyebben bekövetkezik az örvénylés. Ideális, belső súrlódás nélküli folyadékoknál, melyeknek a mozgástani nyúlóssága  $\nu = 0$ , ahol tehát a *Re-szám* végtelen nagy, réteges áramlás nem is lehetséges. A réteges áramlás tehát az általános örvénylő áramlás egyik különös eseteként fogható fel.

Az örvénylő áramlást, mint dinamikai jelenséget úgy definiálhatjuk, hogy abban az áramló folyadék részecskéinek sebességösszetevői állandóan és szabálytalanul ingadoznak. Válasszuk koordinátarendszerünk  $x$  tengelyét a főáramlási iránnyal egybeesően, jelöljük a folyadék részecske pillanatnyi sebességösszetevőit  $u, v, w$ -vel, ezeket az örvénylés lényegének megfelelően két részre bonthatjuk:  $u_1, v_1, w_1$ , sebességösszetevők a folyadéktömeg előrehaladásának pillanatnyi sebességösszetevői, míg  $u', v', w'$  sebességösszetevők az örvénylési összetevők, úgy hogy

$$u = u_1 + u'; \quad v = v_1 + v' \quad \text{és} \quad w = w_1 + w'$$

Az időtől független  $u_1, v_1, w_1$  összetevők a folyadék folytonos és egyenletes — stacionárius — áramlásának fő-sebességösszetevői, míg ezek fölé helyezkednek az  $u', v', w'$  örvény-összetevők, melyek szeszélyes ingadozásaikkal az idő függ-

vényei. Ezeknek az örvény-összetevőknek, bármily szabálytalanul és kaotikusan ingadoznak is, az idő szerint vett középértékük, már aránylag rövid időközben is, zérus, elenyészik.

Kétségtől van hasonlóság a gázoknak a kinematikai gázelmélet szerinti molekuláris mozgása és a folyadékrészeknek örvénylő mozgása között. Erre a hasonlóságra alapítja *Prandtl* örvényelméletét. Amint a gázoknál két molekula összeütközése közötti szabad út közepes hossza jellemző a gáz állapotára, úgy az örvénylő áramlásnál két folyadékrészecske összeütközése közötti úthossz az örvénylő mozgás egyik jellemzője és azt *keveredési útnak* nevezi. Úgy kell elképzelnünk ezt a folyamatot, hogy az áramló keverék egyik rétegéből egy folyadékrészecske kisodródik és eljut a szomszédos folyadékrétegbe, ahol egy, ebbe a rétegbe tartozó részecskével ütközik össze és kicseréli ezzel azt a mozgásmennyiséget, melyet az anyarétegből hozott magával: a kisodródástól az összeütközésig megtett távolság a *keveredési út*,  $l$ .

Vizsgáljuk az áramlást egy hengeres koordináta rendszerben, melyben az  $x$  irányba eső lokális áramlási sebességet jelöljük  $u$ -val, a sugárirányú, az áramlásra merőleges összrendező legyen  $z$ , két szomszédos réteg közötti sebességkülönbség  $u'$ , amelyről feltételezzük, hogy arányos a keveredési úttal

$$u' = l \frac{du}{dz}.$$

A réteges áramlásnál a csúsztató feszültség és a nyúlósság közti összefüggést a

$$\tau = \mu \frac{du}{dz}$$

egyenlet adta. Az örvénylő áramlásra vegyük hasonlóan

$$\tau = A \frac{du}{dz}, \quad (27)$$

hol  $u$  a sebesség időbeli középértéke,  $A$  pedig egy, a nyúlósságnak megfelelő, az örvénylő áramlásra jellemző érték, amely azonban nem állandó, hanem helyről-helyre változik. A nyúlósság tulajdonképpen a molekulák mozgásenergiáinak kicserélődésével létrejövő csúsztató feszültség, ennek analógiájára *Prandtl* az  $A$ -t *örvénylő csereértéknek* nevezi.

Két egymásra merőleges sugárirányban a  $v'$  és  $w'$  folytonosan változó örvényösszetevők

$$v' = l \left( \frac{du}{dz} \right) \quad \text{és} \quad w' = l \left( \frac{du}{dz} \right).$$

Amint a réteges áramlásnál a molekuláknak az áramlás irányától eltérő irányú mozgása két réteg között csúsztató feszültséget idéz föl, úgy az örvénylő áramlásnál is a folyadékrészecskéknek az anyarétegből a szomszédos rétegbe való kilendí-

tése a két réteg között csúsztató feszültséget hoz létre. Ez a csúsztatófeszültség az áthatoló folyadékrezecskék mozgás-mennyiségének változásával arányos, tehát, ha  $\rho$  a folyadék lokális sűrűsége (tömege) :

$$\tau = \rho v'w' = \rho l^2 \left( \frac{du}{dz} \right)^2. \quad (28)$$

A (27) és (28) egyenletekből :

$$A = \partial l^2 \left( \frac{du}{dz} \right).$$

Összehasonlítva ezt a nyúlósságot definiáló

$$\mu = \tau \frac{du}{dz}$$

egyenlettel, feltűnő a hasonlatosság a gázok molekuláris mozgásából származó »molekuláris« csúsztató feszültség—nyúlósság—és a folyadékrezecskék örvénylő mozgásában keletkező, örvénycsúsztató-feszültség között. A különbség az örvénylő csereérték változó voltában rejlik s ez gördít akadályt az egyébként tetszetős elmélet gyakorlati érvényesülése elé. Míg a molekuláris csereérték jól meghatározott tömeghez, a molekulához van kötve, addig az örvénylő csereérték változó tömegű folyadékrezecske mozgásmennyiségének változása, amely folyadékrezecske nagysága valószínűleg ugyanazon örvénylő áramlásban is, helyről-helyre és időről-időre más és más.

Az örvénylő sebességingadozások akként keletkeznek, hogy a megvizsgált rétegtől  $l$  keveredési távolságban lévő szomszédos rétegből, amelynek áramlási sebessége  $u + l \frac{du}{dz}$ , folyadékrezecskék sodródnak ebbe a rétegbe. Ezek a rezecskék azonban kisodródásuk alkalmával forgási energiát is hoznak magukkal és pedig az  $u$  sebességgel áramló rétegből származó rezecske forgása  $\text{rot } u = \frac{du}{dz}$ , míg a tőle  $l$  távolságban  $u + l \frac{du}{dz}$  sebességgel áramló réteg forgása

$$\text{rot} \left( u + l \frac{du}{dz} \right) = \frac{du}{dz} + l \frac{d^2u}{dz^2}.$$

A keresztirányú örvénylő mozgás folytán az  $u$  sebességű rétegbe vitt forgástöbbllet

$$\text{rot} \left( u + l \frac{du}{dz} \right) - \text{rot } u = l \frac{d^2u}{dz^2}. \quad (29)$$

Természetesen ezek az örvénysorok jobbról és balról szimmetrikusan fejlődnek ki és egymáshoz hasonlók. Az  $u$  sebességű réteg sebességingadozásai tehát

$$v' = l \left[ \text{rot} \left( u + l \frac{du}{dz} \right) - \text{rot } u \right] = l^2 \frac{d^2u}{dz^2}$$

$$u' = l \frac{du}{dz}.$$

Mivel feltételeztük, hogy az örvények hasonlóak, a sebességingadozások is hasonlóak, illetve arányosak :

$$u' \sim v' \quad \text{és} \quad l \frac{du}{dz} \sim l^2 \frac{d^2u}{dz^2},$$

amiből  $\kappa$  arányossági tényezővel

$$l \sim \frac{\left(\frac{du}{dz}\right)}{\left(\frac{d^2u}{dz^2}\right)} = \kappa \frac{\left(\frac{du}{dz}\right)}{\left(\frac{d^2u}{dz^2}\right)}$$

$\kappa$  itt egyelőre ismeretlen, állandónak feltételezett arányossági tényező. Behelyettesítve a (28) egyenletbe

$$\tau = \kappa^2 \rho \frac{\left(\frac{du}{dz}\right)^4}{\left(\frac{d^2u}{dz^2}\right)^2}. \quad (30)$$

A keveredési hossz mellett *Prandtl*nak egy másik elve, az áramló anyag és az áramlást határoló felület között egy *határréteg* feltételezése bizonyult még igen termékenynek az örvénylő áramlás jelenségeinek vizsgálatánál. Finom mérőeszközökkel sikerült az áramlás sebességét közvetlenül az áramlást határoló felület, — a csőfal — mellett megmérni és kitűnt, hogy a sebességnövekedés közvetlenül a határoló felület melletti igen vékony rétegben a legnagyobb, míg az áramlás közepe felé a sebességprofil ellaposodik, itt a sebesség gradiens igen kicsiny. Erre a megfigyelésre alapította *Prandtl* [13] *határréteg*-elméletét. Eszerint az örvénylő áramlást a csőfal mellett egy határréteg burkolja be, melyben a belső súrlódási erők hatása fokozottan előtérbe lép és réteges áramlásra jellemző tünetek mutatkoznak. E határréteg igen vékony, minél nagyobb az áramlási sebesség, azaz minél nagyobb a *Re*-szám, annál vékonyabb.

A határrétegelmélet szerint az örvénylő áramlás tehát két részre bontható fel: az áramlás magját burkoló határrétegre, melyben a belső súrlódási erők fokozott hatása folytán a sebességgradiens  $\frac{du}{dz}$  igen nagy értéket vesz fel, úgy hogy a csúsztató feszültség már kis nyúlósság mellett is lényegesen megnövekedhetik. Itt a sebesség a fal melletti zéró értéktől rövid távon csaknem a maximumra növekszik. Ebben a határrétegben az áramlás a súrlódási erők fokozottabb érvényesülése következtében rétegesnek tekinthető. Az áramlás magjában a belső súrlódási erők hatása csaknem teljesen elenyészik, itt az áramlás

megközelíti az ideális, nyúlósság nélküli folyadék mozgását, a sebesség gradiens  $du/dz$  megközelíti a nullát.

Határretegben a csúszató feszültség elosztása lineáris, arányos a faltól való  $y$  távolsággal, illetve a dimenzió nélküli  $y/r$  értékkel és a [27] egyenlettel, ha  $\tau_0$  a fal melletti csúszató-feszültség.

$$\tau = \tau_0 \frac{y}{r} = \varrho \kappa^2 \frac{\left(\frac{du}{dz}\right)^4}{\left(\frac{d^2u}{dz^2}\right)^2}. \quad (31)$$

A (28) egyenlet szerint, a csúszató-feszültség, keveredési hossz és a sebesség gradiens közötti összefüggés

$$\tau = \varrho \left( l \frac{du}{dz} \right)^2,$$

ebből

$$\frac{du}{dz} = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{\tau}{\varrho}}. \quad (32)$$

A csúszató feszültség dimenziója  $\text{dyn/cm}^2 = gr_T \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^{-2}$ , a sűrűség  $\text{grr}_T/\text{cm}^3$ , így a  $\sqrt{\tau/\varrho}$  kifejezés dimenziója  $\sqrt{gr_T, \text{cm}^{-1} \text{sec}^{-2} / gr_T \text{cm}^{-3}} = \text{cm sec}^{-1}$  a sebesség dimenziójával egyezik. Ezt *csúszató sebességnek* nevezte Prandl. Jelöljük

$$v_* = \sqrt{\frac{\tau}{\varrho}} \quad (33)$$

a csúszató sebességet és ha  $\tau_0$  a fal melletti csúszató-feszültség, a fal melletti csúszató sebesség

$$v_{*0} = \sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}}. \quad (34)$$

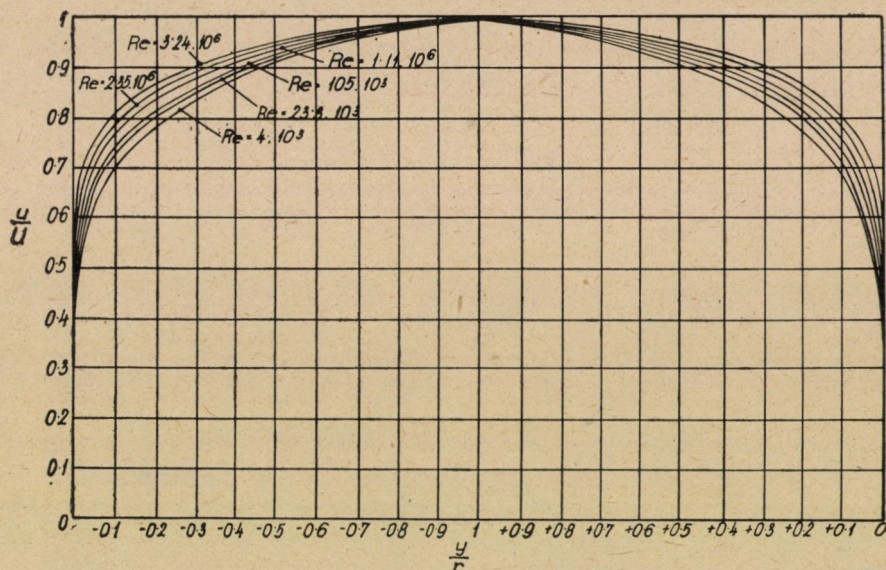
Ezt betéve a (28) egyenletbe :

$$\frac{\left(\frac{du}{dz}\right)^4}{\left(\frac{d^2u}{dz^2}\right)^2} = \frac{y(v_{*0})^2}{r(\kappa)^2}. \quad (35)$$

Az örvénylő áramlás sebességgörbéje korántsem oly egyszerű, mint a réteges áramlásnál volt. Míg ennél a sebesség szelvénye minden esetben parabola, addig az örvénylő áramlásnál a sebességgörbe alakja változik az áramlás sebességével. A 2. ábra a sebességelosztást *Nikuradse* után dimenzió nélküli összrendezőikkel bíró koordináta-rendszerben tünteti fel  $Re = 4000$  és  $Re = 3\,240\,000$

határok között. Hogy a sebességörbe ábrázolásánál a különböző átmérőjű csövekre és változó sebességekre jobb összehasonlítási alapot kapjunk, a sebességprofil olyan koordináta-rendszerben ábrázoljuk, amelynek abszcisszája a csőfaltól való  $y$  távolságnak a csőszelvény  $r$  rugarához való viszonya :  $y/r$ , ordinátája pedig az  $u$  lokális sebességnek a maximális  $U$  sebességhez való viszonya :  $u/U$ . Az így ábrázolt dimenzió nélküli sebességgörbék azt mutatják, hogy minél nagyobb az áramlási sebesség, azaz a  $Re$ -szám, a sebességörbe annál inkább teltebb lesz, kiegyenesedik, a sebességnövekedésnek annál nagyobb része esik a fal melletti részekre, a határrétegbe.

A határréteg-elmélet szerint a csőfal melletti réteg a falhoz tapadva áll,



2. ábra

sebessége  $u = 0$ . Prandtl [14] abból a feltevésből indul ki, hogy a lokális sebesség arányos a maximális sebességgel, és a dimenzió nélküli faltávolság valamely, egyelőre ismeretlen hatványával :

$$\frac{u}{U} = \left(\frac{y}{r}\right)^x.$$

Az  $l$  hosszúságú és  $D$  átmérőjű csőszakasz két véglapjára ható  $\Delta p$  nyomáskülönbség a szakasz hengerpalástján működő fal melletti  $\tau_0$  csúsztató feszültséggel tart egyensúlyt

$$\frac{D^2 \pi}{4} \Delta p = D \pi l \cdot \tau_0$$



amelyből

$$\tau_0 = \frac{D}{4l} \cdot \Delta p. \quad (36)$$

*Blasius* szerint, mint a következőkben erről részletesebben lesz szó, az ellenállási együttható a *Re*-szám negyedik gyökével fordítva arányos

$$\lambda = \frac{c'}{\sqrt[4]{Re}}$$

ezzel az általános áramlási egyenlet (25) lesz,

$$\Delta p = \frac{c'}{\sqrt[4]{Re}} \cdot \frac{l}{D} \cdot \gamma \frac{\bar{u}^2}{2g}$$

és a fal melletti csúsztató feszültség, az állandókat egybefoglalva :

$$\tau_0 = c' \gamma \nu^{1/4} \cdot u^{-1/4} \cdot r^{-7/4}.$$

Feltételezhetjük, hogy a maximális sebesség és a középsebesség között egyszerű arány van és az arányossági tényezőt a közös állandóba egybefoglalva, valamint a fenti egyenletből a középsebességet helyettesítve kapjuk :

$$\tau_0 = c \gamma \nu^{7/4} \cdot u^{-1/4} \cdot r^{7/4} \frac{1}{4} \cdot \gamma^{-7/4}.$$

A határréteg elve szerint azonban a csőfal melletti csúsztató feszültség független a csőszelvény sugarától, ami csak úgy lehetséges, ha a fenti egyenletben a sugár kitevője zérus

$$\frac{7x}{4} - \frac{1}{4} = 0$$

amiből

$$x = \frac{1}{7}$$

és ezzel a fenti egyenlet szerint a sebességgörbe egyenlete

$$u = U \left( \frac{y}{r} \right)^{1/7}, \quad (37)$$

vagyis a helyi sebesség arányos a faltól való távolság  $1/7$  hatványával.

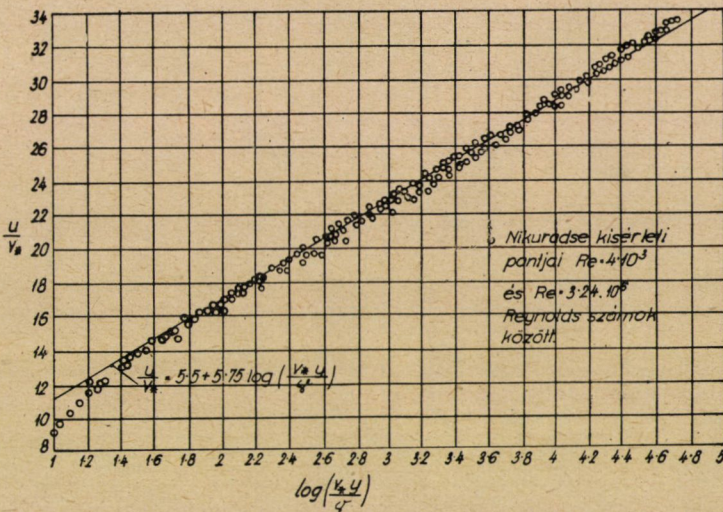
Az áramlási kísérleteknek nagyobb *Re*-számok felé való kiterjesztése azonban arra az eredményre vezetett, hogy a *Blasius*-féle egyszerű hatványtörvény csak bizonyos határig,  $Re = 100\,000$  értékig érvényes. Az ebből levezetett sebességelosztási törvény is csak eddig fedi a kísérleti eredményeket, ezen felül

a kitevő változik, kisebb  $Re$ -számoknál nagyobb kitevő érvényes, így  $Re = 4000$ -nél  $x = 1/6$ , nagyobb  $Re$ -számnál a kitevő csökken,  $3\,240\,000$ -nél már  $x = 1/10$ .

*Nikuradse* [15] a *Reynolds*-számhoz hasonló  $\frac{v_{*0}y}{\nu}$  értéket, mint dimenzió nélküli faltávolságot és  $u/v_{*0}$  hányadost, mint dimenzió nélküli sebesség-paramétert vett fel és a különböző átmérőjű csöveken és legváltozatosabb  $Re$ -számokkal kapott kísérleti pontok jól fedik a

$$\frac{u}{v_{*0}} = 5,5 + 5,75 \log \left( \frac{v_{*0}y}{\nu} \right) \tag{38}$$

egyenest (3. ábra). Ez a kísérletileg kapott eredmény tehát eddig a legjobban



3. ábra

megfelelő sebességelosztási egyenletet adja. *Nikuradse* szerint ez a sebességelosztási egyenlet a kísérleteiben előjövő felső határig,  $Re = 3,24 \cdot 10^6$ -ig helyes eredményt ad.

Az áramlás középsebessége, a nyomásgradiens és a vezeték mérete közötti összefüggést az általános áramlási egyenlet (25) adja meg. Feladatunk második része tehát arra korlátozódott, hogy az abban előforduló és a (26) egyenlettel jellemzett ellenállási együtthatót meghatározzuk. Az ellenállási együtthatónak az általános áramlási egyenletbe való behelyettesítésével a gyakorlatban előforduló problémák, a vezeték méretezése, energetikai viszonyai, könnyen megoldhatók.

*Saph* és *Schoder* [16] kísérletsorozataikat  $Re = 100\,000$  értékig sima

felületű, húzott, különböző átmérőjű rézcsövekben vízzel végezték. A kísérleti eredményeiket *Blasius* [17] rendezte és a súrlódási tényezőre a

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}} \quad (39)$$

egyenletet állította fel.

Később, 1914-ben, *Stanton és Pannel* [18]  $Re = 430\,000$ -ig terjesztették ki kísérleteiket, amelyeket vízzel és levegővel 3,61 és 126,2 mm átmérőjű csövekkel végeztek. Ezek az eredmények  $Re = 100\,000$  értéken felül eltérést mutatnak a *Blasius*-féle képlettől és ezek alapján *Lees* [19] egy javított egyenletet adott meg, amely szerint az ellenállási tényező

$$\lambda = 0,0072 + 0,6104 Re^{-0,35} \quad (40)$$

már nem tiszta hatványfüggvénye a  $Re$ -számnak, hanem egy állandó összeadandója is van, így logaritmusosléptékű diagrammban egy lágy hajlású görbével ábrázolható, míg a tiszta hatványfüggvények egyenest adnak. Ennek az egyenletnek a helyességét a jelzett  $Re$ -határig *Jakob és Erk* [20] kísérletei is megerősítették, kik kísérleteiket vízzel és levegővel 47,09, 70,15 és 99,85 mm belső átmérőjű, tükörsíma belső felületű rézcsövekkel végezték, eredményeiket a

$$\lambda = 0,00714 + 0,6104 Re^{-0,35} \quad (41)$$

egyenletbe foglalták, amely csaknem azonos a *Lees* részéről talált képlettel.

Legújabban *Nikuradse* [15] fentebb idézett művében leírt kísérleteivel a *Reynolds*-számot 3 240 000-re fokozta és azt találta, hogy *Lees—Jakob* és *Erk* egyenletei  $Re > 500\,000$  felül következetes eltérést mutatnak. Kísérleti eredményei igazolták *Kármán*nak a következőkben ismertetendő elméleti megfontolásait. Az ellenállási tényező és a  $Re$ -szám között tőle megállapított összefüggés a jövőben előforduló problémákra is valószínűleg kielégítő eredményt fog adni.

Az ellenállási tényező meghatározására *Kármán* [21] közvetítő utat választott. A hasonlósági elv tételeiből kiindulva megállapítja az ellenállási tényező egyenletének valószínű alakját, *Nikuradse* kísérleteivel igazolja ennek helyességét és meghatározza az egyenlet állandóit.

*Prandtl* határréteg-elmélete szerint a csőfal melletti  $\delta$  vastagságú határrétegben a réteges áramlás törvényei érvényesek, itt a sebesség lineárisan növekszik a határréteg szélén lévő  $u_1$  határsebességig. Ezen lamináris határrétegen belül az  $l$  keveredési úthossz arányos a csőfaltól való  $y$  távolsággal.

$$l = \alpha y$$

a határsebességet pedig úgy foghatjuk fel, mint a fal melletti  $v_{*0}$  csúsztató-sebességgel arányos mennyiséget

$$u_1 = \beta v_{*0} \quad (42)$$

ahol  $\beta$  és  $\kappa$  később meghatározandó, egyelőre állandónak feltételezett arányosági tényező.

A határreteken túli örvénylő magáramban azonban a keveredési-út hossza már a csőmérettől is függ és az  $y/r$  dimenzió nélküli faltávolság függvénye

$$\frac{l}{r} = \kappa \frac{y}{r} \cdot f\left(\frac{y}{r}\right).$$

A határretegben a csúsztató-feszültség elosztása is lineáris és a (32) egyenlet szerint, ha  $\tau_0$  a fal melletti csúsztató feszültség

$$\tau = \tau_0 \frac{z}{r} = \varrho l^2 \left(\frac{du}{dz}\right)^2$$

betéve ebbe a fenti egyenletből a keveredési út hosszát

$$\varrho \left[ \kappa r \left(\frac{y}{r}\right) \cdot f\left(\frac{y}{r}\right) \right]^2 \left(\frac{du}{dz}\right)^2 = \tau_0 \frac{z}{r}$$

és ebből

$$\frac{du}{dz} = \sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}} \cdot \frac{\sqrt{\frac{z}{r}}}{\kappa r \left(\frac{y}{r}\right) \cdot f\left(\frac{y}{r}\right)}.$$

Integrálva a határsebesség  $u_1$ , és a maximális sebesség  $U$ , illetve a határregetávolság  $z = r - \delta$  és  $z = 0$  között

$$U - u_1 = \frac{v_{*0}}{\kappa r} \int_{r-\delta}^0 \frac{\sqrt{\frac{z}{r}} \cdot dz}{\left(1 - \frac{z}{r}\right) f\left(\frac{y}{r}\right)}$$

behelyettesítve  $u_1$ -et, a (42) egyenletből

$$U = v_{*0} \left[ \beta + \frac{1}{\kappa r} \int_{r-\delta}^0 \frac{\sqrt{\frac{z}{r}} \cdot dz}{\left(1 - \frac{z}{r}\right) \cdot f\left(\frac{y}{r}\right)} \right].$$

Az integráció elvégzéséhez a  $f\left(\frac{y}{r}\right)$  függvény ismerete szükséges. Mivel a határretegben a keveredési úthossz arányos a faltávolsággal, így itt ennek az értéke egyenlő az egységgel, valószínű, hogy a turbulens magáramban is az egységhez közeli értékkel bír és első megközelítéssel ezt vehetjük :

$$U = v_{*0} \left[ \beta + \frac{1}{\kappa r} \int_{r-\delta}^0 \frac{\sqrt{\frac{z}{r}} \cdot dz}{\left(1 - \frac{z}{r}\right)} \right]. \tag{43}$$

Az integrál értéke :

$$\int_{r-\delta}^0 \frac{\sqrt{\frac{z}{r}} dz}{\left(1 - \frac{z}{r}\right)} = r \left[ \frac{1}{2} \sqrt{1 - \frac{\delta}{r}} - l_n \left( \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{\delta}{r}}}{1 - \sqrt{1 - \frac{\delta}{r}}} \right) \right].$$

A  $\delta$  határréteg-vastagság a sugárhoz viszonyítva oly kicsiny, hogy a logaritmikus tagban megközelítően  $\sqrt{1 - \delta/r} = 1 - \delta/2r$ , viszont a nem logaritmikus tagban a  $\delta/r$  hányados az egység mellett elhanyagolható és ezzel az integrál lesz :

$$\int_{r-\delta}^0 \frac{\sqrt{\frac{z}{r}} dz}{1 - \frac{z}{r}} \cong r \left[ \frac{1}{2} - l_n \left( \frac{4r}{\delta} - 1 \right) \right].$$

Az egyenlet lényegének megváltoztatása nélkül további egyszerűsítés lehetséges. A  $\frac{4r}{\delta}$  igen nagy szám mellett az egység elhanyagolható és ezzel a (43) egyenlet

$$U = v_{*0} \left[ \beta + \frac{1}{2\kappa} - \frac{1}{\kappa} \cdot l_n \left( \frac{2D}{\delta} \right) \right]. \quad (44)$$

A lamináris és turbulens rétegek határára vonatkozó állapotot olyan  $Re$ -számmal jellemezhetjük, amelyben a vonalas paraméter a határréteg-vastagság, a sebesség a fal melletti csúsztató-sebesség

$$Re_\delta = \frac{v_{*0} \delta}{\nu}, \quad \text{ebből: } \delta = \frac{Re_\delta \nu}{v_{*0}}. \quad (45)$$

A (25) egyenlethől  $\Delta p$ -t a (36) egyenletbe helyettesítve

$$\tau_0 = \varrho \frac{\bar{u}^2}{4} \cdot \frac{\lambda}{2}$$

a fal melletti csúsztató sebesség

$$v_{*0} = \sqrt{\frac{\tau_0}{\varrho}} = \frac{\bar{u}}{2} \sqrt{\frac{\lambda}{2}}. \quad (46)$$

Vonatkoztassuk úgy a *Reynolds*-számot, mint az ellenállási tényezőt a maximális sebességre

$$Re_m = \frac{UD}{\nu} \quad \text{és} \quad v_{*0} = \frac{U}{2} \sqrt{\frac{\lambda_m}{2}}$$



a (45) és (46) egyenletekből  $\delta$ -t és  $v_{*0}$ -t a (44)-be téve

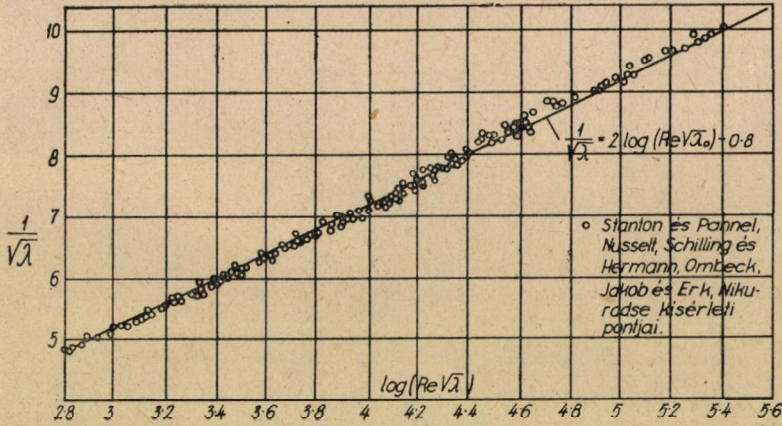
$$U = \frac{U}{2} \sqrt{\frac{\lambda_m}{2}} \left[ \beta + \frac{1}{2\kappa} - \frac{1}{\kappa} I_n \left( \frac{2DU\sqrt{\lambda_m}}{\sqrt{8} \cdot Re_\delta \cdot \nu} \right) \right]$$

és

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_m}} = \frac{1}{\sqrt{8}} \left[ \beta + \frac{1}{2\kappa} - \frac{1}{\kappa} I_n \left( \frac{2Re_m\sqrt{\lambda_m}}{\sqrt{8} \cdot Re_\delta} \right) \right]$$

az állandókat összefogva

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_m}} = \left[ \frac{\beta}{\sqrt{8}} + \frac{1}{\kappa\sqrt{32}} + \frac{1}{\kappa\sqrt{8}} I_n(\sqrt{2} Re_\delta) \right] - \frac{1}{\kappa\sqrt{8}} I_n(Re_m\sqrt{\lambda_m})$$



4. ábra

és egy betűvel jelölve, az ellenállási tényező egyenletének valószínű alakja lesz

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_m}} = A' + B' I_n(Re_m\sqrt{\lambda_m}).$$

Ez az alak megmarad akkor is, ha a maximális sebesség helyett, illetve a maximális sebességre vonatkoztatott  $Re$ -szám helyett a középsebességre vonatkoztatott  $Re$ -számot és ellenállási tényezőt írunk, a 10-es alapú logaritmus pedig csak az állandók értékében fog változást okozni:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = A + B \log(Re\sqrt{\lambda}).$$

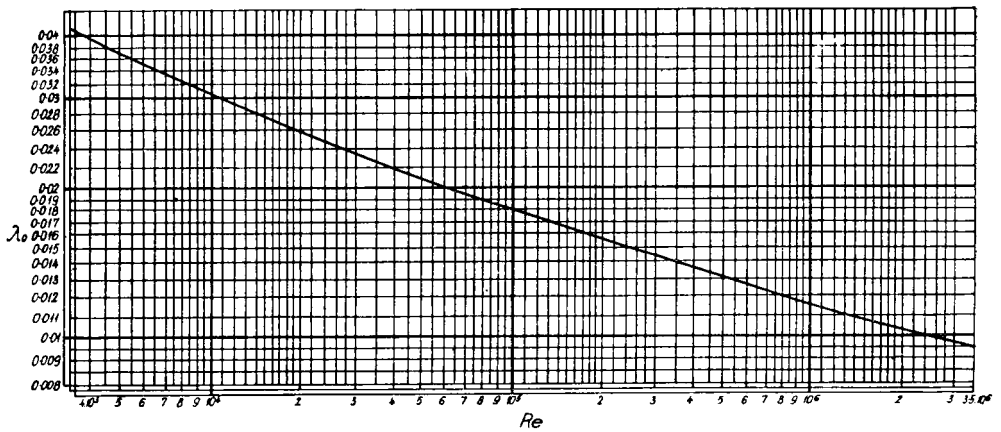
Ha feltevéseink helyesek voltak, akkor a kísérleti eredményeket olyan dia-



grammba összefoglalva, amelynek abszcisszája  $\log(Re \sqrt{\lambda})$ , ordinátája pedig  $1/\sqrt{\lambda}$ , ezeknek egy egyenesre kell esniök (4. ábra). Az egyenes egyenlete

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log(Re \sqrt{\lambda}) - 0,8. \quad (47)$$

*Nikuradse* kísérleti eredményei  $Re = 3,24 \cdot 10^6$ -ig igazolják ennek az egyeletnek a helyességét. Ez a képlet sem lehet azonban általános érvényű, mivel a *Reynolds*-szám határon túli növekedésével az ellenállási tényező a zérushoz közeledik. Valószínű, hogy igen nagy *Re*-számoknál az ellenállási tényező független a sebességtől és állandó értékű lesz és a hang sebességét meghaladó áramlási sebességeknél más áramlási törvény érvényes.



5. ábra

A síma csövek ellenállási tényezője, éppúgy, mint a réteges áramlásnál, a *Re*-szám függvénye, itt azonban a függvény logaritmikus és implicit, ami használatát megnehezíti. Legcélszerűbb az ellenállási tényezőt megbecsülni és a hozzátartozó *Re*-számot a

$$\log Re = \frac{1}{2\sqrt{\lambda}} - \log \sqrt{\lambda} + 0,4$$

egyenlettel meghatározni és a helyes  $\lambda$  értéket további megközelítéssel kiszámítani. *Nikuradse* egy kényelmesebb, a szokásos hatvány alakú, megközelítő képletet is közöl:

$$\lambda = 0,0032 + 0,221 Re^{-0,237}, \quad (48)$$

amely azonban, különösen a kisebb *Re*-számoknál kisebb ellenállási együtt-hatót ad.

Az 5. ábrán diagrammban feltüntettük a síma csövek ellenállási tényezőjét, mint a *Reynolds*-szám függvényét. Ez a diagramm, valamint a IV. táblázatban közölt adatok, számításainkhoz igen jó segédeszközként használhatók.

## IV. TÁBLÁZAT

*Síma csövek ellenállási együtthatói*

<i>Re</i>	$\lambda_0$	<i>Re</i>	$\lambda_0$
2300	0,047 295	77 271	0,019
2511	0,046	99 804	0,018
2897	0,044	131 710	0,017
3374	0,042	178 150	0,016
3971	0,040	248 000	0,015
4732	0,038	357 020	0,014
5716	0,036	534 930	0,013
7062	0,034	840 900	0,012
8760	0,032	1 401 500	0,011
11 174	0,030	2 511 900	0,010
12 732	0,029	2 852 000	0,0098
14 605	0,028	3 250 637	0,0096
16 874	0,027	3 719 940	0,0094
19 651	0,026	4 275 300	0,0092
23 083	0,025	4 935 800	0,0090
27 377	0,024	7 237 400	0,0085
32 812	0,023	10 930 000	0,0080
39 791	0,022	17 216 000	0,0075
48 889	0,021	28 418 000	0,0070
60 958	0,020		

## IV. Örvénylő áramlás érdes csövekben

Kétségtelen és a gyakorlat is azt mutatja, hogy folyadékok, gázok áramlására a cső belső felületének a minősége is befolyással van. A viszonylagosan síma belső felületű csövek a folyadékok áramlásával szemben kisebb ellenállást fejtenek ki, mint a durva felületű, esetleg por-, iszap-, homoklerakódásokkal, vagy nagyobbfokú rozsdaréteggel bevont felületű csövek. Az ilyen durva felületet érdesnek mondjuk, ellentétben a *síma* felülettel.

Minél érdekesebb a csővezeték belső felülete, annál nagyobb ellenállást fejt ki az áramlással szemben és annál nagyobb munka szükséges azonos mennyiségű folyadék szállítására. A hosszabb ideig üzemben volt csővezetékek súrlódási ellenállása a cső belső felületi érdességének növekedése következtében nagyobb lesz. Így a *sármás-tordai* vezetéken végzett kísérletek eredménye az volt, hogy a mintegy 25 éven át üzemben volt vezeték belső felülete vékony rétegben sárgásbarna, igen finom porréteggel bevonódott, amely a gáztérrel márgás anyagából

származott és amely réteg érdekessége a vezeték ellenállását mintegy 10%-kal megnövelte. Ugyanezt észlelték belgiumi széngázvezetékeken is [22], hol az ellenállás növekedését 15%-ra becsülték. Különösen nagy mértékben növelhetik a gázvezeték ellenállását a kokszművek közelében a csövek falára lerakódó naftalinkristályok. *Dr. Herning* [23] talált oly vezetékét, amelyben az ellenállást a lerakódott naftalinkristályok háromszorosra növelték.

Abszolút síma felület nincs: a legfinomabban és legfényesebbre csiszolt alumíniumlemez felülete elektronmikroszkóppal fényképezve a felületről kiálló kristályhalmazokat mutat. Így tehát csak *áramlási szempontból síma* felületről beszélhetünk. *Kármán* [24] szerint áramlást határoló felület áramlási szempontból addig tekinthető simának, míg a rajta keletkezett örvények nagyságrendjéhez viszonyítva a felületről kiálló egyenetlenségek kicsinyek és így a helyi örvény-mozgásmennyiséget nem tudják az áramlás belseje felé továbbítani.

A jelenlegi gyártási eljárásokkal készült öntött, hengerelt vagy húzott csövek belső felülete a teljesen új csöveknél is, már szabad szemmel észrevehető egyenetlenségeket, érdekességet mutat. Azt is megfigyelhetjük, hogy az öntöttvas-cső belseje érdekesebb, mint a húzott acélcső és a húzott rézcsövet teljesen simának látjuk és áramlási szempontból simának is vehetjük [20].

Az *érdekesség fokát* fizikailag meghatározni és arra mennyiségtani jellemzőt találni igen nehéz. Az érdekességet úgy jellemezhetjük, hogy az a felületről kiálló szabálytalanul elosztott egyenetlenségek sorozata. Valamely felületet annál érdekesebbnek mondunk, minél magasabban és minél sűrűbben állnak ki ezek az egyenetlenségek s így kézenfekvő, hogy első megközelítésben az érdekesség fokát ezeknek a kiálló egyenetlenségeknek magassági méretével jellemezhetjük. Ez az *abszolút érdekesség*. Viszont a gyakorlat azt mutatja, hogy ugyanazon abszolút érdekesség mellett a kisebb átmérőjű cső ellenállása az áramlással szemben nagyobb, mint a nagyobb átmérőjű csőé. Ebből következik, hogy nem az abszolút érdekesség a jellemző áramlási karakterisztika, hanem ennek a cső sugarához való viszonya. Ennek a viszonzyszámnak áramlási alkalmazását először *Mises* [25] ajánlotta, ki ezt *relatív érdekességnek*, *viszonylagos érdekességnek* nevezi. Jelöljük az abszolút érdekességet jellemző számbeli értéket  $k$  betűvel, úgy a  $k/r$  viszony *relatív* vagy *viszonylagos érdekesség*.

Az érdekesség fokának meghatározására és az áramlásra való hatásának megállapítására *L. Hopf* [26] és *K. Fromm* [27] végeztek laboratóriumi méréseket. Mint más kutatók, ők is kénytelenek voltak mesterségesen, dróthálással és hullámlemezzel, érdekessé tett cinklemezcsonnákat használni. A négyzetes keresztmetszetű csatorna magasságát különböző vastagságú, a két cinklemez közé iktatott sínekkel változtatták, az érdekesség fokát különböző átmérőjű huzalokból készült, változó csomózású dróthálással vagy különböző osztású és magasságú hullámlemezzel változtatták. Kísérleteik szerint az érdekesség minősége is — drótháló vagy hullámlemez — befolyással van az áramlásra. Meg kell különböztetni *göröngyös érdekességet*, melynél az egyenetlenségek alakra és elosz-

tásra is szabálytalanul következnek egymásra, és *hullámos érdességet*, ennél viszont az egyenetlenségnek hullámvonalszerű alakjuk és többé-kevésbé szabályos beosztásuk van.

Mesterségesen érdessé tett csövekkel végeztek kísérleteket *Nikuradse* [28], valamint *Colebrook* és *White* [29] is. Ezeknél a mesterségesen érdessé tett felületeknél az érdesség jellemző számértékét könnyű volt meghatározni, hiszen minden esetben ismerték az érdességet alkotó testek méreteit. *Nikuradse* gondosan átrostált, egyenlő nagyságú homokszemeket japán lakkal ragasztott egyetlen rétegben a csövek belső felületére és az abszolút érdesség mértékének a homokszemek közepes átmérőjét vette. A gyakorlatban azonban teljesen szabálytalanok az érdességet alkotó egyenetlenségek és az érdesség számértékének meghatározása sokkal nehezebb.

Az öntöttvas-cső belső felülete az öntéskor érintkezik a minta homokjával s ennek felületi egyenetlenségeit átveszi. A kereskedelemben használt kátrányozott, aszfaltozott vagy horganyzott csőfelület érdessége még szabálytalanabb és még fokozottabb. Manapság a gyakorlatban a hengerelt vagy húzott acélcső csaknem teljesen kiszorította az öntöttvas csövet. Ennek a csőnek az abszolút érdessége minden csőméretnél állandónak vehető. A gyártás menetéből folyólag azonban számolnunk kell hullámos érdességgel és az e fölé helyezkedő göröngyös érdességgel. A göröngyös érdesség azonban a domináló és hatásában elnyomja a hullámos érdességet.

A gyakorlatban tehát egy, a szabálytalan érdességet jellemző, a cső anyagtól és a gyártási folyamattól függő  $k$  értéket, a *cső érdességi mértékszámát* kell keresnünk, amely azt jelöli, hogy a csőfelület áramlástani szempontból úgy viselkedik, mintha szabályosan és egyenetlesen ilyen méretű egyenetlenségekkel volna behintve (pl. *Nikuradse* szerint ily átmérőjű homokszemek volnának a cső felületére ragasztva), a viszonylagos érdességet pedig ezen  $k$  értéknek a cső sugarához való viszonyával fejezzük ki. A cső sugarának a kereskedelmileg megadott belső átmérő felét vesszük, amelyet a gyárak bizonyos tűréssel betartani kötelesek.

A réteges áramlásnál és a síma csövekben történő örvénylő áramlásnál a hasonlósági elv vonalas paraméteréül a sugarat vagy az átmérőt választottuk, mint az áramlást határoló geometriai alakzat jellemző méretét és ez az elvet teljesen ki is elégítette. Az érdes csőnél ez az egyvonalas paraméter már nem lehet elégséges, mert nem elégíti ki a tökéletes geometriai hasonlóság fogalmát, ami az elv alapfeltétele: az áramlást határoló felület érdességének is mértanilag hasonlóknak kell lennie, tehát a hasonlósági elvet kifejező függvénynek tartalmaznia kell valamilyen alakban az érdesség mértékszámára és minőségére vonatkozó jellemzőket is. Az érdesség mértékét a *viszonylagos érdesség*:  $k/r$  viszonyszám fejezi ki, az érdesség minőségére vonatkozóan megelégszünk azzal, hogy *göröngyös érdességről* vagy *hullámos érdességről* beszélünk és csak az egyféle érdességu felületeken történő áramlásokat hasonlítjuk egymással össze.

Az érdességi mértékszámot *Mises* [25] vezette be a hidrodinamikába. Az ellenállási tényező, a relatív érdesség és a *Reynolds*-szám között a

$$\lambda = 0,0024 \sqrt{\frac{r}{k}} + \frac{0,3}{\sqrt{Re}} \quad (49)$$

összefüggést találta, ezt a kritikus értékhez közeli *Re*-számokra

$$\lambda = 0,0024 \sqrt{\frac{r}{k}} \left(1 - \frac{1000}{Re}\right) + \frac{0,3}{\sqrt{Re}} \sqrt{1 - \frac{1000}{Re}} + \frac{8}{Re} \quad (50)$$

egyenletre módosította.

*Hopf* [26] úgy találta, hogy a göröngyös érdességű csövek ellenállási tényezője független a *Reynolds*-számtól és csak a relatív érdesség függvénye:

$$\lambda = 0,1124 \left(\frac{k}{r}\right)^{0,314} \quad (51)$$

*Fromm* kísérletei, melyek fenti képlethez alapul szolgáltak, 40 000—120 000 közötti *Re*-számokra vonatkoznak. Ezek a mérések lapos, négyszög-kereszt-szelvényű, dróthálóval érdessé tett csatornáknak történtek, melyeknek csak két szélesebb oldalfelülete volt érdes. Kisebb *Re*-számoknál szerző átmeneti szakaszt talált, amelyben az ellenállási tényező úgy az érdesség mértékszámának, mint a *Re*-számnak is függvénye.

A hullámos érdességű csövek ellenállási tényezője mind a *Reynolds*-számtól, mind az érdesség alakjától és nagyságától is függ:

$$\lambda = \xi \lambda_0 \quad (52)$$

hol  $\lambda_0$  a sima cső ellenállási tényezője,  $\xi$  pedig ugyanazon alakú és nagyságú hullámos érdességre állandó arányossági tényező, amelynek értéke 1,2 ~ 2 között van. Így a *Re*,  $\lambda$  koordinált-rendszerben ábrázolt hullámos érdességű ellenállási tényező görbéje, legalább is a megvizsgált *Re*-határok között, parallel futású a sima cső ellenállási-tényező görbéjével.

*Fritzsche* [30] és *Biel* [31] 1907-ben közölték húzott kovácsvas, acél- és öntöttvas-csövekben végzett kísérleteik eredményét. Ezekben az egyenletekben az ellenállási tényező már nem csak a *Re*-szám függvénye, hanem az átmérő is. Tekintve, hogy az azonos gyártási módon előállított vascsövek abszolút érdesége egyenlőnek vehető, ezt már úgy tekinthetjük, mint a relatív érdesség számbavételét, amelynél az abszolút érdesség számértéke már az állandó együtthatóban bennfoglaltatik. *Fritzsche* ellenállási tényezőjének képlete *dr. Biel* [32] módosítása szerint

$$\lambda = \frac{0,363}{ReD} \quad (53)$$

*Biel* képlete :

$$\lambda = 0,0092 + \frac{0,157f}{\sqrt{D}} + \frac{1570}{Re} b\sqrt{D} \quad (54)$$

$f$  itt nyilvánvalóan az abszolút érdesség mértékszám, amelyet a szerző húzott és hengerelt acélcsőre 0,018-nak, öntöttvascsőre 0,036-nak ad meg, míg a  $b$  állandó értéke 0,71, illetve 0,46. *Biel* a német *Gáz- és vízvezetéki mérnökök egyesületének* megbízásából egy gyakorlati képletet is felállított, amely szerint a technikai éghető gázokra

$$\lambda = \frac{0,716}{\sqrt[8]{ReD}} \quad (55)$$

az ellenállási együttható. Ezek a képletek csak bizonyos sebességhatárok — *Reynolds*-számok — között érvényesek.

Legújabb *Nikuradse* [28] kísérletei és *Prandtl* elméleti kutatásai vetettek mélyebben fényt az érdes csövekben való folyadékáramlás mechanizmusára. *Nikuradse* egyenlő szemmagyságú, átrostált homokszemekkel érdessé tett csőfelülettel megközelítette a természetes göröngyös érdességet és ezekben a csövekben a közepes áramlási sebességnek megfelelő *Reynolds*-számtól függően három, az áramlással szemben teljesen különböző viselkedésű szakaszt talált.

Az első szakaszban az érdességnek az áramlásra nincsen befolyása, az ellenállási tényező egyedül a *Re*-szám függvénye és *megegyezik a sima csövek ellenállási tényezőjével*. Az a határ, ameddig az érdes cső úgy viselkedik, mintha sima volna, kis relatív érdességű csöveknél a nagyobb *Re*-számok, nagy viszonylagos érdességű csöveknél a kisebb *Re*-számok felé tolódik el (6. ábra). Így ebben a szakaszban, amelyet a *sima cső szakaszának* nevezhetünk, a kritikus *Re*-szám alatt a réteges áramlás

$$\lambda_v = \frac{64}{Re}$$

ellenállási tényezője érvényes, ezen felül a sima csőre vonatkozó

$$\lambda_0 = \frac{1}{[2 \log (Re \sqrt{\lambda_0}) - 0,8]^2}$$

ellenállási tényező.

A második szakaszban az érdesség hatása a *Re*-szám növekedésével mindinkább érvényesül. Az ellenállási tényező görbéje a határ *Re*-számnál elválik a sima cső ellenállási görbájától, az ellenállási tényező átmenetileg csökken, majd egy legmélyebb ponton áthaladva ismét növekszik és egy inflexió gőrbülettel vízszintes egyenesbe megy át. Ez a második, *átmeneti szakasz* a sima cső és a

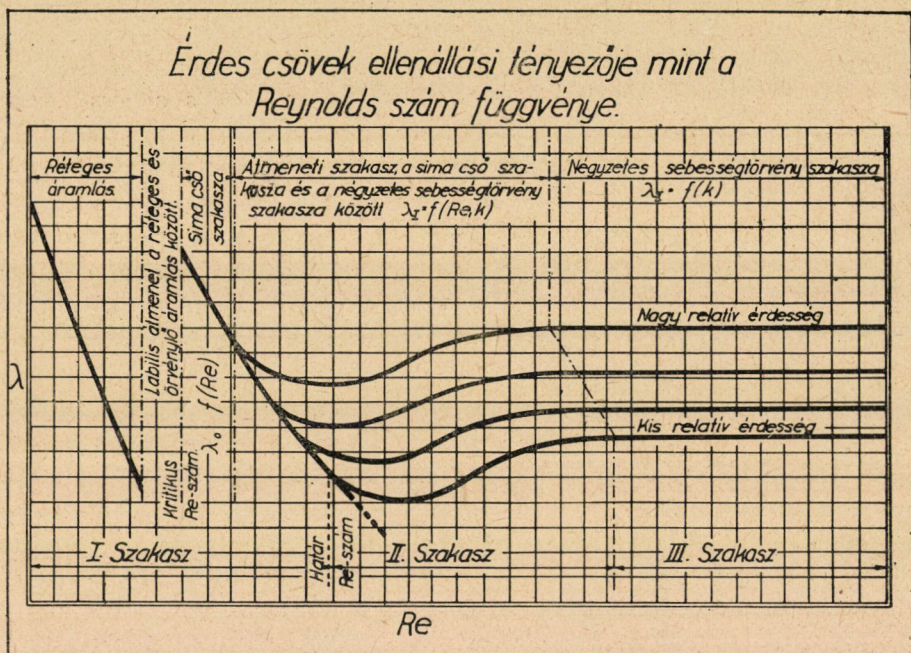


teljesen érdes cső között. Ebben a szakaszban az átmeneti görbéknek nincs megfelelő egyenletük, általában

$$\lambda = f\left(Re, \frac{k}{r}\right).$$

A harmadik szakaszban az érdesség hatása teljes mértékben érvényesül. Az ellenállási tényező itt független a  $Re$ -számtól és csak a relatív érdesség függvénye

$$\lambda_I = \frac{1}{[1,74 + 2 \log(r/k)]^2}. \quad (56)$$



6. ábra

Ezt a szakaszt az állandó ellenállási tényező jellemzi és mivel itt a nyomásgradiens (25)

$$-\frac{dp}{dl} = \lambda \frac{\gamma}{D} \frac{\bar{u}^2}{2g}$$

egyenesen arányos az áramlási középsebesség négyzetével, ezt a négyzetes sebességtörvény szakaszának is nevezik. Az  $Re$ ,  $\lambda$  koordináta-rendszerben az állandó ellenállási tényezőt egy, az abszcissa tengellyel párhuzamos egyenes ábrázolja.

Újabban még Bauer és Galavics [33] foglalkoztak varrat nélküli acélcsővek ellenállási tényezőjének meghatározásával. Azt találták, hogy a kereskedelmi

minőségű hengerelt vagy húzott acélcsőveknek, függetlenül azok átmérőjétől, középértékben ugyanaz az abszolút érdességük. Az ellenállási tényező, a relatív érdességtől függő határértéken alul, azonos a sima cső ellenállási tényezőjével, a határértéknél nagyobb *Re*-számoknál az ellenállási tényező görbéje lágy görbülettel átmegy az állandó ellenállási tényezőt ábrázoló egyenesbe. A négyzetes sebességtörvény szakaszában az ellenállási tényező csupán a relatív érdesség, vagy mivel az abszolút érdesség az azonos gyártási eljárással készült csöveknél ugyanaz, az *átmérő* függvénye. Ebben a szakaszban a szerzők a Mannesmann-rendszerű csőnyújtó soron hengerelt (Pilgerverfahren) csövekre a

$$\lambda = \frac{1}{[7,8 + 2 \log(10D)]^2} \quad (57)$$

és a Stiefel-féle dugós csőnyújtó soron hengerelt csövekre (Stiefel-Verfahren) a

$$\lambda = \frac{1}{[8,83 + 2 \log(10D)]^2} \quad (58)$$

egyenletet találták.

A hidrodinamikában ma az örvénylő áramlás mechanizmusára a *Kármán—Prandtl—Nikuradse*-elmélet általánosan elfogadott. A határreteg elmélet szerint az érdes csőben való örvénylő áramlás szakaszos voltát röviden a következőképpen magyarázhatjuk.

Az örvénylő magáramot réteges áramlásban lévő  $\delta$  vastagságú *határreteg* burkolja, amely kisebb sebességeknél teljesen befödi az érdesség *k* közepes magasságú kiemelkedéseit :

$$\delta > k$$

Ekkor az érdesség hatása még nem érvényesülhet, annak legyőzésére több energia nem szükséges, az áramlás a sima cső törvényét követi, az ellenállási tényező görbéje összeesik a sima csőével. A sebességnövekedés a határretegben a legnagyobb, itt a folyadék úgy viselkedik, mintha nyúlóssága igen nagy lenne. Az örvénylő magáramban a sebesség növekedése igen csekély, a sebességprofil ellaposodott, a folyadék viselkedése megközelíti a nyúlósság nélküli ideális folyadékét. Az ellenállási tényező itt csak a *Re*-szám függvénye.

Az áramlási sebesség növekedésével a határreteg vastagsága csökken. Egy bizonyos sebességnél a határreteg vastagsága a közepes érdesség nagyságrendjére csökken

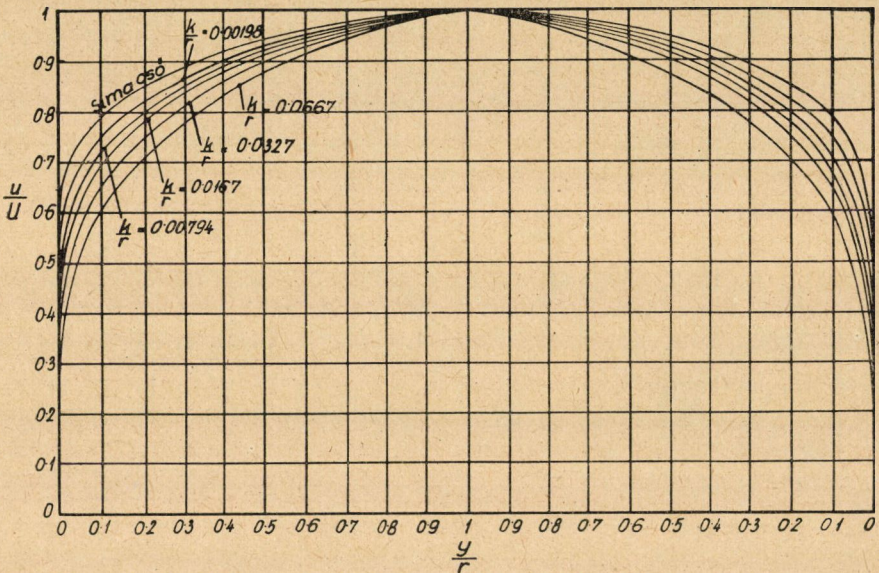
$$\delta \cong k$$

és az érdesség legyőzésére szükséges több energia a *Re* értékével együtt növekszik. Az érdesség hatása mindinkább érvényesül, az ellenállási tényező úgy a relatív érdesség, mint a *Re*-szám függvénye. Ez az *átmeneti szakasz*.



A sebesség növekedésével a határréteg vastagsága mindjobban csökken és annyira redukálódik, hogy az érdességi kiemelkedések abból mindjobban előtűnnek, az érdesség teljes mértékben érvényesülhet: az ellenállási tényező független a  $Re$ -számtól, csak a relatív érdesség nagyságától függ, állandó.

Folyadékoknak érdes csőben való áramlását tehát három különböző szakaszban kell megvizsgálnunk: az első szakaszban a sima csőre érvényes szabályok irányadók, a második átmeneti szakaszban a sebesség és érdesség hatása egymás mellett érvényesül, míg a harmadik szakaszban a cső teljesen érdes, csak a viszonylagos érdessége jut érvényre. Külön kellene tárgyalni még a hullámos érdesség egyes fajtáit. Mivel azonban célunk nagynyomású, hosszú földgázszál-



7. ábra

lító csővezetékek tervezéséhez és üzemzéséhez a tudomány mai állásának megfelelő, használható gyakorlati eredményekhez jutni, s mivel ezen vezetékek kivétel nélkül acélsövekből készülnek: melyek érdességi fajtája a göröngyös érdesség, tárgyalásainkat tehát a *göröngyös érdességre* korlátozzuk. Kevés kivételt képez a városi szétosztó-csőhálózat vezetéke, mely egyes helyeken még ma is öntöttvasból van.

A *sebességelosztás* úgy az érdesség mértékszámának, mint a  $Re$ -számának a függvénye. A 7. ábra a sebességelosztási görbéket tünteti fel különböző érdességi fokokra, nagy  $Re$ -számoknál, tehát a négyzetes sebességtörvény szakaszában. Minél nagyobb a relatív érdesség mértékszama, a sebességprofil annál élesebb görbét ad, míg a kisebb viszonylagos érdesség felé a görbék kisimulnak, közelednek az egyenes felé, a sima cső sebességprofilja ezeknek a görbéknek mintegy felső határát szabja meg.

Sima csöveknél a *Kármán*-féle dimenzió nélküli függvény (23 egyenlet)

$$\frac{u}{v_*} = f\left(\frac{v_* y}{\nu}\right)$$

jó szolgálatot tett s ennek helyességét *Nikuradse* kísérletei igazolták. Érdes csöveknél ez a függvény szintén egyenesbe foglalja össze a kísérleti pontokat, azonban ezek az egyenesek egymáshoz viszonyítva párhuzamosan eltolódtak, határuk a sima cső sebességelosztási egyenese. Ezeknek az egyeneseknek a helyzete érdességi fok szerint is különbözik és a falközeli részekben, valamint a cső tengelyében a kísérleti eredmények kissé kiesnek az egyenesből.

A csőfal felületi minőségének az áramlásra való hatását már csaknem egy századdal ezelőtt *Darcy* [34] vizsgálta, kinek eredményeit újabban *Fritsch* [35] ellenőrizte és megerősítette. Ezek szerint egyenes csövekben nagy sebességeknél a folyadékrezecskék relatív mozgása csak a nyomásviszonyoktól függ és független a fal minőségétől, az érdesség fokától. Így tehát a keveredési úthossz csak a faltávolság függvénye és első megközelítéssel felvehetjük, hogy arányos a faltávolsággal:

$$l = \kappa y$$

ahol  $\kappa$  ismét, egyelőre állandónak feltételezett, arányossági tényező. A helyi sebesség és a csúsztató sebesség között tehát itt is ugyanaz az összefüggés, mint a sima csőnél (38):

$$\frac{U - u}{v_*} = 2,5 \ln\left(\frac{r}{y}\right) = 5,75 \log\left(\frac{r}{y}\right). \quad (50)$$

*Nikuradse* ezt az egyenletet  $\frac{r}{k} = 15 \sim 500$  relatív érdességi számok közötti értékekre ellenőrizte és úgy ezekre, mint a sima csövekre is helyesnek találta (8. ábra). Ez az egyenlet tehát egybefoglalja a sima és göröngyös érdességű csövek sebességelosztási törvényét a *négyzetes sebességtörvény szakaszában*. Itt a sebességprofil alakja sima és érdes csöveknél független a csőfal minőségétől és a *Kármán* javasolta dimenzió-nélküli ábrázolásban a sebességprofil görbéi egymásra esnek, fedik egymást.

Valamely szelvény középsebessége — értve ezalatt azt a sebességet, melyet az egész szelvény felületén állandónak véve az időegység alatt ugyanolyan folyadékmennyiség áramolna át a szelvényen, mint amennyi a változó sebességekkel átfolyik, tehát az

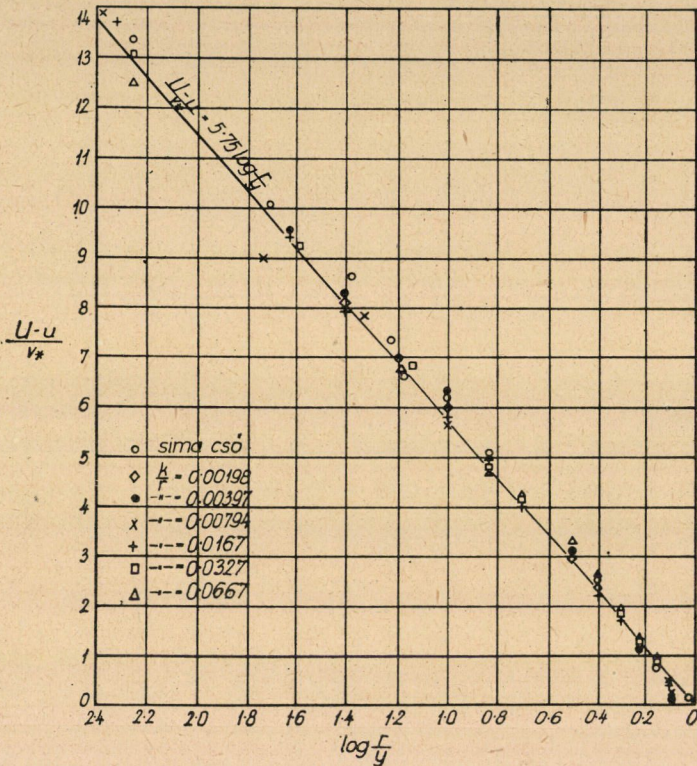
$$\bar{u} = \frac{\int_0^r 2\pi z \cdot u \cdot dz}{r^2 \pi}$$



egyenletnek megfelelő középsebesség, — a cső tengelyébeni maximális sebesség és a fal melletti sebesség között lesz. Van tehát a szelvényben, a cső falától  $y_1$  távolságban olyan helyi sebesség, amely egyenlő az  $\bar{u}$  középsebességgel, s ezt az

$$U - \bar{u} = 2,5 v_{*0} \ln \left( \frac{r}{y_1} \right)$$

egyenlet határozza meg.



8. ábra

Mivel a sebességprofil alakja a fentiek szerint minden ily áramlásnál hasonló, az  $r/y_1$  relatív faltávolság azonos minden sebességgörbénél:

$$U - \bar{u} = \text{állandó} \cdot v_{*0}$$

az állandó értéke kerekén 4 és

$$\bar{u} \cong U - 4v_{*0}, \quad (61)$$

amiből

$$l_n \left( \frac{r}{y_1} \right) \cong \frac{4}{2,5} = 1,6 \quad \text{és} \quad \frac{r}{y_1} \cong 5,$$

vagyis a középsebesség egyenlő azzal a helyi sebességgel, amely a faltól  $1/5$  sugártávolságra van. Réteges áramlásnál a sebességprofil parabola, a középsebesség a faltól kereken  $0,3$  sugártávolságban lévő lokális sebességgel egyenlő. Amennyiben tehát az áramlás zavartalan és egyenletes, elégséges a faltól  $1/5$  sugártávolságban megmérni a sebességet, pl. *Pitot*-csővel, és ezzel számíthatjuk az átáramló folyadékmenyiséget.

Az átmeneti szakaszra is érvényes sebességeloszlási törvényt keresve, olyan kifejezésre van szükségünk, amely az ebben a szakaszban érvényre jutó összes elemeket magában foglalja és a hasonlósági elvet is kielégíti. Ennek a kifejezésnek ismét a *Reynolds*-számhoz hasonlóan kell lennie, magában kell foglalnia azonban az érdesség mértékszámát is. A *Re*-szám

$$Re = \frac{\bar{u}D}{\nu}$$

a (46) egyenletből az ellenállási tényező

$$\sqrt{\lambda} = 2\sqrt{2} \frac{v^*}{\bar{u}},$$

továbbá a relatív érdességet is behozva, kapjuk

$$Re\sqrt{\lambda} \frac{k}{r} = \frac{2r\bar{u}}{\nu} 2\sqrt{2} \frac{v^*}{\bar{u}} \cdot \frac{k}{r} = 4\sqrt{2} \left( \frac{v^*k}{\nu} \right). \quad (62)$$

Az átmeneti szakaszra tehát az a paraméter, mely úgy a *Re*-számot, mint az érdességi jellemzőt is magában foglalja,  $\frac{v^*k}{\nu}$  dimenzió nélküli szám. A négyzetes sebességtörvény szakaszában azonban a *Re*-szám nem érvényesül, a sebességelosztási egyenlet csak az érdesség függvénye. Az (59) egyenlet szerint

$$\frac{U-u}{v_*} = \frac{U}{v_*} - \frac{u}{v_*} = 5,75 \log \left( \frac{r}{y} \right)$$

és

$$\frac{u}{v_*} = \frac{U}{v_*} - 5,75 \log \left( \frac{r}{y} \right)$$

a fentiek szerint pedig ebben az állandó tagnak tartalmaznia kell az érdességi jellemzőt is, valószínűleg a következő alakban:

$$\frac{u}{v_*} = a + f\left(\frac{k}{r}\right) - 5,75 \log \left( \frac{r}{y} \right).$$

*Nikuradse* kísérleti eredményeiből a függvény értéke

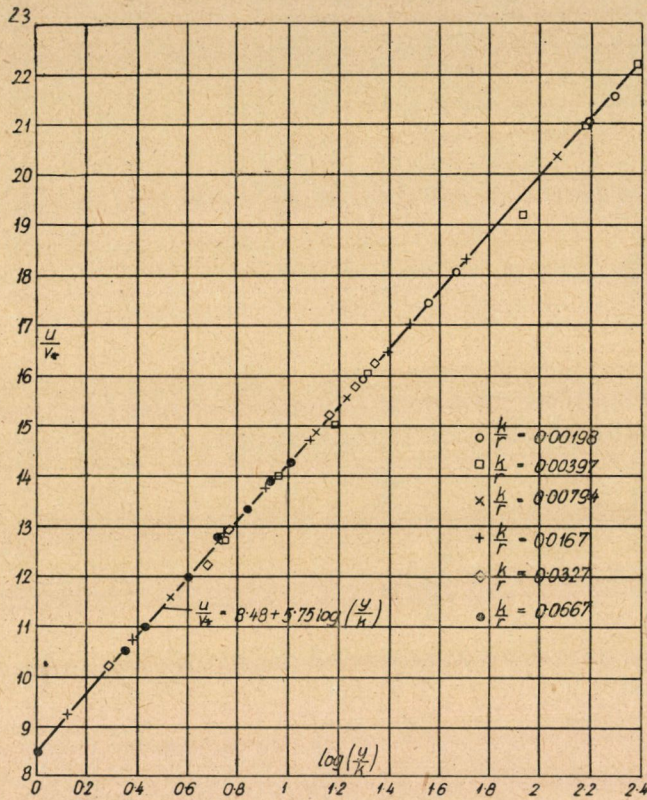
$$f\left(\frac{k}{r}\right) = 5,75 \log \left( \frac{r}{k} \right)$$



és ezzel a négyzetes sebességtörvény szakaszában

$$\frac{u}{v_*} = a + 5,75 \log \left( \frac{r}{k} \right) - 5,75 \log \left( \frac{r}{y} \right) = 8,48 + 5,75 \log \left( \frac{y}{k} \right). \quad (63)$$

Olyan diagramban, amelyek abszcisszája  $\log \left( \frac{y}{k} \right)$ , ordinátája  $\frac{u}{v_*}$ , Nikuradse összes kísérleti pontjai jól fedik a fenti egyenletnek megfelelő egyenest. (9. ábra).



9. ábra

Az általános sebességelosztási egyenlet alakját a következő megfontolással kapjuk meg. Ennek az egyenletnek egybe kell foglalnia a négyzetes sebességtörvény szakaszában érvényes, valamint a sima cső szakaszára vonatkozó egyenletet is; a (63) egyenlet állandójának tehát itt már tartalmaznia kell a (62) alatti dimenzió nélküli jellemzőt is, éspedig olyképpen, hogy ez a sima cső szakaszában a (38) egyenletet adja, tehát ez az állandó itt két részből áll: egy állandóból és a  $v_* k / \nu$  egy függvényéből

$$\frac{u}{v_*} = a + 5,75 \log \left( \frac{y}{k} \right) + f \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) = a + 5,75 \log \left( \frac{v_* y}{\nu} \right),$$

ebből

$$f\left(\frac{v_* k}{\nu}\right) = 5,75 \left[ \log\left(\frac{v_* y}{\nu}\right) - \log\left(\frac{y}{k}\right) \right] = 5,75 \log\left(\frac{v_* k}{\nu}\right).$$

Az átmeneti szakaszban az együtthatók értéke természetesen megváltozik és így az általános sebességelosztási egyenlet

$$\frac{u}{v_*} = a + b \log\left(\frac{v_* k}{\nu}\right) + 5,75 \log\left(\frac{y}{k}\right). \quad (64)$$

Ennek az egyenletnek általános érvényességét *Nikuradse* kísérletei igazolták. Az egyenlet állandói az egyes szakaszokban :

I. Az *első szakaszban* a sima cső sebességeloszlási egyenlete érvényes :

$$0 \leq \log\left(\frac{v_* k}{\nu}\right) \leq 0,55 ; \quad \frac{u}{v_*} = 5,5 + 5,75 \log\left(\frac{v_* k}{\nu}\right) + 5,75 \log\left(\frac{y}{k}\right). \quad (65)$$

ami a logaritmikus tagok összevonásával átmegy

$$\frac{u}{v_*} = 5,5 + 5,75 \log\left(\frac{v_* y}{\nu}\right)$$

a (43)-mal azonos egyenletbe.

II. Az *átmeneti szakaszban* az általános egyenlet egy görbét ad, melyet *Nikuradse* három egymást metsző, a görbéhez simuló egyenessel helyettesít :

$$\left. \begin{aligned} 0,55 \leq \log\left(\frac{v_* k}{\nu}\right) \leq 0,85 ; \quad \frac{u}{v_*} &= 6,59 + 3,5 \log\left(\frac{v_* k}{\nu}\right) + 5,75 \log\left(\frac{y}{k}\right) \\ 0,85 \leq \log\left(\frac{v_* k}{\nu}\right) \leq 1,15 ; \quad \frac{u}{v_*} &= 9,58 + 5,75 \log\left(\frac{y}{k}\right) \\ 1,15 \leq \log\left(\frac{v_* k}{\nu}\right) \leq 1,83 ; \quad \frac{u}{v_*} &= 11,5 + 1,62 \log\left(\frac{v_* k}{\nu}\right) + 5,75 \log\left(\frac{y}{k}\right). \end{aligned} \right\} \quad (66)$$

III. A *négyzetes sebességtörvény szakaszában*

$$\log\left(\frac{v_* k}{\nu}\right) > 1,83 ; \quad \frac{u}{v_*} = 8,48 + 5,75 \log\left(\frac{y}{k}\right). \quad (67)$$

Az *ellenállási tényező*t, mint a *Reynolds*-szám függvényét a 10. ábra tünteti fel, logaritmikus léptékben. Az áramlást jellemző három különálló szakasz itt is megvan : az első szakaszban az ellenállási tényező görbéje egyezik a sima csövekre érvényes ellenállási görbével úgy a réteges áramlási, mint az örvénylő áramlási részen, és pedig minél kisebb a relatív érdesség, annál tovább marad a görbe a sima cső ellenállási görbéjén. A második átmeneti szakaszban, a sima cső karakterisztikájától való elválás után sima görbülettel egy, az abszcissza-tengellyel párhuzamos egyenesbe megy át. A harmadik szakasz a négyzetes ellenállási törvény szakasza, itt az ellenállási tényező állandó, a cső tökéletesen érdes.

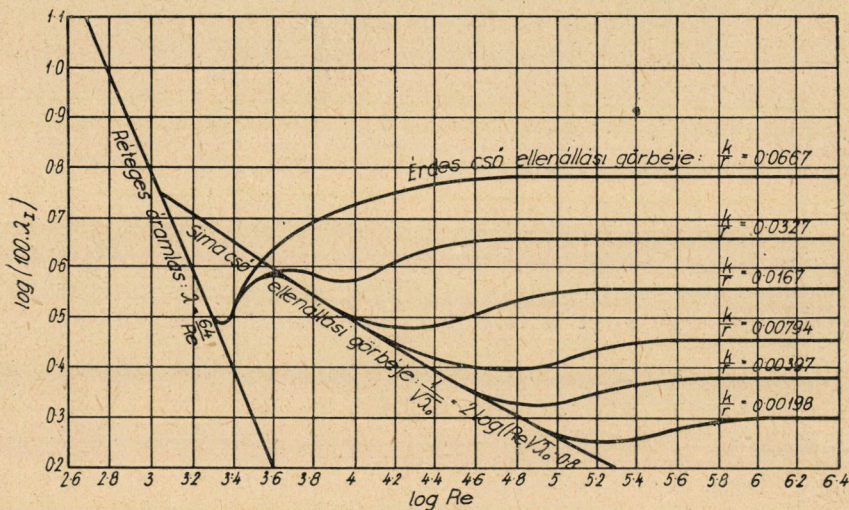


Nagy sebességekre, tehát a *négyzetes sebességtörvény* szakaszában a helyi sebesség és a faltávolság közötti összefüggést a (32) egyenletből, azzal a feltétellel, hogy a keveredési út arányos a faltávolsággal  $l = \gamma y$ , behozva csúsztató sebességet is a

$$du = \frac{v_*}{\kappa} \cdot \frac{dy}{y}$$

egyenlet fejezi ki, melynek integrálegyenlete

$$u = \frac{v_*}{\kappa} (l_n y + \text{állandó}).$$



10. ábra

Mivel ebben a szakaszban az érdesség teljes mértékben érvényesül, az állandónak tartalmaznia kell az érdességi jellemzőt is és Prandtl szerint vegyük

$$\text{állandó} = c - l_n k,$$

ahol Nikuradse méréseiből  $c = 3,4 = l_n 30$  adódik és ezzel lesz

$$u = \frac{v_*}{\kappa} (l_n y + l_n 30 - l_n k) = \frac{v_*}{\kappa} \left[ l_n \left( \frac{y}{k} \right) + l_n 30 \right].$$

A maximális sebesség  $y = r$  helyettesítéssel ( $M$  a természetes logaritmus modulusa)

$$U = \frac{v_*}{\kappa} \left[ l_n \left( \frac{r}{k} \right) + l_n 30 \right] = v_* \left[ \frac{1}{\kappa M} \log \left( \frac{r}{k} \right) + \frac{\log 30}{\kappa M} \right],$$

a (61) egyenlettel pedig

$$\bar{u} = U - 4v_* = v_* \left[ \frac{1}{\kappa M} \log \left( \frac{r}{k} \right) + \frac{\log 30}{\kappa M} - 4 \right]$$

és végül a (46) egyenletből

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{\bar{u}}{2\sqrt{2}v_*} = \frac{1}{\sqrt{8}\kappa M} \log \left( \frac{r}{k} \right) + \frac{\log 30}{\sqrt{8}\kappa M} - \frac{4}{\sqrt{8}},$$

az állandók behelyettesítésével:  $\kappa = 0,4$ ;  $M = 0,4343$

$$\frac{1}{\sqrt{8}\kappa M} \cong 2,035; \quad \frac{\log 30}{\sqrt{8}\kappa M} - \frac{4}{\sqrt{8}} \cong 1,6$$

lenne. *Nikuradse* kísérleti eredményei alapján ezeket az állandókat kissé módosította és a négyzetes sebességtörvény szakaszára az

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.74 + 2 \log \left( \frac{r}{k} \right) \quad (68)$$

egyenletet találta megfelelőnek.

Általános ellenállási egyenletre, amely az átmeneti szakaszra is érvényes, a következő megfontolással juthatunk. Az átmeneti szakaszban az ellenállási tényező mind a sebesség, mind az érdesség függvénye is. A sebességelosztásnál úgy találtuk, hogy az ezeket az elemeket magában foglaló dimenzió nélküli szám  $\frac{v_* k}{\nu}$  jó segítségül volt. Észszerűen feltételezhetjük, hogy a négyzetes sebességtörvény szakaszára levezetett (68) egyenletben az állandó a  $\frac{v_* k}{\nu}$  szám valamilyen függvénye lesz és az

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \left( \frac{r}{k} \right) = f \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) \quad (69)$$

egyenletet fogja egybefoglalni az átmeneti szakaszban a különböző érdességű csövekre és  $Re$ -számokra a kísérletileg talált ellenállási tényezőket. Ezeket *Nikuradse* olyan diagrammba rakta fel, melynek abszcisszája  $\log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right)$ , ordinátája  $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \left( \frac{r}{k} \right)$  és az összes pontok igen jól fekszenek egy folytonos görbén, mely egyfelől a sima cső ellenállási tényezőjét feltüntető görbéhez, másrészt a négyzetes ellenállási szakaszra talált, az abszcissza tengellyel parallel egyeneshez csatlakozik (11. ábra).

A (69) függvény tehát általános érvényességű ellenállási törvény, melynek állandó számértékei *Nikuradse* kísérleti eredményei alapján a következők:



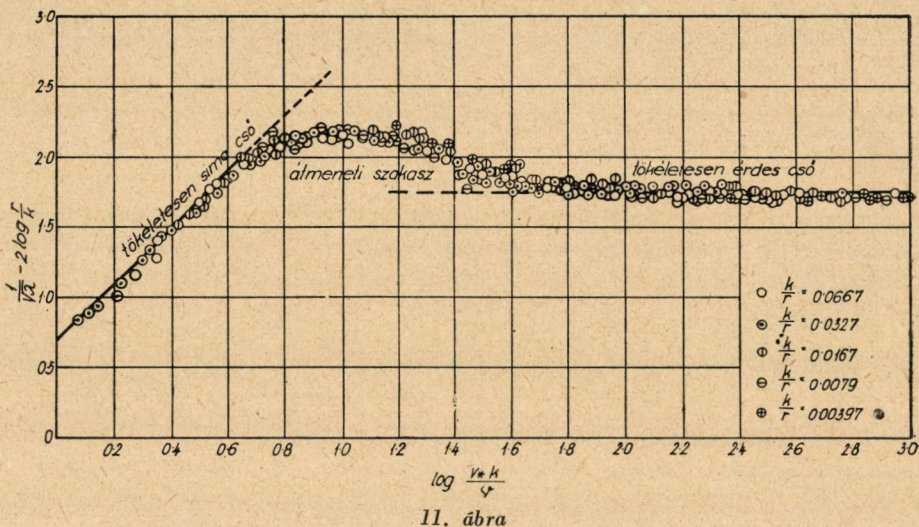
## I. A sima cső szakaszában

$$0 \leq \log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) \leq 0,55 ; \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \left( \frac{r}{k} \right) = 0,7 + 2 \log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right), \quad (70)$$

amely egyenlet a  $v_* = \frac{\bar{u} \sqrt{\lambda}}{\sqrt{8}}$  behelyettesítése és a logaritmusos tagok összevonása után azonos lesz a sima csövekre kapott

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log (Re \sqrt{\lambda}) - 0,8$$

(47) egyenlettel.



11. ábra

II. Az átmeneti szakaszban Nikuradse az ellenállási görbét ismét három simuló egyenessel helyettesíti. Az egyenesek egyenletei :

$$\left. \begin{aligned} 0,55 \leq \log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) \leq 0,85 ; \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \left( \frac{r}{k} \right) &= 1,18 + 1,13 \log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) \\ 0,85 \leq \log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) \leq 1,15 ; \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \left( \frac{r}{k} \right) &= 2,14 \\ 1,15 \leq \log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) \leq 1,83 ; \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \left( \frac{r}{k} \right) &= 2,81 + 0,588 \log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) \end{aligned} \right\} (71)$$

III. A négyzetes sebességtörvény szakaszában az állandó ellenállási együttható

$$\log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) > 1,83 \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \left( \frac{r}{k} \right) = 1,74. \quad (72)$$

Annak a pontnak a koordinátái, amelyben az ellenállási együttható görbéje elválnak a sima cső ellenállási együtthatójának görbájától

$$\log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) = 0,55 \quad \text{és} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \left( \frac{r}{k} \right) = 1,8.$$

A csúsztató-sebességet a (46) egyenletből behelyettesítve és a  $Re$ -számot behozva

$$\frac{v_* k}{\nu} = \frac{1}{\sqrt{32}} \cdot \frac{Re_I}{\left[ 1,8 + 2 \log \left( \frac{r}{k} \right) \right] \frac{r}{k}} = 10^{0,55} = 3,55,$$

ahonnan

$$Re_I \cong 40 \left[ 0,9 + \log \left( \frac{r}{k} \right) \right] \frac{r}{k}. \quad (73a)$$

Annak a pontnak a koordinátái pedig, amelyen az átmeneti szakasz görbéje az állandó ellenállási tényező egyenesébe fut be

$$\log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) = 1,83 \quad \text{és} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \left( \frac{r}{k} \right) = 1,74$$

és a fentiekkel hasonló átalakítás után

$$Re_{II} \cong 765 \left[ 0,87 + \log \left( \frac{r}{k} \right) \right] \frac{r}{k}. \quad (73b)$$

Amint később látni fogjuk, a kereskedelmi, varrat nélküli acélsővezeték közepes abszolút érdességét  $k = 0,08$  mm-nek vehetjük, ami 250 mm átmérőjű csőnél

$$\frac{k}{r} = \frac{0,08}{250} = \frac{1}{3125} \text{ relativ érdességet ad.}$$

Ennél a csőnél a két határ  $Re$ -szám

$$Re_I = 40 (0,9 + \log 3125) 3125 \cong 550\,000$$

és

$$Re_{II} = 765 (0,87 + \log 3125) 3125 \cong 10\,400\,000.$$

A földgázvezetéseknél tehát az állandó ellenállási együttható szakasza messze kitolódik a nagy Reynolds-számok felé és a gyakorlati esetek legtöbbszörében az átmeneti szakaszban mozgunk.

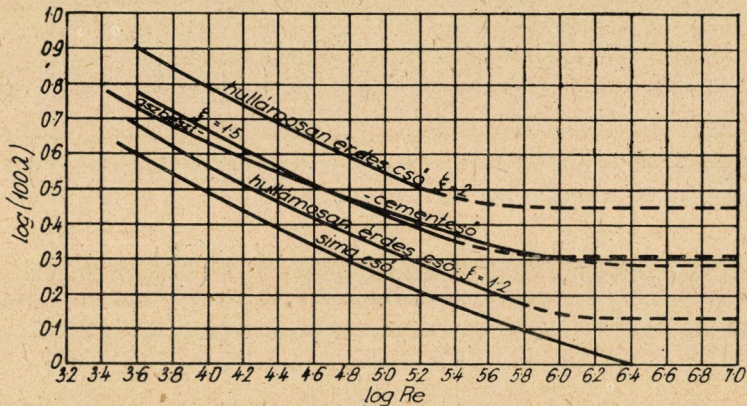
Az érdesség másik fájának, a hullámos érdességnek kérdése még nincs teljesen tisztázva. *Fromm* kísérleteiből [27] valószínűnek látszik, hogy a hullámosan érdes falak ellenállási görbéje párhuzamosan fut a sima cső ellenállási görbéjével. (12 ábra.) Minél nagyobbak a hullámmagasságok, annál távolabb esnek ettől, ez a távolság azonban valószínűleg függ még a hullámok közepes hosszától is.



A nagy *Reynolds*-számoknál ezek a görbék is minden valószínűség szerint átmennek az abszcissa tengellyel párhuzamos egyenesbe és itt is létezik a négyzetes sebességtörvény szakasza. A hullámos érdességű csövek ellenállási tényezője, ha  $\lambda_0$  a megfelelő sima cső súrlódási együtthatója

$$\lambda = \xi \lambda_0 \quad (74)$$

$\xi$  az érdességi szám nagyságától függő állandó, amelynek a hullámos érdesség kiemelkedési méretével és a hullámok hosszával való számbeli összefüggése még



12. ábra

ismeretlen. *Fromm* aszfaltozott vaslemezeire  $\xi = 1,2 \sim 1,5$ , facsővekre  $\xi = 1,5 \sim 2,0$  értékeket talált.

*Ludin* [48] aszbesztcement-csővek ellenállását vizsgálta 2000 és 1 000 000 *Re*-számok között és azt találta, hogy az ellenállási tényező

$$\lambda = 0,266 Re^{-0,195}, \quad (75)$$

tehát nem fut párhuzamosan a sima csövek ellenállási görbéjével (12. ábra). Valószínű, hogy elég nagy *Re*-számnál ez a görbe is az abszcisszatengellyel párhuzamos egyenesbe megy át. Az aszbesztcement-csőveket úgy tekinthetjük, mint amelyeknél a hullámos érdesség a domináló és e fölé rakódott a göröngyös érdesség. Ez tehát átmenetnek tekinthető a csak hullámosan és a tökéletesen göröngyösen érdes csövek között és így magyarázható meg, hogy a

$$\xi = \frac{\lambda}{\lambda_0}$$

tényező nem marad állandó, hanem a nagy *Re*-számok felé növekszik,  $Re = 1000$ -nál  $\xi = 1,2$ ;  $Re = 1\,000\,000$ -nál  $\xi = 1,72$ .

## V. Gázvezetéken végzett kísérletek az ellenállási tényező meghatározására és kereskedelmi acélső érdességi mértékszama

Laboratóriumi kísérleteknek és mennyiségtani képleteknek leggyakrabban az a hiányosságuk, hogy ritkán tudnak tökéletesen alkalmazkodni a valósághoz. Ez különösen így van a hidrodinamikában: absztrakciókkal, tökéletesen sima csövekkel, vagy mesterségesen egyenletesen érdessé tett csövekkel kell beérnünk, amelyek csak megközelítik a tényleges állapotot. A kereskedelmi áru természetéből folyik, hogy annak gyártása csak bizonyos tűréssel lehetséges és ez vonatkozik nem csak a csövek átmérőjére, a csőfal vastagságára és a cső tengelyének egyenességére, hanem a csőfal belső felületének minőségére, érdességére is. A gépek és szerszámok munkaközben állandóan elhasználódnak, kopnak és így még ugyanazon gyár ugyanazon gépe sem adhat tökéletesen egyenletes minőségű árut.

A nagy csővezetéseket egyes korlátolt hosszúságú, 6 ~ 14 m-es csövekből állítják össze. Számos csőkapcsolási rendszer van: a földgázvezetéseknél kezdetben a csavarmentes-hüvelyes csőkötés, az ú. n. gázcsőkapcsolás volt használatban, majd ezt a századforduló előtt felváltotta a gumigyűrűvel és peremekkel tömített karmantyús csőkötés, míg legújabban a hegesztés lassan kiszorítja a mechanikai csőkapcsolókat. Ezek bármennyire gondosan és pontosan legyenek is szerelve, a vezeték belső felületén egyenetlenségeket hagynak: a szabadon maradt csavarmenetrészek, a karmantyúban teljesen össze nem érő csövégek élei, a hegesztések benyúló varrata áll az áramlás útjában és növeli a vezeték belső felületének érdességét. A vezetékbe épített idomdarabok és elzáró szerkezetek, vízleválasztó edények, elágazások, ívek és görbületek, mind megannyi akadály az áramlás útjában. Ezek rendszeren peremes kötéssel illeszkednek a csővezetékbe, a peremek közötti, tökéletlenül kivágott tömítőgyűrűk benyúló részei a belső egyenetlenségeket szintén fokozzák. Nagy átmérőjű vezetéseknél újabban munka- és költségkímélés céljából kisebb méretű tolózárat építenek be kúpos átmenetekkel, ezek ellenállása természetesen szintén ez ellenállási tényezőt növeli és végeredményben úgy hat, mint egy megnagyobbodott érdességű csővezeték.

A vezetéken szállított folyadék — víz, nyersolaj és termékei, gázok — nem teljesen tiszták: a víz idővel iszapot, az olaj parafint, a széngáz kátrányt, naftalint, a földgáz a gázhomok finom porát és folyékony hidrátokat rak le a cső falára. Különösen érezhető ez a kokszolók 10 ~ 15 km-es körzetében, ahol a lerakódott naftalinkristályok a vezeték ellenállási tényezőjét 2 ~ 3 szorosára növelik [22, 23]. A vezetéket pedig évtizedekre építjük és számolnunk kell már a tervezésnél az érdesség idővel növekedésével.

Míg tehát a laboratóriumi kísérletek az áramlás belső mechanikáját derítették fel és megbecsülhetetlen szolgálatot tettek a gyakorlati eredmények helyes értékelésére, addig a gázszállító vezetékek helyes és kellő biztonsággal bíró

méretezésére tényleges vezetékeken végzett kísérletek eredményeire is szükségünk van.

A hidrodinamika mai állása szerint az ellenállási tényező, a *Reynolds*-szám és az érdesség számbeli összefüggését *Nikuradse* egyenletei adják helyesen meg és így összehasonlítási alapul ezt fogjuk venni. A négyzetes sebességtörvény érvényességi szakaszában

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \log \frac{r}{k}\right)^2}.$$

Mint látni fogjuk, gyakorlatilag célszerűbb az átmeneti szakaszban is valamivel nagyobb, a négyzetes ellenállási törvény szakaszában érvényes ellenállási együtthatóval számolni: ez valamivel kedvezőtlenebb eredményt ad, de a számítás biztonságot növeli.

*Forrest M. Towl* [36] amerikai földgázmérnök 1901-ben egy 70 mérföld (112,7 km) hosszú, 8'' (pontosan 7,98'' = 202,7 mm) átmérőjű földgázvezetéken állapította meg a vezeték ellenállási tényezőjét. A talált értéket méterrendszerre átszámítva, a vezeték súrlódási együtthatója

$$\lambda = 0,0174$$

volt. Hasonlítsuk ezt össze *Nikuradse* egyenletével

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{1}{\sqrt{0,0174}} = 7,57 = 1,74 + 2 \log \frac{r}{k},$$

amelyből

$$\log \frac{r}{k} = 2,915 \quad \text{és} \quad \frac{r}{k} = 10^{2,915} = 822,$$

a 202,7 mm  $\varnothing$ -jú vezeték abszolút érdességi mértékszám

$$k = \frac{101,35}{822} = 0,123 \text{ mm.}$$

Az *V. táblázat* az 1929. évben a *sármás-tordai* földgázvezetéken végzett kísérletekből számított ellenállási együtthatót és a vezeték érdességi mértékszámát foglalja össze [37]. A méréseket mintegy 16 éve üzemben volt földgázvezetéken végeztük, melynek hossza 50,5 km, belső átmérője 253 mm, és amelybe összesen 25 ugyanily átmérőjű tolózár, 30 vízleválasztó edény és 8 leágazás, több enyhe görbület és egy 90°-os ívdarab volt beépítve. A vezeték nagyrészen hullámos talajt szel át és így függőleges síkban is kisebb-nagyobb, enyhe ívekben hajlik. Az összes csőkapcsolások gumigyűrűs karmantyús kötések. A megmért ellenállási tényezők 0,01611 és 0,0176 között voltak és az ennek megfelelő érdesség szám 0,1072 mm és 0,16 mm, a 12 kísérlet eredményeinek középértéke

$$k = 0,134 \text{ mm,}$$



## V. TÁBLÁZAT

*A sármás-tordai földgázvezetéken végzett ellenállás-mérések eredménye*

Re	$\lambda$	$r/k$	k mm	Megjegyzés
1 405 000	0,016 54	1040	0,1216	A vezeték 48,7 km hosszú szakaszán történtek a mérések. A vezeték 253 mm $\varnothing$ varrat nélküli acélesövekből rugalmas amerikai csőkapcsolókkal készült. A mérésekor a vezeték mintegy 15 éve már üzemben volt, a csövek belső felülete vékony porréteggel volt bevonva. 23 tolózár, 28 vízleválasztó és 6 leágazás volt beépítve.
1 507 000	0,016 36	1100	0,115	
1 233 000	0,017 44	822	0,154	
1 198 000	0,016 11	1180	0,1072	
1 165 000	0,016 61	1020	0,124	
1 206 000	0,016 43	1070	0,118	
1 130 000	0,016 98	928	0,1363	
1 223 000	0,016 66	1000	0,1265	
1 009 000	0,017 30	856	0,1478	
985 000	0,017 60	791	0,160	
954 000	0,017 44	822	0,154	
1 002 000	0,017 29	856	0,1478	

ami jól egyezik a *Towl* találta érdességi mértékszámával. A vezeték viszonylagosan nagyobb abszolút érdességi mértékszámával annak a finom porbevonatnak, amely a csőfal belsejére tapadt, a belészerelt aránylag több idomdarabnak, vízleválasztónak, elzáró szerkezeteknek és az ott alkalmazott rugalmas csőkapcsolásnak tudható be.

Az utóbbi évtizedekben rendkívüli módon kifejlődött német gázipar nagy vezetékéről is több kísérleti adatot közöl a szakirodalom. A *Ruhrgas A. G.* vezetékéről két próbát találunk feljegyezve. A *Hamm—Hannover* között épített vezetéken *W. Wunsch* és *L. Zipperer* végeztek méréseket [41]. A vezeték varrat nélküli acélesövekből, hegesztett *Klöpper* karmantyúkkal készült, belül vékony kátrányréteggel bevonva. 37 tolózár 400 mm  $\varnothing$ -re csökkentve, 171 dilatációs karmantyú és 179 vízleválasztó, 16 ív 50°-nál nagyobb hajlásszöggel volt a vezetékbe beépítve. A csövek belső átmérője 500 mm, a vezeték hossza 96 km. Az eredményeket a *VI. táblázat* foglalja össze. A csövek belső felületére alkalma-

## VI. TÁBLÁZAT

*A Hamm-hannoveri 500 mm  $\varnothing$  kokségázvezetéken végzett ellenállás-mérések eredménye*

Re	$\lambda$	$r/k$	k mm	Megjegyzés
146 800	0,0168	973	0,513	A mérés levegővel történt. A vezeték belső felülete vékony bitumenréteggel volt bevonva
147 000	0,0168	973	0,513	
247 500	0,0152	1530	0,327	
244 400	0,0159	1060	0,472	

zott kátránybevonat elfedi a cső természetes göröngyös érdességét és inkább szabálytalan hullámos érdességet okoz, így ezeket az eredményeket csak bizonyos fenntartással vehetjük számba.

A Köln—reindorfi [39] vezeték hasonló szerkezetű. A méréseket 2 évi üzem után végezték, ezek eredményeit a VII. táblázat tünteti fel.

## VII. TÁBLÁZAT

A Köln—reindorfi 500 mm  $\varnothing$  kokségázevetéken végzett ellenállás-mérések eredménye

Re	$\lambda$	$r/k$	k mm	Megjegyzés
199 900	0,01663	1021	0,489	A vezeték két éve üzemben volt. A mérés kokségázzal történt.
260 000	0,01683	966	0,517	
260 000	0,01590	1250	0,400	

Dr. Zipperer [40] 200 mm  $\varnothing$ -jű vezetéken végzett méréseket, eredményeit a VIII. Táblázat foglalja egybe. Az elért Re-számok itt 100 000 alatt vannak,

## VIII. TÁBLÁZAT

A w.-i (Németország) 200 mm  $\varnothing$  kokségázevetéken végzett ellenállás-mérések eredménye

Re	$\lambda$	$r/k$	k mm	Megjegyzés
98 000	0,0208	396	0,505	A vezetékről közelebbi adatok hiányoznak.
70 600	0,0212	366	0,547	
66 300	0,0210	381	0,525	
50 000	0,0222	306	0,653	

az utolsó adat ellenállási tényezője már a sima csőszakaszra esik, ahol az érdességi szám még megközelítőleg sem számítható ki. (Ez a táblázatból kimaradt.) Az első négy mérés középértékben  $\lambda = 0,0213$  eredményt ad, aminek 0,557 mm abszolút érdesség felel meg.

F. Homann [41] új turbinavezetéken mérte meg a nyomásesést. A vezeték belső átmérője  $\frac{1}{3}$  részben 550 mm,  $\frac{2}{3}$  részben 500 mm volt, hossza 1451,5 m, a talált ellenállási tényező és abszolút érdesség

$$\lambda = 0,01484 \text{ és } k = 0,3 \text{ mm}$$

Amerikai nagy földgázvezetékeken végzetek kísérleteket az ellenállási tényező meghatározására T. W. Johnson és W. B. Berwald [42] (IX. Táblázat). Ezeknek a vezetéknek az átmérője 153 mm és 543 mm között volt, az elért Reynolds-szám meghaladta a 4 500 000-et, egyes esetekben csökkent 200 000-ig. A kipróbált szakaszok legtöbbször üzemben levő távvezetékek kiválasztott

## IX. TÁBLÁZAT

Amerikai földgázvezetéseken végzett kísérletek eredményei

Vezeték	Re	$\lambda$	D mm	r/k	k mm	Megjegyzés																																																																																																																																																																																																																	
1	1 611 000	0,011324	543	6750	0,0402	mechanikusan kapcsolt																																																																																																																																																																																																																	
	1 047 000	0,010429		8390	0,0324		2	1 117 000	0,012252	445	4430	0,0502	mechanikusan kapcsolt	1 056 000	0,012076	4780	0,0466	3	2 386 000	0,013960	443	2290	0,0967	mechanikusan kapcsolt	2 507 000	0,013148	3080	0,0718	5	1 329 000	0,012168	392	4600	0,0426	hegesztett	1 230 000	0,012324	4310	0,0454	7	4 527 000	0,013540	368	2660	0,0692	hegesztett	4 467 000	0,013588	2620	0,0702	9	234 000	0,013880	387	2370	0,0816	mechanikusan kapcsolt	260 000	0,012960	3340	0,0578	10	3 403 000	0,013908	313	2350	0,0666	hegesztett	3 450 000	0,013328	2880	0,0543	12	2 804 000	0,010444	310	10503	0,0147	mechanikusan kapcsolt	2 870 000	0,010476	13100	0,0118	13	509 000	0,015824	310	1270	0,1220	mechanikusan kapcsolt	684 000	0,014984	1640	0,0944	675 000	0,015248	1550	0,0996	16	1 202 000	0,013556	307	2665	0,0576	hegesztett	543 000	0,014568	1870	0,0820	19	2 208 000	0,016036	259	1200	0,1080	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 282 000	0,015432	1430	0,0905	20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 090 000	0,018600	624	0,2078	21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392	268 000	0,017832	204,8	751	0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000	0,017171	63,2
2	1 117 000	0,012252	445	4430	0,0502	mechanikusan kapcsolt																																																																																																																																																																																																																	
	1 056 000	0,012076		4780	0,0466		3	2 386 000	0,013960	443	2290	0,0967	mechanikusan kapcsolt	2 507 000	0,013148	3080	0,0718	5	1 329 000	0,012168	392	4600	0,0426	hegesztett	1 230 000	0,012324	4310	0,0454	7	4 527 000	0,013540	368	2660	0,0692	hegesztett	4 467 000	0,013588	2620	0,0702	9	234 000	0,013880	387	2370	0,0816	mechanikusan kapcsolt	260 000	0,012960	3340	0,0578	10	3 403 000	0,013908	313	2350	0,0666	hegesztett	3 450 000	0,013328	2880	0,0543	12	2 804 000	0,010444	310	10503	0,0147	mechanikusan kapcsolt	2 870 000	0,010476	13100	0,0118	13	509 000	0,015824	310	1270	0,1220	mechanikusan kapcsolt	684 000	0,014984	1640	0,0944		675 000	0,015248		1550	0,0996		16	1 202 000	0,013556	307	2665	0,0576	hegesztett	543 000	0,014568	1870	0,0820	19	2 208 000	0,016036	259	1200	0,1080	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 282 000	0,015432	1430	0,0905	20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 090 000	0,018600	624	0,2078	21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000		0,017896	736		0,1392	268 000		0,017832	204,8	751	0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947		0,0138						Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000	0,017171
3	2 386 000	0,013960	443	2290	0,0967	mechanikusan kapcsolt																																																																																																																																																																																																																	
	2 507 000	0,013148		3080	0,0718		5	1 329 000	0,012168	392	4600	0,0426	hegesztett	1 230 000	0,012324	4310	0,0454	7	4 527 000	0,013540	368	2660	0,0692	hegesztett	4 467 000	0,013588	2620	0,0702	9	234 000	0,013880	387	2370	0,0816	mechanikusan kapcsolt	260 000	0,012960	3340	0,0578	10	3 403 000	0,013908	313	2350	0,0666	hegesztett	3 450 000	0,013328	2880	0,0543	12	2 804 000	0,010444	310	10503	0,0147	mechanikusan kapcsolt	2 870 000	0,010476	13100	0,0118	13	509 000	0,015824	310	1270	0,1220	mechanikusan kapcsolt	684 000	0,014984	1640	0,0944		675 000	0,015248		1550	0,0996		16	1 202 000	0,013556	307	2665	0,0576	hegesztett	543 000	0,014568	1870	0,0820	19	2 208 000	0,016036	259	1200	0,1080	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 282 000	0,015432	1430	0,0905	20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 090 000	0,018600	624	0,2078	21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171				63,2		885	0,0357									
5	1 329 000	0,012168	392	4600	0,0426	hegesztett																																																																																																																																																																																																																	
	1 230 000	0,012324		4310	0,0454		7	4 527 000	0,013540	368	2660	0,0692	hegesztett	4 467 000	0,013588	2620	0,0702	9	234 000	0,013880	387	2370	0,0816	mechanikusan kapcsolt	260 000	0,012960	3340	0,0578	10	3 403 000	0,013908	313	2350	0,0666	hegesztett	3 450 000	0,013328	2880	0,0543	12	2 804 000	0,010444	310	10503	0,0147	mechanikusan kapcsolt	2 870 000	0,010476	13100	0,0118	13	509 000	0,015824	310	1270	0,1220	mechanikusan kapcsolt	684 000	0,014984	1640	0,0944		675 000	0,015248		1550	0,0996		16	1 202 000	0,013556	307	2665	0,0576	hegesztett	543 000	0,014568	1870	0,0820	19	2 208 000	0,016036	259	1200	0,1080	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 282 000	0,015432	1430	0,0905	20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 090 000	0,018600	624	0,2078	21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171						63,2	885	0,0357																			
7	4 527 000	0,013540	368	2660	0,0692	hegesztett																																																																																																																																																																																																																	
	4 467 000	0,013588		2620	0,0702		9	234 000	0,013880	387	2370	0,0816	mechanikusan kapcsolt	260 000	0,012960	3340	0,0578	10	3 403 000	0,013908	313	2350	0,0666	hegesztett	3 450 000	0,013328	2880	0,0543	12	2 804 000	0,010444	310	10503	0,0147	mechanikusan kapcsolt	2 870 000	0,010476	13100	0,0118	13	509 000	0,015824	310	1270	0,1220	mechanikusan kapcsolt	684 000	0,014984	1640	0,0944		675 000	0,015248		1550	0,0996		16	1 202 000	0,013556	307	2665	0,0576	hegesztett	543 000	0,014568	1870	0,0820	19	2 208 000	0,016036	259	1200	0,1080	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 282 000	0,015432	1430	0,0905	20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 090 000	0,018600	624	0,2078	21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171						63,2	885	0,0357																														
9	234 000	0,013880	387	2370	0,0816	mechanikusan kapcsolt																																																																																																																																																																																																																	
	260 000	0,012960		3340	0,0578		10	3 403 000	0,013908	313	2350	0,0666	hegesztett	3 450 000	0,013328	2880	0,0543	12	2 804 000	0,010444	310	10503	0,0147	mechanikusan kapcsolt	2 870 000	0,010476	13100	0,0118	13	509 000	0,015824	310	1270	0,1220	mechanikusan kapcsolt	684 000	0,014984	1640	0,0944		675 000	0,015248		1550	0,0996		16	1 202 000	0,013556	307	2665	0,0576	hegesztett	543 000	0,014568	1870	0,0820	19	2 208 000	0,016036	259	1200	0,1080	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 282 000	0,015432	1430	0,0905	20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 090 000	0,018600	624	0,2078	21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171						63,2	885	0,0357																																									
10	3 403 000	0,013908	313	2350	0,0666	hegesztett																																																																																																																																																																																																																	
	3 450 000	0,013328		2880	0,0543		12	2 804 000	0,010444	310	10503	0,0147	mechanikusan kapcsolt	2 870 000	0,010476	13100	0,0118	13	509 000	0,015824	310	1270	0,1220	mechanikusan kapcsolt	684 000	0,014984	1640	0,0944		675 000	0,015248		1550	0,0996		16	1 202 000	0,013556	307	2665	0,0576	hegesztett	543 000	0,014568	1870	0,0820	19	2 208 000	0,016036	259	1200	0,1080	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 282 000	0,015432	1430	0,0905	20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 090 000	0,018600	624	0,2078	21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171						63,2	885	0,0357																																																				
12	2 804 000	0,010444	310	10503	0,0147	mechanikusan kapcsolt																																																																																																																																																																																																																	
	2 870 000	0,010476		13100	0,0118		13	509 000	0,015824	310	1270	0,1220	mechanikusan kapcsolt	684 000	0,014984	1640	0,0944		675 000	0,015248		1550	0,0996		16	1 202 000	0,013556	307	2665	0,0576	hegesztett	543 000	0,014568	1870	0,0820	19	2 208 000	0,016036	259	1200	0,1080	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 282 000	0,015432	1430	0,0905	20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 090 000	0,018600	624	0,2078	21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171						63,2	885	0,0357																																																															
13	509 000	0,015824	310	1270	0,1220	mechanikusan kapcsolt																																																																																																																																																																																																																	
	684 000	0,014984		1640	0,0944																																																																																																																																																																																																																		
	675 000	0,015248		1550	0,0996		16	1 202 000	0,013556	307	2665	0,0576	hegesztett	543 000	0,014568	1870	0,0820	19	2 208 000	0,016036	259	1200	0,1080	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 282 000	0,015432	1430	0,0905	20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 090 000	0,018600	624	0,2078	21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392	268 000	0,017832	204,8	751	0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000	0,017171	63,2	885	0,0357																																																																																										
16	1 202 000	0,013556	307	2665	0,0576	hegesztett																																																																																																																																																																																																																	
	543 000	0,014568		1870	0,0820		19	2 208 000	0,016036	259	1200	0,1080	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 282 000	0,015432	1430	0,0905	20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 090 000	0,018600	624	0,2078	21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000		160 000 ~							417 000	0,017171	63,2	885	0,0357																																																																																												
19	2 208 000	0,016036	259	1200	0,1080	csavarmentes hüvellyel kapcsolt																																																																																																																																																																																																																	
	2 282 000	0,015432		1430	0,0905		20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt	2 090 000	0,018600	624	0,2078	21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171						63,2	885	0,0357																																																																																																							
20	2 090 000	0,018752	259	606	0,2138	csavarmentes hüvellyel kapcsolt																																																																																																																																																																																																																	
	2 090 000	0,018600		624	0,2078		21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt	375 000	0,014016	2250	0,0545	22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171						63,2	885	0,0357																																																																																																																		
21	384 000	0,013804	245	2430	0,0504	mechanikusan kapcsolt																																																																																																																																																																																																																	
	375 000	0,014016		2250	0,0545		22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett	870 000	0,014704	1790	0,0575	23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171						63,2	885	0,0357																																																																																																																													
22	1 675 000	0,014340	206	2010	0,0513	hegesztett																																																																																																																																																																																																																	
	870 000	0,014704		1790	0,0575		23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett	1 005 000	0,014496	1920	0,0536	24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171						63,2	885	0,0357																																																																																																																																								
23	1 139 000	0,014128	206	2160	0,0500	hegesztett																																																																																																																																																																																																																	
	1 005 000	0,014496		1920	0,0536		24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt	197 000	0,017896	736	0,1392		268 000	0,017832		204,8	751		0,1364	27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett	376 000	0,014060	2220	0,0352	29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171						63,2	885	0,0357																																																																																																																																																			
24	223 000	0,013632	205	2580	0,0397	mechanikusan kapcsolt																																																																																																																																																																																																																	
	197 000	0,017896		736	0,1392																																																																																																																																																																																																																		
	268 000	0,017832		204,8	751		0,1364																																																																																																																																																																																																																
27	363 000	0,013620	156	2600	0,0300	hegesztett																																																																																																																																																																																																																	
	376 000	0,014060		2220	0,0352		29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett	1 013 000	0,012400	4155	0,0184	Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000	0,017171	63,2	885	0,0357																																																																																																																																																																																							
29	888 000	0,013024	153	3250	0,0236	hegesztett																																																																																																																																																																																																																	
	1 013 000	0,012400		4155	0,0184		Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.	1 085 000	160 000 ~		417 000		0,017171						63,2	885	0,0357																																																																																																																																																																																												
Kísérleti	210 000 ~	0,016893	26,18	947	0,0138	Kísérleti vezeték csavar- mentes csökötésekkel, minden idomdarab és szelep nélkül, új acél- csövekből.																																																																																																																																																																																																																	
	1 085 000																																																																																																																																																																																																																						
	160 000 ~																																																																																																																																																																																																																						
	417 000	0,017171	63,2	885	0,0357																																																																																																																																																																																																																		



5,65 ~ 106 km hosszú részei voltak, a mérések üzem közben történtek, lehetőleg oly időszakban, amikor a fogyasztás egyenletes volt, a gáznyomás a vezeték elején és végén hosszabb időn át állandó maradt. A megvizsgált vezetékek fele gumigyűrűs-karmantyús csőkapcsolókkal, fele hegesztéssel volt kötve, két vezeték, a 19. és 20., csavarmenetes-hüvelyes gázcsőkötéssel. A próbák földgázzal történtek, melynek metántartalma 2,38 ~ 88,57%, nitrogéntartalma 0,11 ~ ~ 33,67% között, levegőre vonatkoztatott fajsúlya 0,562 ~ 1,058 között változott. A gáz abszolút nyomása 2,4 — 42 at, hőmérséklete 11,7 — 28 C° volt, természetesen egy-egy mérés tartama alatt közel állandó maradt. A kísérletekben használt gázok az előforduló nyomásoknál már jelentős eltérést mutatnak a Boyle-törvénytől, így a 19. és 20. kísérletek gázai 40 at körül mintegy 8%-kal jobban összenyomhatók, ami a gáztérfogat mérésénél, amely áramlásmérővel történt, már néhány százalék korrekciót adott volna. A gázok abszolút nyúlósága  $960 \cdot 10^{-7}$  —  $1290 \cdot 10^{-7}$  Poise között változott.

Az eredményül kapott ellenállási együtthatók és az ebből számított érdekes mértékszámok aránylag széles határok közötti ingadozása a mérési viszonyok fennebb röviden vázolt nagy változatosságának tudható be. Mindenesetre jellemző a csavarmenetes-hüvelyes kapcsolás nagy abszolút érdekessége (19. és 20. csővezetékek); míg a gumigyűrűs kapcsolókkal összekötött vezetékek abszolút érdekessége 0,0147 — 0,1392 mm, a hegesztett vezetékeké 0,0184 — 0,1364 mm között volt. Középtértékben a mechanikailag kapcsolt vezetékek abszolút érdekessége  $k = 0,065$  mm kissé nagyobb, mint a hegesztett vezetékeké, amely  $k = 0,056$  mm volt. Az érdekességi mértékszám általában lényegesen kisebb, mint az európai vezetéseken mért érdekességek, ami arra vezethető vissza, hogy az amerikai vezetékek lényegesen kevesebb tolózarat, vízleválasztót, ívcövet tartalmaznak, belül nincsenek kátrányozva, mint a német nagy gázvezetékek.

Ugyanezek az amerikai szerzők végeztek ellenállási méréseket még új gázcsövekből összeállított 1" és 2½" átmérőjű kísérleti csővezetékeken is. A talált eredmények feltűnően kis súrlódási együtthatót és abszolút érdekességet adtak: középtértékben az 1"-os csővezetékénél

$$\lambda = 0,016893 \text{ és } k = 0,0138 \text{ mm}$$

a 2½"-os vezetékénél

$$\lambda = 0,017171 \text{ és } k = 0,0354 \text{ mm}$$

Ezek teljesen új csövek voltak, elzáró szerkezetek és idomdarabok nélkül, a mérések alatt a Reynolds-szám 160 000 és 1 086 000 között változott.

Említés történt már fentebb Galavics és Bauer kísérleteiről, kik kereskedelmi acélcsőveken végezték méréseiket. Megállapításuk szerint az azonos eljárás szerint gyártott acélcsővek abszolút érdekessége állandónak vehető. Kétféle eljárás szerint gyártott varrat nélküli acélcsővekre adják meg az átmérőtől függően az

ellenállási együtthatót. A Mannesmann-rendszerű (Pilgerverfahren) csövek ellenállási együtthatója a négyzetes sebességtörvény szakaszában, átalakítva az általunk használatos jelölésre ( $D$  méterben mérve)

$$\lambda = \frac{1}{(9,8 + 2 \log D)^2}, \tag{76a}$$

míg a Stiefel-eljárás szerint hengerelt (Stiefelverfahren) csövekre

$$\lambda = \frac{1}{(10,83 + 2 \log D)^2}. \tag{76b}$$

Világos, hogy ezek a képletek *Nikuradse* egyenleteiből származnak, az abszolút érdesség mértékszámának behelyettesítésével. Az első esetben

$$\frac{1}{(9,8 + 2 \log D)^2} = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \log \frac{r}{k}\right)^2},$$

amelyből  $2r = D$  helyettesítésével

$$\log 2k = -4,03$$

és

$$k = 0,000466 \text{ m} \cong 0,05 \text{ mm}$$

a második esetben

$$\frac{1}{(10,83 + 2 \log D)^2} = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \log \frac{r}{k}\right)^2},$$

innen

$$k \cong 0,015 \text{ mm}$$

Az átmeneti szakaszban szerzők szerint a kereskedelmi acélsöveknél a sima csövek ellenállási karakterisztikája és a négyzetes szakasz egyenese között nincs meg az inflexiós ponttal bíró kettős átmeneti görbe vonal, melyet *Nikuradse* a mesterségesen érdessé tett csöveknél talált, hanem az átmenetet állandó irányú görbülettel futó vonal alkotja (13. ábra). Ez a diagramm egyezik a 11. ábra diagrammjával, ha az abszolút érdesség számbeli értékét és  $v_*$ -et a (46) egyenletből behelyettesítjük. (Lásd a 11. ábrára vonatkozó levezetést a fejezet végén.)

*Neumann* [43] a különböző csővezetékek ellenállási tényezőire egy gyakorlati táblázatot közöl, amelyekből számított közepes abszolút érdességek a következők :

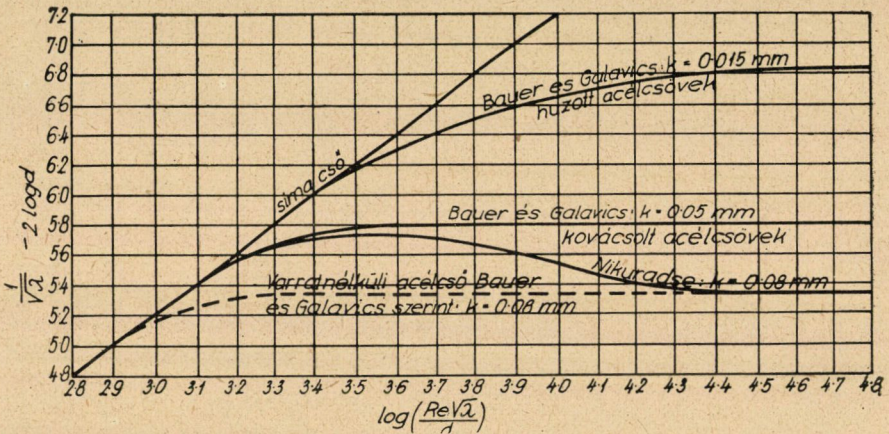
- új, varratnélküli acélső, gyakorlatilag az érdesség alsó határértéke .....  $k \cong 0,04 \text{ mm}$
- melegvízfűtési acélső, új öntöttvascső .....  $k \cong 0,1 \text{ mm}$

köszgáz-szállítóvezeték .....  $k \cong 0,5 \text{ mm}$   
 rozsdás öntöttvascső-vezeték .....  $k \cong 0,75 \text{ mm}$

Szerző az ezekből számított ellenállási tényezőhöz még  $15 \cong 40\%$  biztonsági koefficientst ad hozzá.

Amerikában nagy földgázvezetékek tervezésénél általános elterjedésnek örvend *T. R. Weymouth* [44] képlete, amely szerint az ellenállási tényező, méterrendszerre átszámítva

$$\lambda = 0,00941 D^{-1/3}$$



13. ábra

Összehasonlítva ezt *Nikuradse* egyenletével, az állandó ellenállási együttható szakaszában

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \log \frac{r}{k}\right)^2} = 0,00941 L^{-1/3}$$

ezek szerint a *Weymouth*-képletből számított abszolút érdesség a csőmérettel változó és

$d = 5$	$10$	$25$	$50$	$75$	$100 \text{ cm } \varnothing$ csőre
$k = 0,138$	$0,112$	$0,077$	$0,047$	$0,034$	$0,026 \text{ mm}$

Egy közepes, a gyakorlatban biztonsággal használható, földgázvezetékekre megfelelő érdességi mértékszám megválasztásánál az alábbi szempontokat kell tekintetbe vennünk.

Az újabb földgázvezetékek csaknem kivétel nélkül varratnélküli acélcsövekből, hegesztéses kötással készülnek, amelybe néhány dilatációs karmantyú van, igen kevés idomdarabbal és elzáró szerkezettel. Ennek ellenállási együtthatója és így érdességi mértékszáma is kisebb, mint a régi földgázvezetékeké,



ságos támpontot nyújtana; a földgázvezetékeken végzett kísérletek alapján azt az *érdességi mértékszámot*, amelyet varratnélküli acélcsővekből készült, hegesztéssel vagy belül sima illesztést adó csőkötéssel összekapcsolt vezetékekre alkalmazhatnak, a feltétlenül szükséges, kis számú idomdarabokat és elzáró szerkezeteket beleértve

$$k = 0,08 \text{ mm-re}$$

tehetjük és ezzel az értékkel az ellenállási tényező, ha  $d$  a cső tényleges belső átmérőjét cm-ben jelöli

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \log \frac{d}{2 \cdot 0,008}\right)^2} \cong \frac{1}{(5,33 + 2 \log d)^2}. \quad (77)$$

Az a határ pedig, amelyen alul a sima cső ellenállási tényezőjével kell számolnunk, azaz ahhoz a ponthoz tartozó  $Re$ -szám — nevezzük ezt (megkülönböztetésül a réteges áramlást az örvénylő áramlástól elválasztó kritikus *Reynolds*-számtól), *határ Reynolds-számnak* és jelöljük  $Re_h$  —, amelyben az állandó ellenállási tényezőt feltüntető egyenes a sima cső ellenállási görbáját metszi, a két vonal egyenletéből, ha  $\lambda_0$  a sima cső,  $\lambda_I$  az érdes cső állandó ellenállási együtthatója

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_0}} = 2 \log (Re_h \sqrt{\lambda_0}) - 0,8 = \frac{1}{\sqrt{\lambda_I}} = 1,74 + 2 \log \frac{r}{k},$$

ebből

$$\log \left[ \frac{Re_h}{\left(1,74 + 2 \log \frac{r}{k}\right) \frac{r}{k}} \right] = 0,87 + 0,4 = 1,27$$

és a *határ Reynolds-szám*

$$Re_h = 37,242 \left(0,87 + \log \frac{r}{k}\right) \frac{r}{k}. \quad (78)$$

Behelyettesítve az acélcsővekből készült földgázvezetékekre

$$k = 0,008 \text{ cm és } \frac{r}{k} = \frac{d}{2k} = \frac{d}{0,016} = 62,5 d,$$

ezzel

$$Re_h = 2327,6 (2,6659 + \log d) d$$

és az állandó számértékek kikerekítésével

$$Re_h = 2330 (2,67 + \log d) \quad (79)$$

A határérték csupán annak a megállapítására szolgál, hogy valamely áramlás az állandó ellenállási együttható szakaszába, vagy a sima cső szakaszába



esik-e? Ezért a pontosság követelményeinek feladásával a *határ Reynolds-szám* helyett, amely igen ritkán ismert, célszerűbb a *határ áramlási erősséget*,  $Q_{oh}$  értéket behozni, amely mindig ismeretes. A Reynolds-szám és az áramlási erősség közötti összefüggést a (8) egyenletcsoport adja meg s ebben benne vannak az áramló gáz állandói, fajsúlya és viszkozitása is. Éppen ezért tulajdonképpen minden gázra más határérték vonatkozik, azonban műszaki számításokban, fenti célt szemelőtt tartva, elégséges a két határértéket megadni — tiszta metángázra (erdélyi földgáz) és a legnehezebb kútfejgázra ( $s = 1$ ;  $\mu = 800 \cdot 10^{-7}$  Poise) és az áramló gázra vonatkozó határértéket ezek között megbecsülni.

Metánra: ( $s = 0,56$ ;  $\mu = 1057 \cdot 10^{-7}$  Poise)

$$Q_{oh} \cong (2,67 + \log d) d^2$$

Nehéz kútfejgázra:

$$Q_{oh} \cong 0,43 (2,67 + \log d) d^2$$

Dunántúli földgázra: ( $s = 0,65$ ;  $\mu = 900 \cdot 10^{-7}$  Poise)

$$Q_{oh} \cong 0,75 (2,67 + \log d) d^2$$

(80)

Közepes érdességű, kereskedelmi acélcsővezetékeknek *minden átmérőjéhez tartozik egy határ áramlási erősség, amelyen alul a sima cső ellenállási tényezője és amely felett az állandó ellenállási tényező használandó.* Újabban csaknem kizárólagosan a *Mannesmann* eljárással gyártott varrat nélküli acélcsővek vannak kereskedelmi forgalomban és a fent megadott közepes abszolút érdességi mértékszám jól megfelel minden acélcsővezetékre

A 11. ábra segítségével megszerkeszthetjük a  $k = 0,08$  mm abszolút érdességű csővezetékek ellenállási görbéit mindhárom szakaszban (14. ábra). A diagramm abszcisszája  $\log Re$ , ordinátáját, hogy a negatív logaritmusokat elkerüljük, válasszuk  $\log(100 \lambda)$ -nak. *Nikuradse* diagrammjának koordinátáit

$$\log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) = \alpha \quad \text{és} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \frac{r}{k} = \beta$$

átváltoztatjuk a  $\frac{k}{r} = \frac{0,016}{d}$  relatív érdességnek megfelelő koordinátákra.

A [62] egyenlet szerint:

$$\log \left( \frac{v_* k}{\nu} \right) = \log \left[ \frac{1}{\sqrt{32}} Re \sqrt{\lambda} \frac{k}{r} \right] = \log \left( \frac{0,016}{\sqrt{32}} Re \frac{\sqrt{\lambda}}{d} \right) = \alpha,$$

ebből

$$\log \left( \frac{Re \sqrt{\lambda}}{d} \right) = \alpha + 2,548.$$

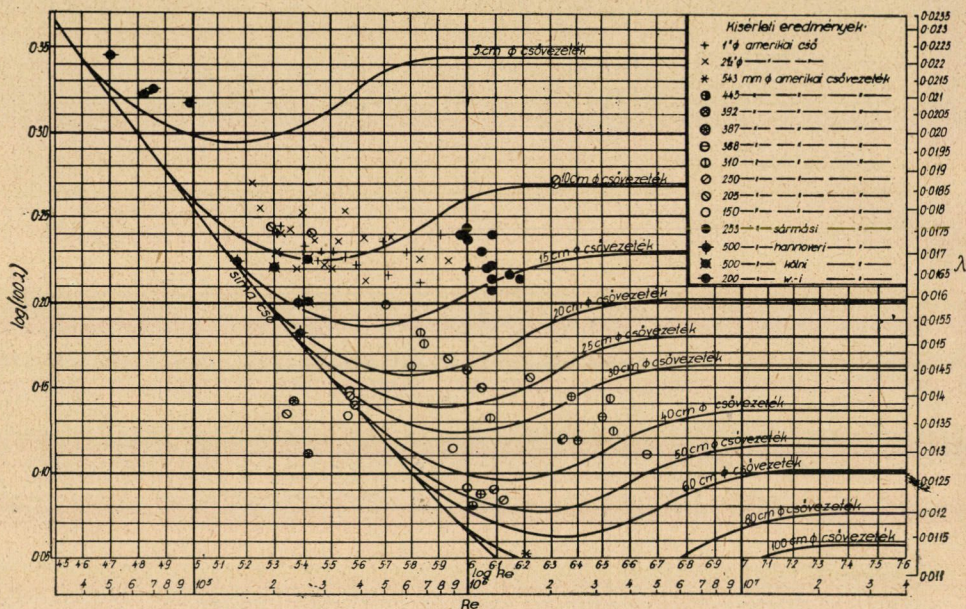


Viszont

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \frac{r}{k} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log \frac{d}{0,016} = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log d + 2 \log 0,016 = \beta,$$

ahonnan

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log d = \beta + 3,59$$



14. ábra

Ez a diagramm átalakul tehát egy  $\log \left( \frac{Re \sqrt{\lambda}}{d} \right)$  abszcisszájú és  $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} - 2 \log d$  ordinátájú diagrammá (13. ábra). Ezekből viszont a keresett összrendezők kiszámíthatók :

$$\lambda = \frac{1}{(\beta + 3,59 + 2 \log d)^2} \quad \text{és} \quad Re = 10^{(\alpha + 2,548)} \cdot (\beta + 3,59 + 2 \log d) d$$

és megszerkeszthető a  $\log Re \sim \log (100 \lambda)$  diagramm az átmeneti szakaszra is. Ebben a diagrammban fel van tüntetve a fontosabb ellenállási tényező mérések eredménye is ; a legtöbb pont az átmeneti szakaszra esik.

## VI. Az áramlás egyenlete

Az ellenállási együttható ismeretével és a (25) egyenlet segítségével most már feladatunkat megoldottuk, további feladatunk csupán az, hogy egyenletünket a gyakorlati számításokra alkalmasabb alakra hozzuk. Ez az egyenlet általánosabb alakban

$$\lambda = - \frac{dp}{dl} \cdot \frac{D}{E} \quad (81)$$

hol  $E$  az áramló folyadék 1 kg-jának összes energiaváltozását jelenti. Különbséget kell tennünk *cseppfolyós* és *légnemű* folyadékok között. Cseppfolyós, összenyomhatatlan folyadékoknál az áramló folyadék energiaváltozása csak a kinetikai energiára szorítkozik,

$$E = \rho \frac{\bar{u}^2}{2}.$$

A  $D$  átmérőjű csővezeték valamely  $dl$  hosszúságú szakaszán az időegység alatt  $\bar{u}$  középsebességgel átáramló folyadék térfogata

$$V = D^2 \frac{\pi}{4} \cdot \bar{u} \quad \text{és} \quad \bar{u} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{V}{D^2},$$

továbbá, ha  $\gamma$  a folyadék fajsúlya és  $g$  a földi nehézségi gyorsulása a sűrűség:  $\rho = \gamma/g$  és betéve ezeket a (81) egyenletbe

$$\lambda = - \frac{dp}{dl} \cdot \frac{D}{\frac{\gamma}{2g} \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 V^2} = \left(\frac{\pi}{4}\right)^2 \frac{dp}{dl} \frac{2g}{\gamma} \frac{D^5}{V^2}$$

és

$$- dp = \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \lambda \frac{\gamma}{2g} \frac{V^2}{D^5} \cdot dl,$$

integráljuk  $p_1$  és  $p_2$ , illetve 0 és  $l$  határok között

$$p_1 - p_2 = \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \lambda \frac{\gamma}{2g} \cdot \frac{V^2}{D^5} l$$

és ebből a másodpercenként átfolyó folyadék térfogata  $m^3$ -ben

$$V = \frac{\pi}{4} \sqrt{2g \frac{p_1 - p_2}{\lambda l \gamma}} \cdot D^5. \quad (82)$$

Az átáramló folyadék súlya kg/sec egységekben

$$G = 1000 V \gamma = 1000 \frac{\pi}{4} \sqrt{2g \gamma \frac{p_1 - p_2}{\lambda l}} \cdot D^5. \quad (83)$$

Betéve az állandó számértékeket

$$V = 3,4783 \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{\gamma l \lambda} \cdot D^5} \quad \text{és} \quad G = 3478,3 \sqrt{\gamma \frac{P_1 - P_2}{\lambda l} \cdot D^5}. \quad (84)$$

A nyomásokat ata-ban, a cső átmérőjét cm-ben, a vezeték hosszát km-ben, a folyadék fajsúlyát  $\text{kg/m}^3$ -ben adjuk meg:

$$V = 0,00011 \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{\gamma \lambda L} d^5}. \quad (85)$$

Szokás különösen cseppfolyós folyadékoknál, a nyomásesést *folyadékoszlop-magasságban*

$$h = \frac{P_1 - P_2}{\gamma}$$

a szállított folyadékmennyiséget  $\text{m}^3/\text{óra}$ , illetve  $\text{kg}/\text{óra}$ , az átmérőt cm egységekben mérni és ezekkel

$$Q = 0,1252 \sqrt{\frac{h}{\lambda} \cdot \frac{d^5}{l}} \quad \text{és} \quad G = 125,2 \gamma \sqrt{\frac{h}{\lambda} \cdot \frac{d^5}{l}}. \quad (86)$$

Összenyomható, rugalmas folyadékoknál, a *gázoknál*, az áramlás energiafogyasztása következtében beálló nyomásesés a gázok kiterjedését okozza, a kiterjedés munkájának fedezésére a folyadék energiát fogyaszt, amelyet nem hanyagolhatunk el. Itt az  $E$  energiaváltozás nem csak a kinetikai energiát foglalja magában, hanem a gáz belső energiájának változását is. Legcélszerűbb levezetésünkben a termodinamika alapegyenleteiből kiindulni, amely az összes energiákat számbaveszi [45].

Jelölje a következőkben:

$\Theta$  a gáz 1 kg-ja által felvett, vagy leadott hőenergiát,

$i$  a gáz 1 kg-jának hőtartalmát,

$T$  az abszolút hőmérsékletet,

$A$  a hő mechanikai egyenértékét,

$W$  a surlódási munkát,

$B$  a gázállandót,

$p$  a gáz nyomását  $\text{kg/m}^2$ ,  $P$  ugyanazt  $\text{kg/cm}^2$ ,  $p = 10^4 P$

$v$  a gáz fajtérfogatát  $\text{m}^3/\text{kg}$

$s$  a gáz levegőre vonatkoztatott fajsúlyát:  $s = \frac{\gamma g}{\gamma l} = \frac{B_l}{B_g}$

$\bar{u}$  a gázáram középsebességét valamely szelvényben,  $\text{m/sec}$

$g$  a nehézségi gyorsulását  $45^\circ$  szélességen:  $= 9,80665 \text{ m/sec}^2$

$l$  a vezeték hosszát  $\text{m}$ ,  $L$  ugyanazt  $\text{km}$ ,  $l = 10^3 L$

$D$  a vezeték átmérőjét  $\text{m}$ ,  $d$  ugyanazt  $\text{cm}$ ,  $d = 10^2 D$

$\lambda$  a vezeték ellenállási tényezőjét,

$G$  a vezetéken átáramló gáz súlya  $\text{kg}/\text{óra}$ ,

$V_0$  a vezetéken átáramló gáz térfogata normál állapotban,  $\text{m}^3/\text{sec}$

$Q_0$  a vezetéken átáramló gáz térfogata normál állapotban,  $\text{m}^3/\text{óra}$ .

Az  $_1$  index a kezdő, a  $_2$  index a végző, a  $_0$  index a normálállapotot jelzi, a  $g$  index a gázra, az  $l$  index a levegőre vonatkozik.

Valamely  $dl$  vezetékelen átfolyó gáz 1 kg-ja  $\Theta$  hőenergiát fogyaszt, miközben sebessége  $\bar{d}u$ , hőtartalma  $di$ , nyomása  $dp$ -vel változik. Fajtérfogatát a végtelen rövid vezetékelen állandónak vehetjük. A vezeték vízszintesnek véve és a gravitációs erőket elhanyagolva, a fogyasztott hőenergia a gáz hőtartalmának változására, a kinetikai energia növelésére és a  $dW$  súrlódási munka fedezésére használódik fel és 1 kg gázra, amelynek tömege  $1/g$ , az energiaegyenlet

$$d\Theta = di + Ad \left( \frac{\bar{u}}{2g} \right) + AdW.$$

A súrlódási munka a  $\lambda$  ellenállási tényező értelmezése szerint (25 egyenlet), tekintettel arra, hogy  $\rho = \gamma/g$

$$dW = \lambda \frac{dl}{D} \cdot \frac{u^2}{2g},$$

másrészt a termodinamika egyik alapegyenlete szerint

$$d\Theta = di - Avdp$$

és ezekkel az energiaegyenlet

$$vdp + \frac{\bar{u} \cdot \bar{d}u}{g} + \lambda \frac{dl}{D} \cdot \frac{\bar{u}^2}{2g} = 0. \tag{87}$$

Ennek a differenciálegyenletnek a megoldásánál ismét, a feladat céljához alkalmazkodva, bizonyos megszorításokra van szükség. Mivel végső célunk a földgázvezetékek méretezésének a megállapítása, a szükséges megszorításokat ennek szemmeltartásával kell megtennünk. Mindenekelőtt megállapítjuk, hogy a földgázvezetékek a talajba, a fagyvonal alá vannak elhelyezve, köröskörül föld borítja a csöveket. A tapasztalatok szerint az áramló gáz már rövid úton felveszi a környező földtömeg hőmérsékletét: a vezeték borító földtömeg oly óriási melegfőlösleggel rendelkezik, hogy az áramló gáz abból korlátlanul meríthet, vagy melegfőlöslegét annak leadhatja anélkül, hogy a környező talaj hőmérséklete észrevehetően megváltoznék. Évek hosszú során át pontosan feljegyezték a vezetékben áramló gáz hőmérsékletét a vezeték több pontján. Igaz, hogy a téli és nyári gázhőmérséklet között  $12 \sim 15^\circ$  különbség is van, a felmelegedés és lehűlés azonban oly lassú, hogy napi hőmérsékletingadozás a legritkábban haladja meg az  $1^\circ$ -ot és a hosszú vezeték végpontjai közötti hőmérsékkülönbség  $1 \sim 2^\circ$ -nál nem nagyobb. Így gyakorlatilag az áramlást egyenlő hőmérsékletűnek, *izotermikusnak* mondhatjuk.

Másrészt a tapasztalat azt mutatja, hogy a fogyasztásingadozások egy nagyobb vezetéken rendszeren nagyon lassú lefolyásúak, a vezetékben nagy nyo-

más alatt felhalmozott gáz a kisebb ingadozásokat kiegyenlíti: így az áramlás folytonossága és egyenletessége, *kontinuitása* nagy megközelítéssel biztosítva van.

A gázvezetékek ugyan viszonylag elég nagy szintkülönbségeket hidalnak át, a gáz kis fajsúlyát, nagy nyomását és a nagy nyomásesést tekintetbe véve ezek mellett a szintkülönbségekből adódó gravitációs erők elhanyagolhatók, Természetesen kis nyomású, rövid vezetékknél, mint a kis nyomású városi szétosztóhálózat vezetékai, ezeket utólag számításba kell venni.

Ezek a megszorítások a gyakorlati élet követelményeit teljesen kielégítik. Az izotermikus áramlás és a kontinuitás matematikai kifejezései

$$pv = BT = \text{állandó} \quad \text{és} \quad \frac{D^2\pi}{4} \bar{u} = Gv,$$

amelyekkel

$$\bar{u} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{G}{D^2} v = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{G}{D^2} \frac{BT}{p} \quad \text{és} \quad d\bar{u} = -\frac{4}{\pi} \cdot \frac{G}{D^2} BT \frac{dp}{p^2}.$$

Ezek behelyettesítésével a (87) egyenlet lesz

$$-2pdv + \frac{2}{g} \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \left(\frac{G}{D^2}\right)^2 BT \frac{dp}{p} = \frac{\lambda}{g} \frac{BT}{D} \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \left(\frac{G}{D^2}\right)^2 \cdot dl.$$

Ez az egyenlet integrálható: a változók benne  $p$  és  $l$ ,  $\lambda$  állandó. *Reynolds* hasonlósági elve szerint ugyanis, mint láttuk, az ellenállási tényező a *Re*-szám függvénye, vagy állandó, csupán a relatív érdességtől függ: Az első esetben:

$$\lambda = f(Re) = f\left(\frac{Du}{\nu}\right) = f\left(\frac{Du\gamma}{g\mu}\right),$$

ebben pedig csak  $u$  és  $\gamma$  változik a gáz állapotával,  $\mu$  független a gáz nyomásától és izotermikus áramlásnál állandó. De a folytonossági egyenlet értelmében

$$\bar{u} = \frac{4}{\pi} \frac{G}{D^2} v = \frac{4}{\pi} \frac{G}{D^2} \cdot \frac{1}{\gamma},$$

amelyből

$$\bar{u}\gamma = \frac{4}{\pi} \frac{G}{D^2} = \text{állandó}$$

folytonos és egyenletes áramlásnál feltételünk szerint állandó, és így a *Re*-szám és  $\lambda$  is állandó. Integrálva tehát egyenletünket  $p_1$  és  $p_2$ , illetve 0 és  $l$  határok között:

$$p_1^2 - p_2^2 + \frac{2}{g} \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \left(\frac{G}{D^2}\right)^2 BTl \frac{p_2}{p_1} = \frac{\lambda}{g} \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \left(\frac{G}{D^2}\right)^2 BT \frac{l}{D}$$



és a kezdődő és végnyomás négyzetének különbsége

$$p_1^2 - p_2^2 = \frac{BT}{g} \left(\frac{4}{\pi}\right)^2 \left(\frac{G}{D^2}\right)^2 \left(\lambda \frac{l}{D} + 2l_n \frac{p_1}{p_2}\right),$$

végül a másodpercenként átáramló gáz súlya

$$G = \frac{\pi}{4} \sqrt{\frac{g}{B} \cdot \frac{p_1 - p_2}{T \left(\lambda l + 2Dl_n \frac{p_1}{p_2}\right)}} D^5. \quad (88)$$

Ha a logaritmikus tagnak számbeli értékét vizsgáljuk, azt találjuk, hogy megfelelő hosszú vezetékeknél és nem túlságosan nagy nyomásesésnél ez elhanyagolható. Az ellenállási tényező számértéke ugyanis 0,01 ~ 0,02 nagyságrendű, a vezeték hossza pedig 1000 ~ 100 000, m sőt a legújabb nagy távvezetékek 1000 ~ 1600 km hosszúak, így a  $\lambda l$  tag nagyságrendje 10 ~ 1000. A logaritmikus tagból a vezeték átmérője 0,01 — 0,6 m között változik, a  $p_1/p_2$  hányados pedig 2 ~ 10 között, aminek természetes logaritmusa 0,7 ~ 2,3, ennek a tagnak a nagyságrendje tehát 0,01 ~ 2 között van. Ha tehát a vezeték nem túl rövid és legfeljebb 1%-os hibát engedünk meg, tekintve, hogy a logaritmikus tag négyzetgyök alatt van, az elhanyagolás megengedhető, ha

$$2Dl_n \frac{p_1}{p_2} \leq 0,02 \lambda l,$$

vagy

$$\frac{l}{D} \geq 100 \frac{1}{\lambda} l_n \frac{p_1}{p_2} \geq 5000 l_n \frac{p_1}{p_2}.$$

Általában az elhanyagolást megengedhetőnek találják, ha

$$\frac{l}{D} \geq 200,$$

ami  $p_1/p_2 \leq 3,2$  nyomásviszonynak felelne meg.

A  $T_0$  abszolút hőmérsékletnek és  $p_0$  abszolút nyomásnak megfelelő normálállapotban az áramló gáztérfogat a (88) egyenletből

$$V_0 = Gv_0 = G \frac{BT_0}{p_0} = \frac{\pi}{4} \frac{T_0}{p_0} \sqrt{Bg} \sqrt{\frac{p_1^2 - p_2^2}{T \left(\lambda l + 2Dl_n \frac{p_1}{p_2}\right)}} D^5.$$

A gázállandó helyett célszerűbb a közvetlenül mérhető levegőre vonatkoztatott gáz-fajsúlyt bevezetni

$$s = \frac{\gamma_g}{\gamma_l} = \frac{Bl}{B}, \quad \text{amelyből: } B = \frac{Bl}{s}$$



és ezzel

$$V_0 = \frac{\pi}{4} \frac{T_0}{P_0} \sqrt{B_l \cdot g} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{Ts(\lambda l + 2Dl_n \frac{P_1}{P_2})}} \cdot D^5, \quad (89)$$

vagy a fentebbiek értelmében a logaritmusos tagot elhanyagolva

$$V_0 = \frac{\pi}{4} \frac{T_0}{P_0} \sqrt{B_l g} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{\lambda T s l}} D^5 \quad (90)$$

*Ez a gázáramlás alapegyenlete, ebből vezetjük le a gyakorlati képleteket. Behelyettesítve az állandók számértékét :*

$$V_0 = 13,303 \frac{T_0}{P_0} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{\lambda T s l}} D^5 \quad (91)$$

és áttérve a gyakorlati mértékegységekre : az áramló gáztérfogatot  $m^3/\text{óra}$ , a nyomást  $kg/cm^2$ , a vezeték hosszát  $km$ , átmérőjét  $cm$ -ben fejezve ki

$$Q_0 = 0,015145 \frac{T_0}{P_0} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{\lambda T s L}} \cdot d^5. \quad (92)$$

A földgáz és a széngázvezetékeknel általánosan elfogadott normálállapot a 760 Torr nyomás és  $+15^\circ C$  hőmérséklet,  $T = 288^\circ$  és  $P_0 = 1,0333 \text{ kg/cm}^2$  behelyettesítésével

$$Q_0 = 4,2211 \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{\lambda T s L}} d^5. \quad (93)$$

Az erdélyi földgáz levegőre vonatkoztatott fajsúlya  $s = 0,56$ , közepes áramlási hőmérséklete  $9^\circ C$ ,  $T = 282^\circ$ , ezek behelyettesítésével

$$Q_0 = 0,3359 \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{\lambda L}} \cdot d^5. \quad (94)$$

Az ellenállási együtthatót a (77) egyenletből fenti egyenletcsoportra betéve, kapjuk a *varratnélküli acélcsővekből készült vezetékre*, az állandó ellenállási együttható szakaszában :

$$\left. \begin{aligned} V_0 &= \frac{\pi}{2} \frac{T_0}{P_0} (4,67 + \log D) D^{5/2} \sqrt{B_1 g} \cdot \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{T s l}} \\ V_0 &= 26,606 \frac{T_0}{P_0} (4,67 + \log D) D^{5/2} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{T s l}} \\ Q_0 &= 0,0303 \frac{T_0}{P_0} (2,67 + \log d) d^{5/2} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{T s L}} \\ Q_0 &= 8,4422 (2,67 + \log d) d^{5/2} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{T s L}} \end{aligned} \right\} \quad (95)$$

+9 C° áramló gázhőmérséklet mellett, erdélyi földgázra ( $s = 0,56$ )

$$\left. \begin{aligned} Q_0 &= 0,6718 (2,67 + \log d) d^{5/2} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{L}} \\ \text{dunántúli földgázra } (s = 0,65) \\ Q_0 &= 0,6235 (2,67 + \log d) d^{5/2} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{L}} \end{aligned} \right\} \quad (96)$$

Ha más,  $s$  levegőre vonatkoztatott faj súlyú gázra és  $t$  C° áramlási hőmérsékletre akarjuk alkalmazni, az erdélyi földgázra vonatkozó fenti egyenlet javító tényezője

$$\sqrt{\frac{0,56}{s} \cdot \frac{282}{273 + t}}$$

A (95) egyenletcsoport az áramlásnak arra a szakaszára vonatkozik, amelyben a négyzetes sebességtörvény érvényes. Ha az áramlás a sima cső szakaszára esik, az erre érvényes ellenállási együtthatót az (47) egyenlethől kell betennünk a (94) egyenletbe és ha  $Re$  helyett még a (8) egyenlethől  $Q_0$ -t hozzuk be, a sima csőszakaszra az áramlási egyenlet lesz

$$Q_0 = 0,672 \left[ 2,96 + \log \left( \frac{Q_0 \sqrt{\lambda_0}}{d} \right) \right] d^{5/2} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{L}} \quad (97)$$

Ez az egyenlet  $Q_0$ -re implicit, megoldása csak megközelítő eljárással lehetséges vagy, mint lejjebb látni fogjuk, grafikusan.

Fontos még annak a meghatározása, hogy a sima cső szakaszában, az átmeneti szakaszban, vagy a négyzetes sebességtörvény szakaszában folyik-e le az áramlás? A számítás egyszerűsége miatt lemondunk arról, hogy az átmeneti szakaszban kisebb ellenállási tényezővel számoljunk és erre a szakaszra is az állandó ellenállási tényezőt vesszük. Ezt az alábbi megfontolások alapján megtehetjük. *Nikuradse* kísérleteit mesterségesen egyenletesen érdessé tett csöveken végezte és ezeknél kapta a sima csőszakasz és az állandó ellenállási együttható

szakasza közötti, inflexiós ponttal bíró átmeneti görbét. *Colebrook* és *White*, valamint *Bauer* és *Galavics* kereskedelmi érdekességű csöveken végzett kísérletei ezt a görbét nem tudták megállapítani, szerintük itt egy egyenletes, lassú átmenettel bíró görbe kapcsolja össze a két szakasz ellenállási együtthatóját fel-tüntető vonalakat. Az átmeneti szakaszban az ellenállási görbe alakja tehát kereskedelmi érdekességű csöveknél legalábbis bizonytalan, azonban minden esetben kisebb ellenállási együtthatót ad, mint az állandó ellenállási együttható szakaszában: észszerű tehát, már biztonsági megfontolásból is, hogy az átmeneti szakaszban a nagyobb ellenállási együtthatót vegyük, az átmeneti szakasz bizonytalan változó együtthatója helyett. *Nikuradse* szerint az átmeneti szakasz legkisebb ellenállási együtthatója

$$\lambda_{\min} = \frac{1}{\left(2,14 + 2 \log \frac{r}{k}\right)^2},$$

ennek viszonya az állandó ellenállási tényezőhöz

$$\frac{\lambda_I}{\lambda_{\min}} = \left(\frac{2,214 + 2 \log \frac{r}{k}}{1,74 + 2 \log \frac{r}{k}}\right)^2 = \left(\frac{1,07 + \log \frac{r}{k}}{0,87 + \log \frac{r}{k}}\right)^2.$$

Behelyettesítve:  $k = 0,08 \text{ mm}$  és  $\log \frac{r}{k} = 1,796 + \log d$

$$\frac{\lambda_I}{\lambda_{\min}} = \left(\frac{2,87 + \log d}{2,67 + \log d}\right)^2,$$

amely egyenlet a

$$d = \quad 5 \quad 10 \quad 25 \quad 50 \quad 100 \text{ cm átmérőjű csövekre}$$

$$\frac{\lambda_I}{\lambda_{\min}} = 1,122 \quad 1,112 \quad 1,10 \quad 1,094 \quad 1,087 \text{ értéket ad.}$$

Az átmeneti szakaszban tehát erre a szakaszra érvényes ellenállási tényező és az állandó ellenállási tényező közötti maximális eltérés a kisebb átmérőjű csöveknél  $11 \sim 12\%$ , a nagyobb átmérőjűeknél  $9 \sim 10\%$ . Mivel az ellenállási tényező négyzetgyök alatt van, az elkövetett maximális hiba  $4,5 \sim 6\%$ . Az átmeneti szakasz többi pontján a hiba természetesen kisebb. Gyakorlati számításoknál kivétel nélkül számolnunk kell egy biztonsági tényezővel, másrészt a szállított gázmennyiségnek a fogyasztáshoz való alkalmazkodása miatt az áramlás amúgy is eltolódik erről a minimális pontról, így tehát ebből a szempontból is ajánlatos, hogy az átmeneti szakaszt az állandó ellenállási tényezővel hidaljuk át.

Ennélfogva az a határpont, amelyen alul a sima cső ellenállási együtthatója és amelyen felül az állandó ellenállási együttható érvényes, a sima cső ellenállási

görbájének metszéspontja lesz az állandó ellenállási együtthatót ábrázoló egyenessel. A két egyenletből

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_0}} = 2 \log (Re_h \sqrt{\lambda_0}) - 0,8 = \frac{1}{\sqrt{\lambda_1}} = 1,74 + 2 \log \frac{r}{k},$$

összevonva a logaritmosus tagokat és a metszéspontban  $\lambda_0 = \lambda_1$

$$\log \left( \frac{Re_h}{\left(1,74 + 2 \log \frac{r}{k}\right) \frac{r}{k}} \right) = 0,87 + 0,4 = 1,27,$$

amiből a *határ Reynolds-szám*

$$Re_h = 10^{1,27} \left(1,74 + 2 \log \frac{r}{k}\right) \frac{r}{k} = 37,242 \left(0,87 + \log \frac{r}{k}\right) \frac{r}{k}. \quad (98)$$

Varratnélküli, húzott acélcső-vezetékekre  $k = 0,08$  mm

$$Re_h = 37,242 (0,87 + \log 62,5 + \log d) 62,5 d$$

az állandókat kikerekítve

$$Re_h = 2330 (2,67 + \log d) d \quad (99)$$

Az előző fejezetben kifejtettek szerint célszerű az igen ritkán ismert Reynolds-szám helyett a csaknem mindig megadott gázáram-erősséget venni összehasonlítási alapul s azt vizsgálni, hogy ez a (80) egyenletekben megadott határ-gázáramerősségnél, a megfelelő csőátmérőre vonatkoztatva, kisebb-e vagy nagyobb? A 15. ábrán ez a határ-áramerősség két görbével van jelölve és a tényleges gázáramerősség ismeretében rátekintéssel megállapíthatjuk, hogy az áramlás a sima cső szakaszába, vagy az érdes cső szakaszába esik-e?

Természetesen a viszonyok legegyszerűbbek az állandó ellenállási együttható szakaszában, a határ Re-szám fölött. A (95—96) egyenletcsoportban a vezetékre vonatkozó elemek az áramlásra vonatkozó elemektől elkülöníthetők és az egyenlet két részre bontható fel. Az

$$\varepsilon_1 = 0,672 (2,67 + \log d) d^{5,2} \frac{1}{\sqrt{L}} \quad (100)$$

tényezőt a csővezeték *vezetőképességének* és a

$$\Pi = \sqrt{P_1^2 - P_2^2} \quad (101)$$

kifejezést a *feszültségi tényezőnek* nevezzük és ezzel az áramlási egyenlet

$$Q_0 = \varepsilon_1 \sqrt{P_1^2 - P_2^2} \quad (102)$$

alakra egyszerűsül.

A kereskedelmi, varratnélküli acélcsővekből hegesztéssel vagy gumi-gyűrűs-karmantyús csőkötésekkel kapcsolt csővezetékek vezetőképességeit  $2,5 \sim 100 \text{ cm}$  belső átmérőjű és  $10 \text{ m} \sim 10\,000 \text{ km}$  hosszú vezetékekre diagrammba foglalhatjuk össze (15. ábra). A diagramm használata igen egyszerű. Az abszcisszán leolvassuk az átmérőt, az ennek megfelelő ordináta és a vezeték hosszát feltüntető görbe metszéspontját kikeresve, a baloldali beosztáson leolvassuk a vezetőképességet. Pl.:

$$d = 25 \text{ cm}; \quad L = 50 \text{ km}; \quad \varepsilon_I = 1210.$$

Annak a megvizsgálására, hogy az áramlás a sima csőre érvényes ellenállási együttható, vagy az állandó ellenállási együttható szakaszába esik-e, a diagrammban két  $Q_{0h}$  határgörbe van, amelyeknek  $m^3/\text{óra}$  beosztása az  $\varepsilon$  beosztással azonos. A görbék a diagrammot két részre osztják: az a mező, mely a nagyobb vezetőképességeket tartalmazza, a négyzetes sebességtörvény területe, míg a kisebb vezetőképességeket tartalmazó mező a sima cső érvényességi területe. Ha a vezeték átmérőjének és az óránként átáramló normál állapotban mért gázáram-erősségnek megfelelő koordináták metszéspontja, röviden a  $d - Q_0$  pont a  $Q_{0h}$  határgörbétől *balra* esik, a  $\lambda_I$  állandó ellenállási együtthatóval kell számolnunk, tehát a  $d - L$  vonalak metszéspontjának megfelelő  $\varepsilon_I$  vezetőképesség a helyes. Ha a  $d - Q_0$  pont a  $Q_{0h}$  határgörbétől *jobbra* esik, a sima cső  $\lambda_0$  ellenállási együtthatóját kell vennünk, és az  $\varepsilon_I$  vezetőképességet helyesbiteni kell. Ha a  $Q_0 - d$  pont a két határgörbe közé esne, a gáz fajsúlya és nyúlósága alapján a két görbe között megbecsüljük az erre a gázra vonatkozó határpontot és a sima, illetve érdes csőszakasz mezejét erre a pontra vonatkoztatjuk.

A diagrammban az  $L =$  állandó görbéken kívül fel vannak tüntetve még a  $\lambda_0 =$  állandó egyenesek is, amelyek a baloldali beosztáson leolvasott  $Q_0$  és az abszcisszán leolvasott  $d$  értékekre a *sima csővezeték ellenállási együtthatóját* adják. A diagramm felső részén pedig egy görbe a  $\lambda_I$  *állandó ellenállási együtthatót* adja meg minden átmérőre  $2,5 \sim 100 \text{ cm}$  között. Így egyetlen diagrammban a számításához szükséges minden adat össze van foglalva. Pl.: legyen a fenti vezeték kezdőnyomása  $P_1 = 15 \text{ ata}$ , végnyomása  $P_2 = 4 \text{ ata}$  az óránként leszállított gáztérfogat normál állapotban

$$Q_0 = 1210 \sqrt{15^2 - 4^2} = 1210 \cdot 14,8 = 17\,500 \text{ m}^3/\text{óra}.$$

Ennek az áramláserősségnek és a  $d = 25 \text{ cm}$  átmérőnek megfelelő koordináták metszéspontja a  $Q_{0h}$  határvonaltól *balra* esik, az állandó ellenállási együttható érvényes, számításunk helyes.

Ha a  $Q_0 - d$  metszéspont a  $Q_{0h}$  határvonaltól *jobbra* esik, az  $\varepsilon_I$  vezetőképességet helyesbitenünk kell. A vezeték átmérőjének megfelelő  $\lambda$  ellenállási tényezőt a megfelelő görbén, a  $d - L$  vonalak metszéspontjának megfelelő  $\varepsilon_I$  vezetőképességet a baloldali beosztáson és a  $Q_0$  áramlás-erősségnek és  $d$  átmérőnek meg-

felelő  $\lambda_0$  sima csőre érvényes ellenállási tényezőt a  $\lambda_0 =$  állandó egyeneseken leolvassuk, vagy ha két ily egyenes közé esik, megbecsüljük, és a vezetőképességet az alábbi egyenlet szerint helyesbítjük :

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_1 \sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_0}} \quad (103)$$

Pl.:  $Q_0 = 300 \text{ m}^3/\text{óra}$  ;  $L = 50 \text{ km}$ ,  $d = 25 \text{ cm}$ . A  $Q_0 - d$  pont a határvonaltól jobbra esik, a sima cső ellenállási tényezőjével kell számolnunk. A diagrammból leolvassuk

$$\lambda_0 = 0,0241 ; \quad \lambda_1 = 0,0151 ; \quad \varepsilon_1 = 1210$$

tehát a helyesbített vezetőképesség

$$\varepsilon_0 = 1210 \sqrt{\frac{0,0151}{0,0241}} = 958.$$

A diagrammal az összes előadódó vezetési problémák gyorsan és biztosan megoldhatók. A következő kérdések adódhatnak elő :

1. keressük a kezdőnyomást,  $P_1$ -t,
2. keressük a végnyomást,  $P_2$ -t,
3. keressük a gázáram erősségét,  $Q_0$ -t,
4. keressük a vezeték átmérőjét,  $d$ -t.

A következő számbeli példák mindezen esetekre megmutatják a diagramm használatát és pedig úgy az állandó ellenállási együttható szakaszában, mint a sima cső szakaszában.

1.  $Q_0 = 15000 \text{ m}^3/\text{óra}$  ;  $s = 0,65$  ;  $\mu = 900 \cdot 10^{-7} \text{ Poise}$  ;  $d = 20 \text{ cm}$  ;  $L = 39 \text{ km}$  ;  
 $P_2 = 4 \text{ ata}$ . keresendő  $P_1$ .

A  $Q_0 - d$  pont a  $Q_{0h}$  határvonal fölé esik, az állandó ellenállási együttható,  $\lambda_1$  érvényes. A  $d - L$  vonalak metszéspontjában :  $\varepsilon_1 = 700$ , ezzel

$$15\,000 = 700 \sqrt{P_1^2 - 16}$$

$$P_1 = \sqrt{\left(\frac{15000}{700}\right)^2 - 16} = 21,8 \text{ ata.}$$

A  $Q_0 = 15000 \text{ m}^3/\text{óra}$  értéket kivetítve a *Red* mércére, ezt  $Red = 4,7 \cdot 10^7$  pontban metszi, ebből

$$Re = \frac{47}{20} \cdot 10^6 = 2,350,000.$$

1. a)  $Q_0 = 1000 \text{ m}^3/\text{óra}$  ;  $s = 0,65$  ;  $\mu = 900 \cdot 10^{-7} \text{ Poise}$  ;  $d = 20 \text{ cm}$ ,  $L = 39 \text{ km}$  ;  
 $P_2 = 4 \text{ ata}$  keresendő  $P_1$ .

A  $Q_0 - d$  pont a  $Q_{0h}$  határvonal alá esik, ezért a sima cső ellenállási együtthatójával kell számolni. A grafikonból

$$\varepsilon_1 = 700 ; \quad \lambda_1 = 0,0159 \text{ (az állandó ellenállási együttható görbésjén)}$$

$$\lambda_0 = 0,0163 ; \text{ (a } Q_0 - d \text{ pontban leolvasott } \lambda_0).$$



A sima cső vezetőképessége

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_1 \sqrt{\frac{\lambda_1}{\lambda_0}} = 700 \sqrt{\frac{0,0159}{0,0163}} = 692.$$

Ezzel:

$$P_1 = \sqrt{\left(\frac{1000}{692}\right)^2 + 16} = 4,25 \text{ ata.}$$

2.  $Q_0 = 50000 \text{ m}^3/\text{óra}$ ;  $s = 0,65$ ;  $\mu = 900 \cdot 10^{-7} \text{ Poise}$ ;  $d = 30 \text{ cm}$ ;  $P_1 = 35 \text{ ata}$ ,  $L = 78 \text{ km}$ ; keresendő  $P_2$

A  $Q_0-d$  pont a  $Q_{0h}$  határvonal fölé esik,  $\lambda_1$  surlódási együttható érvényes. A  $d-L$  vonalak metszéspontjában

$$\varepsilon = 1440$$

ezzel

$$50000 = 1440 \sqrt{35^2 - P_2^2}$$

és

$$P_2 = \sqrt{35^2 - \left(\frac{50000}{1440}\right)^2} = 4,36 \text{ ata.}$$

A  $Q_0 = 50\,000$  kivetítésével az *Red* mércére

$$\text{Red} = 1,57 \cdot 10^8,$$

ebből

$$\text{Re} = \frac{157}{30} \cdot 10^6 = 5\,233\,000.$$

2. a) Ha  $Q_0-d$  pont a  $Q_{0h}$  vonal alá esik, az áramlás a sima csőszakaszba esik és a vezetőképességet ép úgy kell korrigálni a  $\sqrt{\lambda_1/\lambda_0}$  értékkel, mint az 1. a) esetben. A számítás menete különben ugyanaz, mint a 2. esetben.

3.  $L = 10 \text{ km}$ ;  $d = 15 \text{ cm}$ ;  $P_1 = 10 \text{ ata}$ ;  $P_2 = 3 \text{ ata}$ ;  $s = 0,65$ ,  $\mu = 900 \cdot 10^{-7} \text{ Poise}$  keresendő  $Q_0$ . A  $d-L$  pontban  $\varepsilon = 665$ , ezzel

$$Q_0 = 665 \sqrt{10^2 - 3^2} = 6344 \text{ m}^3/\text{óra.}$$

Ennek a *Red* mércén megfelel:  $\text{Red} = 1,99 \cdot 10^7$ , ebből

$$\text{Re} = \frac{19,9}{15} \cdot 10^6 = 1\,327\,000.$$

3. a)  $L = 10 \text{ km}$ ;  $d = 15 \text{ cm}$ ;  $P_1 = 1,5 \text{ ata}$ ;  $P_2 = 1,3 \text{ ata}$ ;  $\Pi = \sqrt{P_1^2 - P_2^2} = 0,7483$ ; a gáz:  $s = 0,65$ ;  $\mu = 900 \cdot 10^{-7} \text{ Poise}$ ; keresendő  $Q_0$ .

A grafikonból:  $\varepsilon = 660$ , s ezzel lenne:  $Q_0 = 660 \cdot 0,7483 = 494 \text{ m}^3/\text{óra}$ . A  $Q_0-d$  pont azonban a  $Q_{0h}$  határvonal alá esik, így a sima csőszakasszal számolunk. A grafikonból továbbá:  $\lambda_1 = 0,0169$ ;  $\lambda_0 = 0,0178$ ; a javított vezetőképesség:

$$\varepsilon_0' = 660 \sqrt{\frac{0,0169}{0,0178}} = 643; \quad Q_0' = 643 \cdot 0,7483 = 481 \text{ m}^3/\text{óra.}$$

Második megközelítéssel:  $\lambda_0'' = 0,01798$ , ezzel a javított vezetőképesség:

$$\varepsilon'' = 660 \sqrt{\frac{0,0169}{0,01798}} = 640$$

és

$$Q_0'' = 640 \cdot 0,7483 = 479 \text{ m}^3/\text{óra.}$$

A második megközelítés alig különbözik az előbbi eredményétől, s így azt végeredménynek vehetjük.

A feladat számszerű megoldása hosszadalmas. A közepes áramlási sebesség helyett  $V_0$  behelyettesítésével:

$$Re = \frac{40}{\pi} \cdot \frac{p_0}{T_0} \cdot \frac{s}{\mu} \cdot \frac{V_0}{B_l D}$$

és a (90) egyenletből  $V_0$  behelyettesítésével

$$Re = \frac{10}{\mu} \sqrt{\frac{g}{B_l} \cdot \frac{(P_1^2 - P_2^2)s}{\lambda_0 TL}} \cdot D^3$$

$$Re \sqrt{\lambda_0} = \frac{10}{\mu} \sqrt{\frac{g(P_1^2 - P_2^2)s D^3}{B_l TL}} = \frac{1}{\mu} \sqrt{\frac{10 g (P_1^2 - P_2^2)s \cdot d^3}{B_l TL}}$$

Ezt az (59) egyenletbe téve:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_0}} = 2 \log \left( \frac{1}{\mu} \sqrt{\frac{10 g (P_1^2 - P_2^2)s d^3}{B_l TL}} \right) - 0,8$$

A számértékek behelyettesítésével

$$Re \sqrt{\lambda_0} = \frac{1,8309}{900 \cdot 10^{-7}} \cdot \frac{0,7483 \sqrt{0,65 \cdot 15^3}}{\sqrt{282 \cdot 10}} = 13\,426,6$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_0}} = 2 \log 13\,426,6 - 0,8 = 7,4559$$

ebből

$$\lambda_0 = 0,01799$$

és végül a (94) egyenletből, annak állandó együtthatóját  $s = 0,65$  fajsúlyra korrigálva

$$Q_0 = 0,3118 \cdot 7,4559 \cdot 0,7483 \sqrt{\frac{15^5}{10}} = 479 \text{ m}^3/\text{óra}$$

egyeznek a grafikonból egyszerűbb úton kapott eredménnyel.

4.  $Q_0 = 30\,000 \text{ m}^3/\text{óra}$ ;  $L = 100 \text{ km}$ ;  $P_1 = 30 \text{ ata}$ ;  $P_2 = 5 \text{ ata}$ ; a gáz:  $s = 0,65$ ;  $\mu = 900 \cdot 10^{-7} \text{ Poise}$ , keresendő  $d$ .

A (102) egyenletből

$$30\,000 = \varepsilon \sqrt{30^2 - 5^2} = 29,58 \varepsilon$$

$$\varepsilon = 1014$$

A diagrammban az  $\varepsilon = 1014$  vízszintes metszéspontját az  $L = 100 \text{ km}$  görbével felkeressük és függőlegesen levetítve, kapjuk a keresett átmérőt

$$d = 27,5 \text{ cm}$$

Gyakorlatban a legközelebbi nagyobb szabványátmérőjű csövet választjuk. Ellenőrizzük még, hogy a  $Q_0 - d$  pont az állandó ellenállási együttható terebére esik.

4. a)  $Q_0 = 300 \text{ m}^3/\text{óra}$ , a gáz:  $s = 0,65$ ;  $\mu = 900 \cdot 10^{-7} \text{ Poise}$ ,  $P_1 = 1,3 \text{ ata}$ ,  $P_2 = 1,277 \text{ ata}$ ;  
 $II = \sqrt{P_1^2 - P_2^2} = 0,2435$ ;  $L = 50 \text{ km}$ , keresendő:  $d$ .

Az állandó ellenállási együttható szakaszában lenne:

$$\varepsilon = \frac{300}{0,2435} = 1232$$

a grafikonban pedig ennek a vezetőképességnek és az  $L=50$  km vezetékhoznak

$$d' = 26 \text{ cm}$$

átmérő felelne meg. A  $Q_0-d$  pont azonban a sima csőszakaszba esik, így fenti eredményt helyesbíteni kell. A grafikonból:

$$\lambda'_1 = 0,015 \qquad \lambda'_0 = 0,0225$$

$$\varepsilon' = \varepsilon \sqrt{\frac{\lambda'_0}{\lambda'_1}} = 1232 \sqrt{\frac{0,0225}{0,015}} = 1510$$

Ezzel a helyesbített átmérő

$$d'' = 28 \text{ cm.}$$

Második megközelítéssel

$$\lambda''_0 = 0,02295 \qquad \lambda''_1 = 0,0144$$

$$\varepsilon'' = 1232 \sqrt{\frac{0,02295}{0,0144}} = 1555$$

$$d''' = 28,3 \text{ cm.}$$

További megközelítés fölösleges, mert amúgyis a legközelebbi nagyobb szabványos átmérőt kell venni.

Összehasonlítás végett határozzuk meg a csőátmérőt számítással is, ami az ellenállási együttható egyenletének implicit volta miatt szintén csak megközelítő eljárással határozható meg. A négy alapegyenlet és derivációi:

$$\text{I. } Re = \frac{D\bar{u}}{\nu} = \frac{d\bar{u}}{100\nu}; \quad \nu = \frac{\mu}{10\gamma}; \quad \gamma_g = s\gamma_l = s \frac{10^4 P}{B_l T}$$

Tekintettel a kis nyomásesésre, nagy megközelítéssel, az egyszerűség kedvéért  $P = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)$  középértékkel számoltunk.

$$Re = \frac{10^3 \bar{u} d s P}{\mu B_l T}$$

$$\text{II. } Q_0 = 3600 \frac{D^2 \pi}{4} \bar{u} = 0,36 \frac{\pi}{4} d^2 \bar{u}; \quad \bar{u} = \frac{4}{0,36 \pi} \cdot \frac{Q_0}{d^2} \cdot \frac{Re \mu B_l T}{10^3 d s P}$$

ebből

$$d = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{10^3}{0,36} \cdot \frac{Q_0}{Re} \cdot \frac{s P}{\mu B_l T}$$

$$\text{III. } Q_0 = 3600 \frac{\pi T_0}{4 P_0} \sqrt{B_l g} \cdot \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{\lambda_0 s T L}} \cdot \frac{d^5}{10^{13}}$$

ebből a II. egyenlet behelyettesítésével:

$$\sqrt{\lambda_0} = \frac{3600}{\sqrt{10^3}} \frac{\pi}{4} \frac{T_0}{P_0} \sqrt{B_l g} \cdot \frac{1}{Q_0} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{s T L}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\pi}{4}\right)^5 \cdot \frac{10^{15}}{0,36^5} \frac{Q_0^5}{Re^5} \cdot \frac{s^5 P^5}{\mu^5 B_l^5 T^5}}$$

A  $P = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)$  visszahelyettesítésével

$$\sqrt{P^5(P_1^2 - P_2^2)} = \sqrt{\frac{1}{2^5} (P_1 + P_2)^5 (P_1 + P_2) (P_1 - P_2)} = (P_1 + P_2)^3 \sqrt{\frac{1}{2^5} (P_1 - P_2)}$$

és

$$\sqrt{\lambda_0} = \frac{10^5}{\sqrt{2^5 \cdot 0 \cdot 36^3}} \sqrt{\left(\frac{4}{\pi}\right)^3} \cdot \frac{T_0}{P_0} \sqrt{g} \cdot \frac{1}{B_l^2} \frac{s^2 (P_1 + P_2)^3 \sqrt{(P_1 - P_2) Q_0^3}}{\sqrt{L} \cdot T^3 \sqrt{\mu^5 Re^5}}$$

$$\text{IV. } \frac{1}{\sqrt{\lambda_0}} = 2 \log (Re \sqrt{\lambda_0}) - 0,8 = 2 \log Re + 2 \log \sqrt{\lambda_0} - 0,8.$$

Az egyszerűség kedvéért vezessük be a következő jelzéseket:

$$A = \frac{s^2 \sqrt{Q_0^3} (P_1 + P_2)^3 \sqrt{P_1 - P_2}}{\sqrt{L} \cdot T^3 \sqrt{\mu^5}}$$

és

$$C = \frac{10^5}{\sqrt{2^5 \cdot 0 \cdot 36^3}} \sqrt{\left(\frac{4}{\pi}\right)^3} \cdot \frac{\sqrt{g}}{B_l^2} \cdot \frac{T_0}{P_0} = 430,2 \frac{T_0}{P_0}$$

vagy, ha  $T_0 = 288^\circ$ ;  $P_0 = 1,0333 \text{ ata}$ :

$$C = 119\,990$$

Az  $A$  kiszámítására is adva van minden adat:  $+9^\circ \text{ C}^\circ$  áramlási hőmérséklettel

$$A = 245,2 (P_1 + P_2)^3 \sqrt{\frac{Q_0^3 (P_1 - P_2)}{L}} = 467,614.$$

Ezekkel a jelölésekkel

$$\sqrt{\lambda_0} = \frac{CA}{\sqrt{Re^5}}$$

és

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_0}} = \frac{\sqrt{Re^5}}{CA} = 2 \log Re + 2 \log \left( \frac{AC}{\sqrt{Re^5}} \right) - 0,8$$

ebből az egyenletből  $Re$  ismeretlen kiszámítható. A számértékek behelyettesítésével:

$$\frac{\sqrt{Re^5}}{5,607 \cdot 10^{10}} + 3 \log Re = 20,7$$

Az egyenletet próbálgatással oldhatjuk meg, és  $Re = 42440$  értékkel

$$\frac{\sqrt{42440^5}}{5,607 \cdot 10^{10}} + 3 \log 42\,440 = 20,5$$

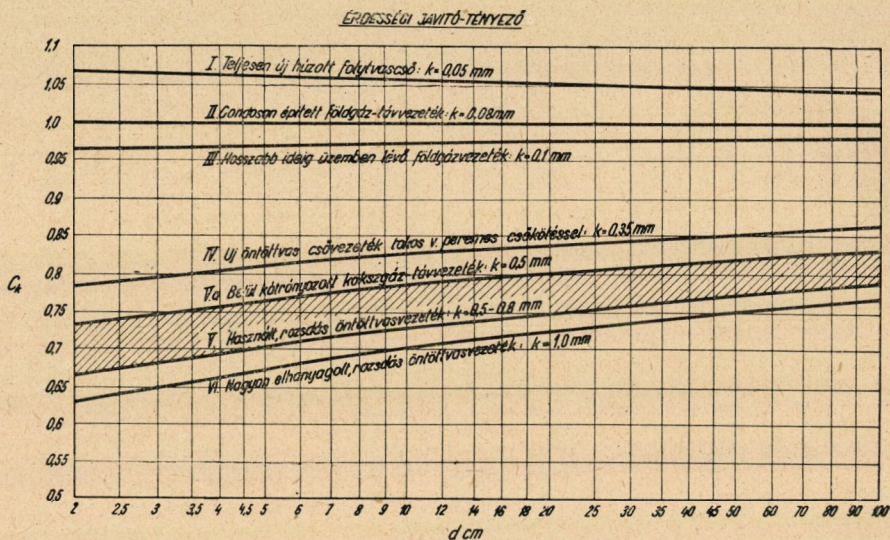
megközelíti a fenti eredményt. Ezzel a II. egyenletből:

$$d = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{10^3}{0,36} \cdot \frac{Q_0}{Re} \cdot \frac{sP}{B_l T \mu} = 60,4453 \frac{s}{T \mu} \cdot \frac{Q_0}{Re} (P_1 + P_2)$$

$$d = 60,4453 \frac{0,65 \cdot 10^7}{282,900} \cdot \frac{300}{42440} \cdot 2,577 = 28,2 \text{ cm}$$

egyezik a diagrammból kapott eredménnyel.

A fenti példák is illusztrálják, hogy a nagy szállítóvezetékben az áramlás csaknem kivétel nélkül az állandó ellenállási együttható érvényességi területére esik, csak kivételesen kis nyomásesés mellett kerülhet a határ-*Reynolds*-szám alá. Egyben ezek a példák jellemzik azokat a számítási nehézségeket, amelyek különösen a sima csőszakaszban való áramlásnál mutatkoznak, az ellenállási együttható és *Reynolds*-szám logaritmikus, implicit egyenlete következtében. A diagramm minden esetben gyors és megbízható eredményt ad.



16. ábra

A grafikon természetesen más gázok és más viszonyok között is használható, mint amelyre szerkesztve van, s ilyen esetben megfelelő javítótényezőt kell alkalmazni. A javítótényezővel a vezetőképességet szorozni kell, hogy az új állapotnak megfelelő vezetőképességet megkapjuk.

A normálállapot javító tényezője:

$$C_n = \frac{1,0333}{P_0} \cdot \frac{T_0}{288}, \quad (104)$$

ahol  $P_0$  az új normálállapotnak megfelelő abszolút nyomás *ata*,  $T_0$  az abszolút hőmérséklet.

Az s relatív fajsúlyú gáz javítótényezője

$$C_s = \sqrt{\frac{0,65}{s}}. \quad (105)$$

A  $T$  abszolút hőfokú áramló gáz javítótényezője :

$$C_T = \sqrt{\frac{282}{T}} \quad (106)$$

és ha a cső belső felületének érdességi száma  $k$  mm, a javítótényező

$$C_k = \frac{1,569 + \log \left( \frac{d}{k} \right)}{2,666 + \log d} \quad (107)$$

A 16. ábra olyan diagrammot tüntet fel, amelyből a különböző érdességű csövek javítótényezője egyszerűen leolvasható.

Végre, ha a gáz relatív fajsúlya  $s$ , abszolút viszkozitása  $\mu$ , a Reynolds-szám javítótényezője

$$C_\mu = \frac{s}{0,65} \cdot \frac{900 \cdot 10^{-7}}{\mu} \quad (108)$$

Az alábbi példa a javítótényezők alkalmazását kívánja bemutatni :

Belül kátrányozott öntöttvas csővezeték széngázt szállít, melynek levegőre vonatkoztatott fajsúlya  $s=0,5$ , nyúlóssága  $\mu=1200 \cdot 10^{-7}$  Poise. A vezeték hossza  $L=5$  km. átmérője  $d=10$  cm kezdőnyomása  $P_1=8$  ata, végnyomása  $P_2=3$  ata, az áramló gáz hőmérséklete  $t=25$  °C keresendő  $Q_0$ .

A grafikomból  $d=10$  cm és  $L=5$  km-nél  $\epsilon=330$ .

Kátrányozott öntöttvas csőre,  $k=0,5$  mm a 16. ábrából  $C_k=0,7825$ , és az össz javító tényező :

$$C_\delta = 0,7825 \sqrt{\frac{0,65}{0,5} \cdot \frac{282}{298}} = 0,8684$$

ezzel

$$\epsilon = 300 \cdot 0,8684 = 286,6$$

$$Q_0 = 286,6 \sqrt{8^2 - 3^2} = 2125 \text{ m}^3/\text{óra.}$$

A  $Q_0-d$  pont a  $Q_{0h}$  határvonal fölé esik, tehát az állandó ellenállási együttható érvényes. A  $Q_0=2125$  m<sup>3</sup>/óra kivetítése az  $Re_d$  mércét  $6,7 \cdot 10^6$  pontnál metszi. Ebből

$$Re = \frac{6,7}{10} \cdot 10^6 = 670\,000$$

és javítással

$$Re = 670\,000 \cdot \frac{0,5}{0,65} \cdot \frac{900}{1200} = 387\,000.$$

## VII. Az igen nagy nyomású földgázvezetékek méretezése

A két világháború közötti békeévekben a földgáz- és kokszzgáz-szállítás problémái mindjobban kiszélesedtek. Európában a nagy kokszolók felesleges gázainak értékesítése, a Szovjetunióban és Amerikában feltárt nagy olaj- és gázmezők arra ösztönözték a szakköröket, hogy ezeknek minél szélesebb körben



keressenek értékesítési lehetőséget. Ezeknek a hatalmas földgázmezőknek értékesítése céljából épült a Szovjetunióban a nagy moszkvai földgázvezeték, Lengyelországban és Romániában több, nagynyomású földgázvezeték. A közép- és északnyugati louisianai nagy gázmezők levezetőjeként épült 1926-ban a 780 km hosszú monroe—neworleansi vezeték, melynek üzemnyomása 25 at. A Texas-Panhandle gázdóm megcsapolására épült 1931-ben az Amarillo (Tex)—Indianapolis (Ind)—Madisonville (Ky) közötti 1760 km hosszú vezeték 32 at legnagyobb üzemnyomással és ugyanebben az évben helyeztek üzembe a Panhandle mezőből még két nagy földgázvezetékét: Amarillo és Chicago városok között 1600 km hosszban, 43 at üzemnyomással és Amarillo—Minneapolis—Omaha (Minn) között 1520 km hosszban, 32 at üzemnyomással. Az 1936. évben épült Detroit (Mich.) városi vezeték üzemnyomását már 50 at-ig növelték, míg 1938-ban épült közép West-Virginiában egy 150 km hosszú, egész hosszában villamos hegesztéssel kapcsolt kísérleti vezeték, amelynek üzemnyomása 70 at. Ilyen nagy kompresszióknál a gázt már gondosan vízteleníteni kell és a hidrátok képződését meg kell akadályozni, nehogy a kompresszorokban és a vezetékben esetleg lecsapódó folyadék üzemzavart okozzon.

Nagy nyomásnál a vezeték teljesítőképessége nemcsak az elérhető nagyobb sebesség következtében növekszik, hanem azért is, mert ily nagy nyomással a földgáz már érezhetően jobban összenyomható, mint az az ideális gázokra érvényes gáztörvényből adódik. Ideális gázoknál állandó hőmérsékleten

$$p_1 v_1 = p_0 v_0 = \text{állandó}$$

vagyis

$$\frac{p_0 v_0}{p_1 v_1} = 1.$$

A valóságos gázok legtöbbje jobban összenyomható, így a fenti hányados az egységénél nagyobb lesz

$$\frac{p_0 v_0}{p_1 v_1} = 1 + n, \quad (109)$$

hol  $n$  az összenyomhatóság jellemzője, amelyet százalékban szokás megadni. Egyes szerzők a  $p_1 v_1 / p_0 v_0 = Z$  arányszámmal jelzik az összenyomhatóságot [46] és [47], amely a legtöbb gáznál az egységénél kisebb

$$Z = \frac{p_1 v_1}{p_0 v_0} = \frac{p_1 \gamma_0}{p_0 \gamma_1} = \frac{1}{1 + n}. \quad (110)$$

A kísérletek azt mutatják, hogy bizonyos határig az összenyomhatóság megközelítőleg arányos a gáz túlnyomásával. Metángáznál és oly földgázoknál, amelyekből a könnyen cseppfolyósítható részeket, propánt, butánt, pentánt leválasztották, ez a határ 100 at körül van, amely ma a földgáz szállításánál előforduló felsőhatárnak tekinthető.

Jelöljük a gáz tényleges fajsúlyát  $\gamma_1$ -el, azt a fajsúlyt, amelyet az ideális gázokra vonatkozó gáztörvény adna,  $\gamma_{id}$ -al, úgy izotermikus áramlásra

$$\frac{P_0}{\gamma_0} = \frac{P_1}{\gamma_{id}} \quad \text{és} \quad \gamma_0 = \frac{P_0}{P_1} \cdot \gamma_{id}, \quad (111)$$

a (110) egyenlettel pedig

$$Z = \frac{P_1}{P_0} \frac{\gamma_0}{\gamma_1} = \frac{P_1}{P_0} \cdot \frac{P_0}{P_1} \cdot \frac{\gamma_{id}}{\gamma_1} = \frac{\gamma_{id}}{\gamma_1}.$$

Legyen továbbá  $p$  a gáz abszolút nyomása,  $p_0$  pedig az atmoszférikus nyomás, akkor feltételünk szerint az összenyomhatóság bizonyos határig arányos a gáz túlnyomásával

$$n = \frac{p - p_0}{k'}, \quad (112)$$

ahol  $k'$  most már a jelzett határig állandónak vehető összenyomhatósági tényező és ezzel a fajsúlyok viszonya

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_{id}} = \frac{1}{Z} = 1 + n = 1 + \frac{p - p_0}{k'} = \frac{k' - p_0 + p}{k'}. \quad (113)$$

A normálállapotot jelző  $p_0$  nyomást rendszeresen úgy választják, hogy az igen közel legyen az uralkodó közepes légnyomáshoz, így nem követünk el számbavehető hibát, ha ezt a két értéket egyenlőnek vesszük.

Ha továbbá  $V$  az időegység alatt valamely szelvényen átfolyó gáz térfogata az átfolyás állapotában,  $p$  nyomás és  $T$  abszolút hőmérsékleten,  $V_0$  ugyanez a  $p_0$  nyomásnak és  $T_0$  abszolút hőmérsékletnek megfelelő normál állapotban, úgy

$$\frac{V}{V_0} = \frac{\gamma_0}{\gamma_1} = \frac{\gamma_0}{\gamma_{id}} \cdot \frac{k'}{k' - p_0 + p}$$

és ha  $D$  a vezeték belső átmérője, a szelvény középsébsége

$$u = \frac{4}{\pi} \frac{V}{D^2} = \frac{4}{\pi} \frac{V_0}{D^2} \frac{\gamma_0}{\gamma_{id}} \cdot \frac{k'}{k' - p_0 + p},$$

de a gáztörvény szerint

$$\frac{\gamma_0}{\gamma_{id}} = \frac{P_0 T}{p T_0} \quad (114)$$

és ezzel

$$u = \frac{4}{\pi} \frac{V_0}{D^2} \frac{T}{T_0} \cdot \frac{k' p_0}{(k' - p_0) p + p^2}.$$

Az izotermikus áramlás differenciál egyenletébe (87) betéve  $\bar{u}$ -t :

$$-\frac{dp}{\gamma_1} = \frac{\lambda}{2g} \cdot \frac{dl}{D} \left( \frac{4}{\pi} \frac{V_0}{D^2} \frac{T}{T_0} k' p_0 \right)^2 \cdot \frac{1}{[(k' - p_0) p + p^2]^2} - \\ - \frac{1}{g} \left( \frac{4}{\pi} \frac{V_0}{D^2} \frac{T}{T_0} k' p_0 \right)^2 \frac{(k' - p_0 + 2p) dp}{[(k' - p_0) p + p^2]^3}$$

és átrendezve az egyenletet

$$-\frac{[(k' - p_0) p + p^2]^2 dp}{\frac{\gamma_1}{g} \left( \frac{4}{\pi} \frac{V_0}{D^2} \frac{T}{T_0} k' p_0 \right)^2} = \frac{\lambda}{2} \frac{dl}{D} - \frac{[(k' - p_0) + 2p] dp}{(k' - p_0) p + p^2}$$

A (113) és (111) egyenletekkel, és mivel

$$\gamma_0 = \frac{p_0}{BT_0} = \frac{s}{B_l} \cdot \frac{p_0}{T_0} \\ \gamma_1 = \gamma_0 \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T} \cdot \frac{k' - p_0 + p}{k'} = \frac{s}{B_l} \cdot \frac{1}{T} \frac{(k' - p_0) p + p^2}{k'}$$

lesz :

$$\frac{(k' - p_0) p \cdot dp}{\frac{1}{g} k' T \frac{s}{B_l} \left( \frac{4}{\pi} \frac{V_0}{D^2} \frac{p_0}{T_0} \right)^2} - \frac{p^2 dp}{\frac{1}{g} k' T \frac{s}{B_l} \left( \frac{4}{\pi} \frac{V_0}{D^2} \frac{p_0}{T_0} \right)^2} = \frac{\lambda}{2} \frac{dl}{D} - \frac{[(k' - p_0) + 2p] dp}{(k' - p_0) p + p^2}$$

Integráljuk  $p_1$  és  $p_2$ , illetve 0 és  $l$  határok között

$$\frac{1}{2} (k' - p_0) (p_1^2 - p_2^2) + \frac{1}{3} (p_1^3 - p_2^3) = \\ = \frac{k'}{g} T \frac{s}{B_l} \left( \frac{4}{\pi} \frac{V_0}{D^2} \frac{p_0}{T_0} \right)^2 \left[ \frac{\lambda}{2} \frac{l}{D} - \ln \left( \frac{(k' - p_0) p_1 + p_1^2}{(k' - p_0) p_2 + p_2^2} \right) \right]$$

és az egyenlet  $V_0$ -ra megoldva :

$$V_0 = \frac{\pi}{4} \frac{T_0}{p_0} \sqrt{B_l g} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \frac{(k' - p_0)}{k' \lambda} \cdot \frac{p_1^2 - p_2^2 + \frac{2}{3(k' - p_0)} (p_1^3 - p_2^3)}{T_s \left[ \frac{\lambda}{2} \frac{l}{D} - \ln \left( \frac{(k' - p_0) p_1 + p_1^2}{(k' - p_0) p_2 + p_2^2} \right) \right]}}$$

a logaritmosus tagot, tekintve, hogy itt csak hosszú vezeték jöhetnek számba, elhanyagolhatjuk :

$$V_0 = \frac{\pi}{4} \frac{T_0}{p_0} \sqrt{B_l g} \sqrt{\frac{(k' - p_0)}{k'} \cdot \frac{D^5}{T_s \lambda l} \left[ (p_1^2 - p_2^2) + \frac{2}{3(k' - p_0)} (p_1^3 - p_2^3) \right]}$$

Az állandók számértékeit vizsgálva, még további egyszerűsítések lehetségesek:  $k'$  mellett  $p_0$  elhanyagolható és megközelítőleg

$$\sqrt{\frac{k' - p_0}{k'}} \cong 1 \quad \text{és} \quad k' - p_0 \cong k'$$

és ezzel az áramlás alapegyenlete

$$V_0 = \frac{\pi}{4} \frac{T_0}{p_0} \sqrt{B_{lg}} \sqrt{\frac{D^5}{T_s \lambda L} \left[ (P_1^2 - P_2^2) + \frac{2}{3k'} (P_1^3 - P_2^3) \right]}. \quad (115)$$

Az állandók számértékeinek behelyezése után, hasonlóan a (91) egyenlethez

$$V_0 = 13,303 \frac{T_0}{p_0} \sqrt{\frac{D^5}{T_s \lambda L} \left[ (P_1^2 - P_2^2) + \frac{2}{3k'} (P_1^3 - P_2^3) \right]} \quad (116)$$

áttérve a gyakorlati mértékegységekre: az áramlás erősségét  $m^3/\text{óra}$ , a nyomást  $kg/cm^2$ , a vezeték hosszát  $km$  és átmérőjét  $cm$ -ben mérve:

$$Q_0 = 0,015145 \frac{T_0}{P_0} \sqrt{\frac{d^5}{T_s \lambda L} \left[ (P_1^2 - P_2^2) + \frac{2}{3k} (P_1^3 - P_2^3) \right]}, \quad (117)$$

ahol  $k = 10^{-4} k'$ , a  $kg/cm^2$  egységben mért túlnyomásra vonatkozó összenyomhatósági állandó.  $T_0 = 288^\circ$ ;  $P_0 = 1,0333 \text{ kg/cm}^2$  normálállapotban

$$Q_0 = 4,2211 \sqrt{\frac{d^5}{T_s \lambda L} \left[ (P_1^2 - P_2^2) + \frac{2}{3k} (P_1^3 - P_2^3) \right]}. \quad (118)$$

Az igen nagy nyomású csővezetékek áramlási egyenletében is szétválaszthatók a vezetésekre vonatkozó adatok a feszültségre vonatkozóktól és a vezetőképesség itt is

$$\varepsilon = 4,2211 \sqrt{\frac{d^5}{T_s \lambda L}},$$

mely az ellenállási tényezőnek behelyettesítése után azonos a (100) egyenlettel. Így a vezetőképességre szerkesztett diagramm igen nagy nyomású csővezetékekre is használható. A feszültségi tényező

$$II \sqrt{\left( P_1^2 - P_2^2 \right) + \frac{2}{3k} \left( P_1^3 - P_2^3 \right)}.$$

Az összenyomhatóság meghatározására *Johnson* és *Berwald* [46] több, különféle összetételű földgázzal kísérletezett. A nagyobb szénhidrogéntartalom az összenyomhatóságot növeli, a nitrogéntartalom csökkenti. 20 és 100 at között a  $10^\circ C$  hőmérsékletű, 98 ~ 99%  $CH_4$  tartalmú földgáz összenyomhatósági állan-

dója  $k \cong 450$ ,  $80 \sim 82\%$   $\text{CH}_4$  és  $15 \sim 18\%$   $\text{C}_2\text{H}_6$  és magasabb szénhidrogéneket tartalmazó földgázé  $k \cong 320 \sim 350$ ,  $66\%$   $\text{CH}_4$  és  $32\%$   $\text{C}_2\text{H}_6$  és magasabb szénhidrogéneket tartalmazó földgázé  $k = 260 \sim 280$ , míg a  $66\%$   $\text{CH}_4$  és  $26\%$  nitrogént tartalmazóé  $k = 530$ .

A fentebb említett közép *West-Virginiában* üzemben lévő, igen nagy nyomású földgázvezeték  $150$  km hosszú, átmérője  $30$  cm, a diagrammból leolvasott vezetőképessége  $\varepsilon = 1140$ . Szállítóképessége az összenyomhatóság figyelembevételével

$$Q_0 = 1140 \sqrt{70^2 - 20^2} \cong 76\,500 \text{ m}^3/\text{óra},$$

$99\%$   $\text{CH}_4$ -et tartalmazó földgázt feltételezve. Az összenyomhatóságot is számításba véve

$$Q_0 = 1140 \sqrt{70^2 - 20^2 + \frac{1}{675} (70^3 - 20^3)} \cong 80\,500 \text{ m}^3/\text{óra}.$$

a szállítóképesség növekedése tehát ily nagy nyomásnál  $5,23\%$ .

Az erdélyi földgáz legnagyobb összenyomhatóságát  $160$ — $200$  at között éri el, amikor kereken  $25\%$  az összenyomhatósági együtthatója. Így  $200$  at túlnyomás alatt egy  $50$  l úrtartalmú acélpalackba, amelybe ideális gáznál  $10$  m<sup>3</sup> volna besűrítendő, tényleg  $12,5$  m<sup>3</sup> földgáz préselhető be.

#### IRODALOM

1. *Osborne Reynolds*: An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous and of the law of resistance in parallel channels. Phil. Trans. Roy. Soc., London, 1883.
2. *Ekman*: On the change from steady to turbulent motion of liquids. Arkiv. Mat. Astron. och Fysik. 1910.
3. *Brillouin*: Leçons sur la viscosité des fluides. 1907.
4. *J. Jeans*: Dynamic theory of gases. 4th ed.
5. *Rayleigh*: Proc. Roy. Soc., London, 66. köt. 68. old.
6. *Kammerling Onnes, S. Weber*: Communications from the Leiden Phys. Laboratory, 134. B/köt. 18. old.
7. *G. Jung, H. Schmick*: Der Einfluss der molekularen Anziehungskräfte auf die innere Reibung von Gasgemischen. Z. f. phys. Chemie, 7. köt. (1930), 130. old.
8. *W. Schudel*: Schweiz. Vercin Gas- u. Wasserfachmänner, Monatsbulletin, 22. köt. (1942), 21. sz.
9. *Herning u. Zipperer*: Das Gas u. Wasserfach, 1936., 72. old.
10. *Zipperer u. Müller*: Das Gas u. Wasserfach, 1932. 623., 641. és 660. old.
11. *Poiseuille*: Recherches experimentelles sur le mouvement des liquides dans les tubes de très petits diamètres. Compt. Rend., 1840. 961. old.
12. *Prandtl*: Neue Ergebnisse der Turbulenzforschung. Z. V. D. I. 1933. 105. old.
13. *Prandtl*: Über Flüssigkeitsbewegungen bei sehr kleinen Reibung. Verhandl. des III. int. mat. Kongr., Heidelberg, 1904.
14. *Prandtl*: Bericht über Untersuchungen zur ausgebildeten Turbulenz. Z. ang. Math. u. Mech., 5. köt (1925), 136. old.
15. *Nikuradse*: Gesetzmässigkeiten der turbulenten Strömung in glatten Rohren. Forschungsheft 356, VDI. — Verlag, 1932.

16. *Saph, Schoder* : An experimental study of the resistance to the flow of water in pipes. Trans. Americ. Soc. Civ. Engin., 51. évfolyam.
17. *Blasius* : Das Ähnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorgängen in Flüssigkeiten. Forsch.-Arb. des Ing.-Wes., 131. füzet, 1913.
18. *Stanton, Pannel* : Similarity of motion in relation to the surface friction of fluids. Phil. Trans. Roy. Soc. London, A. 214. köt.
19. *Lees* : On the flow of viscous fluids through smooth circular pipes. Proc. Roy. Soc. London, A. 91. köt. (1915).
20. *Jakob, Erk* : Der Druckabfall in glatten Rohren und die Durchflussziffer von Normaldüsen. Forsch.-Arb. Ing.-Wes. 267. füzet, 1924.
21. *Kármán* : Göttinger Nachrichten. 1930. évf. 58. old.
22. *Brouwer* : Considérations sur les formules de transport de gas à haute pression. Bul. de l'Assoc. des Gaziers Belges, 1937. évf. 176. old.
23. *Dr. Herning* : Bisherige praktische Erfahrungen über Druckverluste in Ferngasleitungen. Ges. Ber. aus Betr. u. Forsch. der Ruhrgas A. G., Essen.
24. *Kármán* : Über die Stabilität der Laminarströmung und die Theorie der Turbulenz. Abhl. Aerodyn. Inst., Aachen. 4. füzet, 27. old.
25. *Mises* : Elemente der technischen Hydromechanik. Leipzig, 1914.
26. *Hopf* : Die Messung der hydraulischen Rauigkeit. Abhandl. Aerodyn. Inst. Aachen. 3. köt. (1923), 329. old.
27. *K. Fromm* : Strömungswiderstand in rauhen Rohren, Abhandl. Aerodyn. Inst., Aachen. 3. köt. (1923), 339. old.
28. *Nikuradse* : Strömungsgesetze in rauhen Rohren. VDI. Forsch.-Heft, 1933. 361. sz.
29. *Colebrook, White* : Experiments with fluid friction in roughened pipes. — Proc. Roy. Soc. London, A. 906. 367. old.
30. *Fritzsche* : Untersuchungen über den Strömungswiderstand der Gase in geraden zylindrischen Rohrleitungen. Forsch.-Arb. d. VDI., 1907. 60. füzet.
31. *Biel* : Über den Druckhöhenverlust bei der Fortleitung tropfbarer und gasförmiger Flüssigkeiten. — Forsch. Arb. d. VDI., 1907. 44. füzet.
32. *Biel* : Fortleitungswiderstand in Gasrohrleitungen. GWF. Zeitschr. 1927. évf. 23. sz.
33. *Bauer, Galavics* : Experimentelle und theoretische Untersuchungen über die Rohrreibung von Heisswasserleitungen. Verh. Eidgen. Techn. Hochschule. Zürich, 1936.
34. *Darcy* : Recherches expérimentales relatives au mouvements de l'eau dans les tuyaux. Mém. Savants Étrangers, 1858. 141. old.
35. *Fritsch* : Einfluss der Wandrauigkeit auf die turbulente Geschwindigkeitsverteilung in Rinnen. Z. ang. Math. u. Mech., 1928. 199. old.
36. *F. M. Towl* : Proceed. of Columbia University, 1911.
37. *Guman* : Zur Bestimmung der Reibungszahl in Ferngasleitungen. Z. V.D.I., 74. köt. (1930), 107. old.
38. *Wunsch, Zipperer* : Versuch zur Bestimmung des Fortleitungswiderstandes der Ferngasleitung Hamm-Hannover. G. W. F. Zeitschr. 1932. évf. 428. old.
39. *Wunsch, Kammüller, Herning* : Fortleitungsversuch zur Bestimmung des Reibungswiderstandes in Fernleitungen. G.W.F. Zeitschr. 1934. évf. 537. old.
40. *Zipperer* : Erfahrungen und neue Erkenntnisse auf dem Gebiete der Gasfortleitung. G.W.F. Zeitschr. 1933. évf. 176. old.
41. *F. Homann* : Z. VDI., 1938. évf. 558. old.
42. *Johnson, Berwald* : Flow of natural gas through high-pressure transmission lines. U. S. Dept. of the Interior. Bureau of Mines Monograph 6., 1935.
43. *Neumann* : Die Berechnung der Druckverluste in Rohrleitungen. Arch. für das Eisenhüttenwesen, 12. évf. (1938), 175. old.
44. *Weymouth* : Problems in natural gas engineering. Transact. Amer. Soc. of Mech. Eng., 34. köt. (1912), 185. old.
45. *Motas, Guman, Erni* : Étude sur les gisements de gas naturel de Transylvanie. Inst. Nat. Roumain d'Énergie, Bucarest, 1929, 80. old.
46. *Johnson, Berwald* : Deviation of natural gas from Boyle's law. Bureau of mines, Techn. Paper 539., 1932.
47. *G. G. Brown* : Natural gas under pressure. Proc. Nineteenth annual convention. N. G. A. A., 1940. május és The Oil Weekly, 1940. dec. 30. 30. oldal.
48. *Ludin* : Ermittlung der Fließwiderstände in Asbestzementröhren. — Mitt. 13. Inst. Wasserbau. T. H. Berlin, 1932.



### Összefoglalás

Az I. fejezet a *Reynolds* hasonlósági elvének a *Navier—Stokes* áramlási egyenletéből való levezetését tartalmazza, jellemzi a lamináris és turbulens áramlás közötti különbséget és a kritikus *Reynolds*-számot.

A II. fejezet ismerteti a viszkozitást, majd tartalmazza a lamináris áramlás egyenletének a *Navier—Stokes*-egyenletekből való levezetését, meghatározza a lamináris áramlás ellenállási együtthatóját:  $\lambda_n = 64/Re$ .

A III. fejezet az örvénylő áramlás dinamikáját tárgyalja, majd ismerteti a *sima csőben* való áramlás törvényeit *Nikuradse* legújabb kísérletei alapján, ebből levezeti a sima csőbeni turbulens áramlás sebességelosztási egyenleteit, valamint az ellenállási együttható egyenletét:

$$\lambda_0 = \frac{1}{[2 \log (Re \sqrt{\lambda_0}) + 0.8]^2}$$

A IV. fejezet az érdesség fogalmának tisztázása után az *érdes csőben* való turbulens áramlás jelenségeivel foglalkozik. *Nikuradse* kísérletileg 3 szakaszt állapított meg, a sima cső szakaszát, az átmeneti szakaszt és a négyzetes sebességtörvény, vagy állandó ellenállási együttható szakaszát. Kis *Reynolds*-számnál a kritikus *Re* számig a lamináris áramlás ellenállási együtthatója, ezen felül egy meghatározott *Re*-számig, melyet szerző *határ Reynolds*-számnak nevez, a sima cső ellenállási együtthatója érvényes. A határ *Re*-számon felül az érdesség hatása mindinkább érvényesül, és egy átmeneti szakasz után, melyben az ellenállási együttható a *Re*-szám és az érdességi szám összetett függvénye, következik az állandó ellenállási együttható szakasza, melyben az ellenállási együttható független a *Re*-számtól és csak az érdességi szám függvénye.

A sebességelosztási függvény és az ellenállási együttható értékének a kísérleti adatokkal való összehasonlítása után, szerző javasolja, hogy műszaki számításokban az átmeneti szakaszban is, az itteni változó ellenállási együttható helyett vétessék az állandó ellenállási együttható. Indokolja ezt azzal, hogy az átmeneti szakaszban későbbi kutatók kísérleti eredményei szerint, kereskedelmi érdességű csövekben az átmeneti szakasz ellenállási együttható görbéjének lefutása nem egyezik a *Nikuradse* által mesterségesen érdessé tett csöveken talált görbével, másrészt azzal, hogy ebben a szakaszban az ellenállási együttható kisebb, mint a négyzetes sebességtörvény szakaszában az állandó ellenállási együttható, így ez a számítás biztonságát növelni fogja. A határ *Reynolds*-szám ( $Re_h$ ) fölött tehát a *Nikuradse* által talált

$$\lambda_1 = \frac{1}{\left[1,74 + 2 \log \left(\frac{r}{k}\right)\right]^2}$$

alkalmaztassék (hol *k* az abszolút érdességi mértékszám, *r* a cső sugara).

Az V. fejezet a tényleges gázvezetéseken eddig eszközölt vezetékellenállási mérések eredményeit foglalja össze, összehasonlítva azokat *Nikuradse* egyenletével és ebből számított abszolút érdességi számokat táblázatokba foglalja össze.

Ezen adatok kritikai megvitatása után szerző a kereskedelmi acélsövekből gondosan megépített földgázvezetékek abszolút érdességi mértékszámát  $k = 0,08$  mm-ben állapítja meg.

A VI. fejezet az áramlás egyenletének levezetését tartalmazza, a talált érdességi szám és ellenállási együttható behelyettesítésével. Az érdes csöveken óránként leszállítható gázmennyiség, normál állapotban, a határ *Reynolds*-számig, vagyis a sima cső szakaszában :

$$Q_0 = 8,4422 \left[ 2,96 + \log \left( \frac{Q_0 \sqrt{\lambda_0}}{d} \right) \right] d^{5,2} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{TsL}}$$

és határ *Reynolds*-számon felül

$$Q_0 = 8,4422 (2,67 + \log d) d^{5,2} \sqrt{\frac{P_1^2 - P_2^2}{TsL}}$$

(hol  $Q_0$   $m^3/óra$  a leszállított gáz mennyisége  $+ 15$  C° és 760 Torr normálállapotban  $d$   $cm$  a csővezeték belső átmérője,  $T$  az áramló gáz abszolút hőmérséklete,  $s$  a levegőre vonatkoztatott fajsúlya,  $L$   $km$  a vezeték hossza,  $P_1$   $ata$  a kezdő- és  $P_2$   $ata$  a végnyomás).

Az áramlás fenti egyenleteit szerző két tényezőre bontja : a *vezetőképesség*, csupán a vezeték méreteitől és minőségétől függ (érdesség), a feszültségi tényező pedig a vezetékben uralkodó nyomásviszonyoktól. A csővezetékek vezetőképességének gyors meghatározására egy diagrammot szerkesztett (15. ábra), amelyről 2,5  $cm$  és 100  $cm$  átmérő, 10  $m$  és 10 000  $km$  hosszúság között, minden csővezeték vezetőképessége leolvasható. A diagramm ezen felül feltünteti úgy az állandó ellenállási együttható értékeit, a  $d$  függvényében  $k = 0,08$   $mm$  abszolút érdességű csővezetésekre, valamint a sima cső szakaszában érvényes ellenállási együttható értékeit, mint a  $d$  és  $Q$  függvényeit. Egy külön mérce a  $Re \cdot d$  értékeket tünteti fel, melyből  $d$ -vel osztva, a *Reynolds*-szám határozható meg. A diagramm  $s = 0,65$  levegőre vonatkoztatott fajsúlyú,  $+ 9$  C° áramlási hőmérsékletű,  $900 \cdot 10^{-7}$  Poise viszkozitású gázra van szerkesztve, a közölt javító-együtthatókkal azonban bármilyen más gázra alkalmazható. Amennyiben a csővezeték érdességi mértékszámra nem 0,08  $mm$ , amire a diagramm szerkesztve van, a 16. ábrából leolvasható az érdességi mértékszámra vonatkozó javító együttható.

A fejezet végül számos kidolgozott példát tartalmaz, melyek a diagrammnak az előfordulható problémák megoldására való felhasználását illusztrálják és e mellett, a komplikáltabb esetekben, összehasonlításként a számbeli megoldásokat is.

A VII. fejezet az igen nagy nyomású földgázvezetékek számítását tartalmazza. Az egyes gázoknak az ideális gáztörvénytől való eltérését tárgyalva, szerző felállítja az áramlás differenciális egyenletét a gázok szuperkompresszibilitási tényezőjének figyelembe vételével és azt integrálva, kapja a gázszállítási egyenletet :

$$Q_0 = C \sqrt{\frac{d^5}{Ts\lambda L} [(P_1^2 - P_2^2) + \frac{2}{3k} (P_1^3 - P_2^3)]},$$

ahol  $k$  a gázok szuperkompresszibilitási tényezőjéből kiszámítható állandó. Szerző feltételezi, hogy a földgázvezetékekben használatos maximális nyomásig, kb. 100 at-ig, a szuperkompresszibilitási tényező nagy megközelítéssel arányos a gáz nyomásával.

# LAPÁTMETSZETSZERKESZTÉS AXIÁLIS VÍZGÉPEKNÉL\*)

GRUBER JÓZSEF

a műszaki tudományok kandidátusa

[Beérkezett 1952 április 30-án]

Az axiális vízgépeknél, úgymint Kaplan-turbináknál, propellerszivattyúknál, hajócsavaroknál az energiaátadást, illetve -átvételt végző forgórésznek repülőgépszárnyéhoz hasonló metszetű lapátozása van. A lapátok emellett viszonylag távol vannak egymástól, általuk alkotott »csatornákról« nem lehet beszélni. Így itt az igen sűrű lapátozás esetén szokásos méretezési eljárás — mely a lapátok alkotta »csatorná« középvonalat közelítésképpen relatív áramvonalnak tekinti — várhatóan nem alkalmazható. E »hidraulikai« szemlélettel szemben álló aerodinamikai szemlélet szerint a ritka lapátozású axiális gépek méretezési összefüggései a »végtelen ritka«, vagyis egyedülálló lapátra ható erő meghatározásán alapulnak, mivel a párhuzamos áramlásba helyezett, s az áramlás irányára merőleges irányban végtelen hosszú egyedülálló lapátra ható erő az aerodinamika módszerei szerint meghatározható.

Az aerodinamikai szemlélet alkalmazása az erő meghatározásán túlmenően az egyedülálló lapát kerülete mentén kialakuló sebességmegoszlás kiszámítását is lehetővé teszi.

Ez a lehetőség önmagában véve is döntő fontosságú, mivel a nyomások és így a sebességek ismeretére — a lapáton kialakuló határreteg viselkedésének eldöntésére, továbbá a kavitáció jelenségének elkerülése végett — feltétlenül szükség van.

A következőkben főleg az utóbbi kérdés szempontjából kívánok az aerodinamikai méretezési elvvel foglalkozni. Hazánk vízgazdálkodásában a beépítésre kerülő vízgépek ugyanis zömmel kis eséssel, illetve emelőmagassággal működnek, tehát főleg az axiális típusok alkalmazásával számolhatunk. Az axiális vízgépeknél könnyen előálló és kárt okozó kavitáció elkerülése ezért igen lényeges feladat, mely nem szorul bővebb magyarázatra.

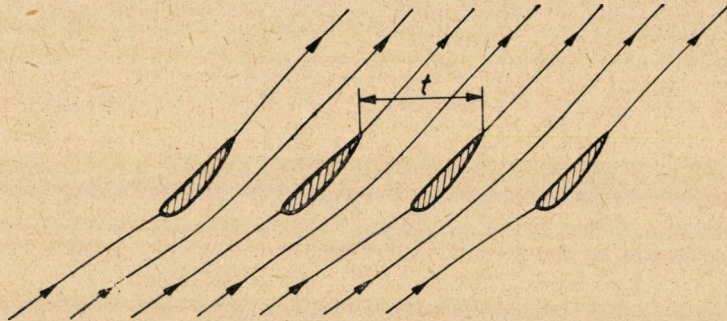
Az axiális gépek lapátozására ható erő, valamint a lapát mentén kialakuló sebességmegoszlás meghatározásánál azonban mindjárt meg kell állapítani, hogy a lapátozás — amint az a gép tengelyével közös tengelyű hengeres metszet kifejtéséből kitűnik — végtelen hosszúnak tekintendő rácselrendezést alkot,

\* A Magyar Tudományos Akadémián a Műszaki Tudományok Osztályának rendezésében 1952 április 23-án elhangzott előadás.

mely a stacionárius relatív áramlás irányát megváltoztatja (1. ábra). Ezek szerint meg kell fontolni, hogy a síkáramlásba helyezett egyetlen lapátra, illetve szárnyra vonatkozó számítások mennyiben alkalmazhatók a rácselrendezésben működő lapáttal kapcsolatosan.

Ismeretes, hogy Zsukovszkij tétele értelmében a síkáramlásba — egyedülállóan vagy rácselrendezésben — elhelyezett lapátra ható erő kapcsolatos a lapát körül kialakuló cirkulációval. A lapát méretéhez képest nagy  $t$  osztású rács esetén a lapátoktól nagyobb távolságra történő vizsgálatokban a lapátsort egy izolált potenciál-örvénysorral helyettesíthetjük, ha egy-egy izolált potenciál-örvény körüli cirkuláció megegyezik a lapátok körül kialakuló  $\Gamma$  nagyságú cirkulációval.

Az izolált potenciál-örvénysor hatását legkényelmesebben a komplex



1. ábra

változós függvénytan segítségével vizsgálhatjuk meg. A  $\Gamma$  intenzitású örvényeket a valós tengelyen  $t$  osztással elhelyezve (2. ábra), a  $z$  sík egy tetszőleges pontján keletkező konjugált sebességet a

$$v^* = \frac{\Gamma}{2\pi i} \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{1}{(z - nt)} = \frac{\Gamma}{2\pi i} \left[ \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{1}{z - nt} + \frac{1}{z + nt} \right) + \frac{1}{z} \right] = \quad (1)$$

$$\frac{\Gamma}{2\pi i t} \left[ \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{1}{\frac{z}{t} - n} + \frac{1}{\frac{z}{t} + n} \right) + \frac{1}{\frac{z}{t}} \right]$$

összefüggés adja. A függvénytan egy ismert tételét alkalmazva a fenti kifejezésből

$$v^* = \frac{\Gamma}{2\pi i t} \pi \operatorname{ctg} \frac{\pi}{t} z \quad (2)$$

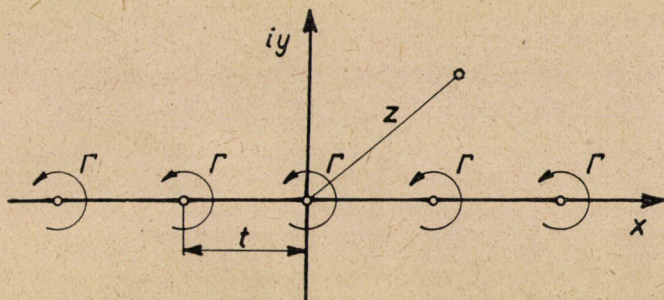


eredményhez jutunk. Mivel

$$\operatorname{ctg} \frac{\pi}{t} z = i \frac{e^{\frac{i\pi}{t}x} \cdot e^{-\frac{\pi}{t}y} + e^{-\frac{i\pi}{t}x} \cdot e^{\frac{\pi}{t}y}}{e^{\frac{i\pi}{t}x} \cdot e^{-\frac{\pi}{t}y} - e^{-\frac{i\pi}{t}x} \cdot e^{\frac{\pi}{t}y}}, \quad (3)$$

látható, hogy

$$\left. \begin{array}{l} -\infty \leq x \leq +\infty \\ y \rightarrow +\infty \end{array} \right\} \text{ esetben (4) } \operatorname{ctg} \frac{\pi}{t} z \rightarrow -i, \quad (5) \text{ továbbá}$$



2. ábra

$$\left. \begin{array}{l} -\infty \leq x \leq +\infty \\ y \rightarrow -\infty \end{array} \right\} \text{ esetben (6) } \operatorname{ctg} \frac{\pi}{t} z \rightarrow +i, \quad (7) \text{ tehát a}$$

$$\left. \begin{array}{l} v^* = -\frac{\Gamma}{2t} \\ y \rightarrow +\infty \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} v^* = +\frac{\Gamma}{2t} \\ y \rightarrow -\infty \end{array} \right\} \quad (8)$$

eredményeket kapjuk. Ezek szerint egy  $\Gamma$  intenzitású örvénysor, illetve lapátsor messze a lapátsor alatt ( $y \rightarrow -\infty$ )  $+x$  irányú  $\frac{\Gamma}{2t}$  nagyságú, messze a lapátsor felett ( $y \rightarrow +\infty$ )  $-x$  irányú, szintén  $\frac{\Gamma}{2t}$  nagyságú sebességet indukál, még pedig  $x$  értékétől függetlenül. Ha tehát a  $+x$  tengellyel valamely  $\alpha < 180^\circ$  irányszöget bezáró  $w_\infty$  sebességű párhuzamos síkáramlást és egy, a 2. ábrán látható módon elhelyezett örvénysort egymásra helyezünk, akkor messze a rács alatti ( $w_1$ ) és feletti ( $w_2$ ) sebességek a 3/a, illetve b ábrák szerint alakulnak. A 3/a ábrán  $\alpha < 90^\circ$  (szivattyú lapátozás), a 3/b ábrán  $180^\circ > \alpha > 90^\circ$  (turbína lapátozás) esetében láthatók a sebességek. A  $w_\infty$  tehát a  $w_1$  és  $w_2$  sebességek vektoros átlaga.

Gépek szerkesztésénél a  $w_1$  és  $w_2$  sebességek felvétele, illetve meghatározása után  $w_\infty$  iránya és nagysága tehát könnyen megállapítható.

Most még csak az kérdéses, hogy a rácselrendezésben lévő lapátoknál milyen a sebesség iránya és nagysága. Ennek megvizsgálása céljából gondolatban

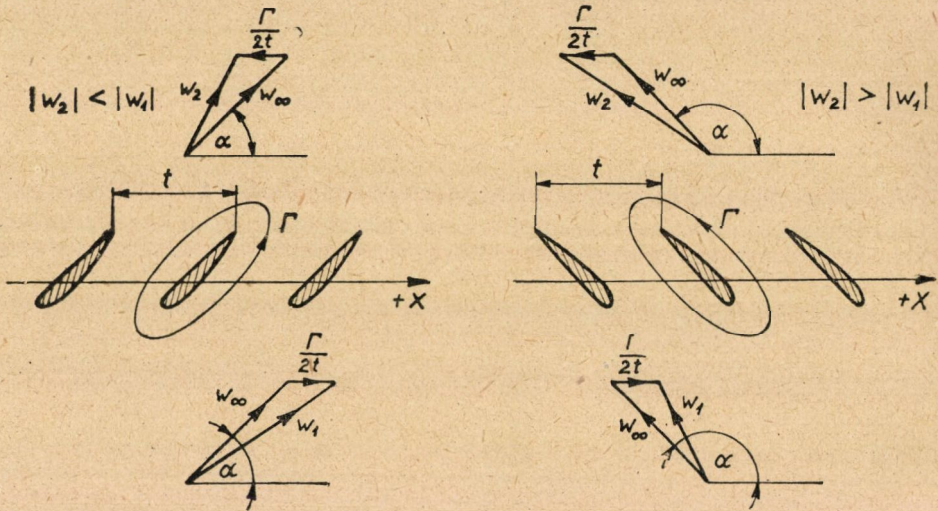


távolítsuk el a 2. ábrán látható végtelen örvénysorból a  $z = 0$  helyen lévő örvényt és határozzuk meg a megmaradó — mindkét irányban a végtelenig terjedő — örvényeknek a  $z = 0$  környezetére gyakorolt hatását. A »hiányos« örvénysor által indukált sebesség konjugáltja nyilvánvalóan

$$(v^*)' = \frac{1}{2\pi i} \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{1}{z - nt} + \frac{1}{z + nt} \right) = \frac{\Gamma}{2\pi i t} \left( \pi \operatorname{ctg} \frac{\pi}{t} z - \frac{1}{z} \right). \quad (9)$$

Mivel  $z \rightarrow 0$  esetben

$$\operatorname{ctg} \frac{\pi}{t} z = \frac{\cos \frac{\pi}{t} z}{\sin \frac{\pi}{t} z} \approx \frac{1}{\frac{\pi}{t} z}, \quad (10)$$



3. ábra

így belátható, hogy

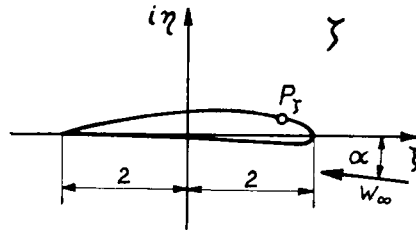
$$(v^*)' = 0, \quad z \rightarrow 0 \quad (11)$$

vagyis az eltávolított örvény helyén és közelítőleg annak környezetében a többi örvény semilyen hatást nem létesít. Ennek megfelelően nem követünk el nagy hibát, ha a rácselrendezésben elhelyezett lapátokat úgy tekintjük, mintha azok mindegyike  $w_\infty$  irányú és nagyságú párhuzamos áramlásban működnek.

Természetes, hogy ez a megállapítás csak igen ritka lapátkozás esetén tekinthető érvényesnek. Ha sűrűbb a lapátkozás, úgy nyilvánvaló, hogy egy lapát környezetében a többi lapát megváltoztatja az áramlás sebességének irányát és nagyságát, emiatt ú. n. rácshatással kell számolni.

A vízgépeknél alkalmazott lapátsűrűségek mellett ez az egyébként kielégítő pontosan számítható rácshatás legtöbbször nem túl jelentős. Így a továbbiakban csupán az egyedülálló lapátra ható erő, valamint az annak mentén kialakuló sebességmegoszlás meghatározásával foglalkozunk.

Tetszőleges alakú lapát, illetve szárny körüli áramlás meghatározásával számos eljárás foglalkozik. Lényegében mindegyik a körhenger körüli jól ismert és könnyen kezelhető áramlásra vezeti vissza a lapát körüli áramlást. Ezek az eljárások igen pontosak, de hosszadalmasak. Vannak egyszerűsített — rövidebb számolási munkát igénylő — eljárások is. Az alábbiakban a pontos *Theodorsen* [1] féle eljárás *Thwaites* [2] által egyszerűsített alakjának egy tovább rövidített változatát ismertetem, mely vízgépeknél alkalmazott vékony és kevésbé ívelt lapátmetszetek mentén létrejövő sebességmegoszlás kielégítő pontossággal történő meghatározását lehetővé teszi. Az eljárás alkalmas — bizonyos korlátok között — felvett sebességmegoszlás alapján történő lapátmetszet-alak meghatározására



4. ábra

is, vagyis az előbbi feladat fordítottjának megoldására. A teljesség kedvéért a megoldás alapjait is összefoglalom.

Képzeljük a tetszőleges alakú — de vékony és kissé ívelt — lapátmetszetet a  $\zeta = \xi + i\eta$  síkon  $w_\infty$  nagyságú és  $\alpha$  irányú párhuzamos síkáramlásba helyezve (4. ábra). A 4 egységnyi hosszúnak felvett metszetet a Zsukovszkij-féle  $\zeta = z' + \frac{1}{z}$ , transzformációval a  $z' = x' + iy'$  számsíkra képezzük le (5. ábra), ahol egy körhöz hasonló görbét kapunk, melynek alakját a

$$z' = r' e^{i\vartheta} = e^\psi \cdot e^{i\vartheta} = e^{\psi + i\vartheta} \quad (12)$$

összefüggéssel fejezhetjük ki. A  $\zeta$  és  $z'$  síkokban fekvő görbék pontjai között fennálló kölcsönös és egyértelmű vonatkozás módot nyújt  $\psi$ -nek  $\vartheta$  függvényében való meghatározására.

A  $z'$  síkbeli körhöz hasonló görbét a

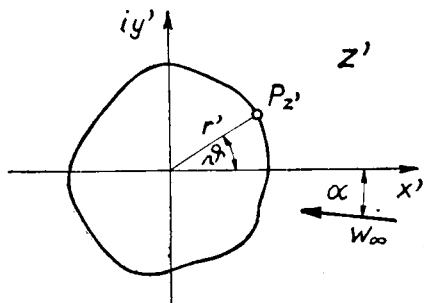
$$z' = z e^{\sum_{n=1}^{\infty} (A_n + iB_n) \frac{1}{z^n}} \quad (13)$$

összefüggéssel a  $z = x + iy$  síkba képezzük le, ahol alkalmas  $A_n$  és  $B_n$  állandók esetén egy, a kezdőpont köré írt, vagyis a

$$z = r e^{i\varphi} \quad (14)$$

egyenlettel meghatározott kört kapunk (6. ábra). A kör egyenletét a

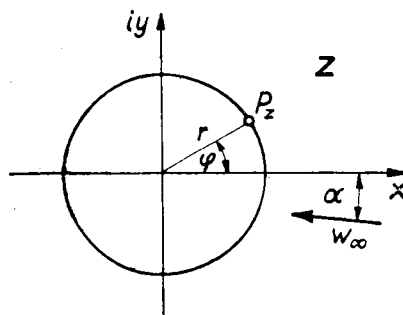
$$z = e^{\psi_0} \cdot e^{i\varphi} = e^{\psi + i\varphi} \quad (15)$$



5. ábra

alakba írva

$$\frac{z'}{z} = e^{\psi - \psi_0 + i(\vartheta - \varphi)} = e^{\sum_1^{\infty} (A_n + iB_n) \frac{1}{z^n}} \quad (16)$$



6. ábra

melyből

$$\begin{aligned} \psi - \psi_0 + i(\vartheta - \varphi) &= \sum_1^{\infty} (A_n + iB_n) \frac{1}{z^n} = \sum_1^{\infty} (A_n + iB_n) \frac{e^{-in\varphi}}{r^n} = \\ &= \sum_1^{\infty} \left( \frac{A_n}{r^n} + i \frac{B_n}{r^n} \right) (\cos n\varphi - i \sin n\varphi) = \\ &= \sum_1^{\infty} \left( \frac{A_n}{r^n} \cos n\varphi + \frac{B_n}{r^n} \sin n\varphi \right) + i \sum_1^{\infty} \left( -\frac{A_n}{r^n} \sin n\varphi + \frac{B_n}{r^n} \cos n\varphi \right). \end{aligned} \quad (17)$$

Innen nyilvánvaló, hogy

$$\psi - \psi_0 = \sum_1^{\infty} \left( \frac{A_n}{r^n} \cos n\varphi + \frac{B_n}{r^n} \sin n\varphi \right)$$

és

$$\vartheta - \varphi = \sum_1^{\infty} \left( -\frac{A_n}{r^n} \sin n\varphi + \frac{B_n}{r^n} \cos n\varphi \right). \tag{18}$$

Mivel a végtelenben egyik leképzési függvény sem okoz változást, a kezdő-ponttól távol  $w_{\infty}$  iránya és nagysága is változatlan marad.

A  $\psi = \psi(\vartheta)$  ismeretében az első összefüggés módot nyújt az együtthatók meghatározására. Eszerint, ha a

$$\psi_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \psi d\varphi; \quad \frac{A_n}{r^n} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \psi \cos n\varphi d\varphi \quad \text{és} \quad \frac{B_n}{r^n} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \psi \sin n\varphi d\varphi \tag{19}$$

összefüggésekben a  $\varphi$  helyére az ettől csak kevéssé eltérő  $\vartheta$ -t írjuk változónak, úgy  $\psi_0$ ,  $\frac{A_n}{r^n}$  és  $\frac{B_n}{r^n}$  értékeit jó közelítéssel meghatározhatjuk. Az együtthatókkal pedig a második összefüggésből  $\vartheta - \varphi$  értékét is kiszámíthatjuk. Ezzel  $\psi$ -t már mint  $\varphi$  függvényét ismerjük jó közelítéssel s az eljárás többszörös ismétlésével tetszőleges pontosságot érhetünk el.

A valóságban e hosszú és fáradságos számítás elvégzésére nincs szükség. A későbbiekben látni fogjuk, hogy az egész feladat közelítéssel sokkal egyszerűbben is megoldható.

Miután a  $z$  és  $z'$  síkokban fekvő görbék pontjai közötti kölcsönös és egyértelmű vonatkozás elvben megállapítható, térjünk át a sebességek közti viszony megállapítására. A  $z$  síkon (a kör síkján) a kör mentén a sebességmegoszlást ismertnek véve, a  $\zeta$  síkon (lapátsík) a lapát mentén a sebességmegoszlás a leképzési függvények differenciálhányadosainak meghatározása után megállapítható. Elegendő csupán a sebesség abszolút értékét ismerni, így a körmenti sebességet  $w_z$ -vel, a lapátmenti sebességet  $w_{\zeta}$ -val jelölve

$$|w_{\zeta}| = |w_z| \left| \frac{dz}{dz'} \right| \left| \frac{dz'}{d\zeta} \right|. \tag{20}$$

A 
$$z' = z e^{\psi - \psi_0} e^{i(\vartheta - \varphi)} \tag{21}$$

összefüggésből az  $\varepsilon = \varphi - \vartheta$  jelölés bevezetésével

$$\frac{dz'}{dz} = z' \frac{d}{dz} [\ln z + (\psi - \psi_0) + i(\vartheta - \varphi)] = z' \left\{ \frac{1}{z} + \frac{d}{dz} [(\psi - \psi_0) + i(\vartheta - \varphi)] \right\} =$$

$$\begin{aligned}
 &= z' \left\{ \frac{1}{z} + \frac{d[(\psi - \psi_0) + i(\vartheta - \varphi)]}{izd\varphi} \right\} = \frac{z'}{z} \left[ 1 + \frac{d}{d\varphi} (\vartheta - \varphi) - i \frac{d}{d\varphi} (\psi - \psi_0) \right] = \\
 &= \frac{z'}{z} \left[ \frac{d\vartheta - id(\psi - \psi_0)}{d\varphi} \right] = \frac{z'}{z} \cdot \frac{1 - i \frac{d(\psi - \psi_0)}{d\vartheta}}{\frac{d\varphi}{d\vartheta}} = \frac{z'}{z} \frac{1 - i \frac{d\psi}{d\vartheta}}{1 + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta}}. \quad (22)
 \end{aligned}$$

**Innen**

$$\left| \frac{dz'}{dz} \right| = e^{\psi - \psi_0} \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{d\psi}{d\vartheta}\right)^2}}{1 + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta}}, \quad (23)$$

melyből  $\frac{d\psi}{d\vartheta} \ll 1$  lévén, közelítéssel a

$$\left| \frac{dz}{dz'} \right| \simeq e^{\psi_0 - \psi} \left( 1 + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta} \right) \quad (24)$$

eredményre jutunk  $\left( \left| \frac{d\varepsilon}{d\vartheta} \right| < 1 \right)$ .

Másrészt a  $\zeta = z' + \frac{1}{z}$ , Zsukovszkij-féle transzformációs összefüggésből

$$\frac{d\zeta}{dz'} = 1 - \frac{1}{z'^2} = \frac{1}{z'} \left( z' - \frac{1}{z'} \right)$$

és így

$$\frac{dz'}{d\zeta} = \frac{z'}{z' - \frac{1}{z'}} = \frac{e^{\psi + i\vartheta}}{e^{\psi + i\vartheta} - e^{-\psi - i\vartheta}} = \frac{e^{\psi} \cdot e^{i\vartheta}}{e^{\psi} \cdot e^{i\vartheta} - e^{-\psi} \cdot e^{-i\vartheta}}.$$

Mivel

$$\begin{aligned}
 e^{\psi} \cdot e^{i\vartheta} - e^{-\psi} e^{-i\vartheta} &= e^{\psi} (\cos \vartheta + i \sin \vartheta) - e^{-\psi} (\cos \vartheta - i \sin \vartheta) = \\
 &= (e^{\psi} - e^{-\psi}) \cos \vartheta + i (e^{\psi} + e^{-\psi}) \sin \vartheta = 2 (\operatorname{sh} \psi \cos \vartheta + i \operatorname{ch} \psi \sin \vartheta), \quad (25)
 \end{aligned}$$

így

$$\left| \frac{dz'}{d\zeta} \right| = \frac{e^{\psi}}{2 \sqrt{\operatorname{sh}^2 \psi \cos^2 \vartheta + \operatorname{ch}^2 \psi \sin^2 \vartheta}} = \frac{e^{\psi}}{2 \sqrt{\operatorname{sh}^2 \psi + \sin^2 \vartheta}}.$$

**Ezzel**

$$|w_{\zeta}| = |w_z| \frac{e^{\psi_0} \left( 1 + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta} \right)}{2 \sqrt{\operatorname{sh}^2 \psi + \sin^2 \vartheta}},$$

melyben  $\psi$  kis értéke miatt  $\operatorname{sh}^2 \psi$  helyett  $\psi^2$ -et is írhatunk.

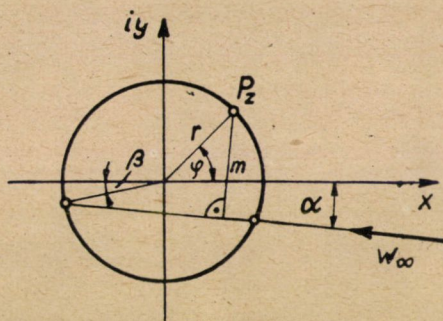


A körmenti ( $w_z$ ) sebesség a körön kialakuló torlópontokat összekötő —  $w_\infty$  irányú — egyenes és a  $P_z$  körpont közti  $m$  távolsággal (7. ábra) a

$$|w_z| = |w_\infty| \frac{2m}{r} \quad (26)$$

összefüggés szerint határozható meg. Mivel

$$\left. \begin{aligned} \text{így} \quad & m = r |\sin(\alpha + \varphi) + \sin(\alpha + \beta)|, \\ & |w_z| = 2 |w_\infty| |\sin(\alpha + \varphi) + \sin(\alpha + \beta)|, \\ \text{Ezzel} \quad & \left. \begin{aligned} & \left| \frac{w_z}{w_\infty} \right| = \frac{e^{\psi_0} \left(1 + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta}\right)}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} |\sin(\alpha + \varphi) + \sin(\alpha + \beta)|. \end{aligned} \right\} \quad (27) \end{aligned} \right\}$$



7. ábra

A  $\beta$  szög abból a megfontolásból határozható meg, mely szerint a lapát kilépő élénél a sebesség nem lehet végtelen értékű, tehát a kilépőél  $z$  síkbeli képének torlópontnak kell lennie (Zsukovszkij feltevése).

A kilépőél  $z'$  síkbeli képe a  $\vartheta = \pi$  helyen, így a  $z$  síkbeli kép a  $\varphi = \vartheta + (\varphi - \vartheta) = \vartheta + \varepsilon$  összefüggés alapján a  $\varphi = \pi + \varepsilon\pi$  értéknél található, vagyis a  $\beta$  szög  $\varepsilon$ -nak a  $\pi$  helyen felvett értékével  $\varepsilon\pi$ -vel egyezik meg ( $\beta = \varepsilon\pi$ ).

A második tényező második tagja a körhenger, illetve lapát körül kialakuló  $\Gamma$  cirkulációval függ össze;

$$\left. \begin{aligned} \text{Így} \quad & 2 |w_\infty| \sin(\alpha + \beta) = \frac{\Gamma}{2\pi r}, \\ & \sin(\alpha + \beta) = \frac{\Gamma}{4\pi r |w_\infty|}, \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

melyből az  $r = e^{\psi_0}$  és  $\Gamma = \frac{1}{2} \cdot 4 |w_\infty| C_f$  összefüggések behelyettesítésével

$$\sin(\alpha + \beta) = \frac{C_f}{2\pi e^{\psi_0}} \quad (29)$$

eredményhez jutunk, vagyis a felhajtóerőtényező meghatározására is összefüggést kaptunk.



Az összefüggésben előforduló  $\vartheta$  és  $\psi$  értékek a lapát  $\xi$  és  $i\eta$  koordinátáiból a következőképpen állapíthatók meg: A

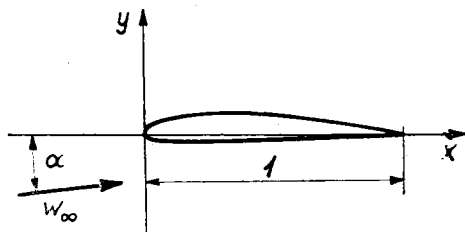
$$\xi + i\eta = \zeta = z + \frac{1}{z'} = e^\psi \cdot e^{i\vartheta} + e^{-\psi} \cdot e^{-i\vartheta} = 2(\operatorname{ch} \psi \cos \vartheta + i \operatorname{sh} \psi \sin \vartheta) \quad (30)$$

összefüggésből

$$\left. \begin{aligned} \xi &= 2 \operatorname{ch} \psi \cos \vartheta \\ \eta &= 2 \operatorname{sh} \psi \sin \vartheta \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

ahonnan —  $\psi$  kis értékű lévén — közelítésképpen

$$\left. \begin{aligned} \xi &= 2 \cos \vartheta \\ \eta &= 2 \psi \sin \vartheta. \end{aligned} \right\} \quad (32)$$



8. ábra

A továbbiakban a  $z$  komplex síkról már nem lesz szó, így nem okoz zavart, ha a  $\xi$  és  $\eta$  koordináták helyett a szokásosabb, a 8. ábra jelölése szerinti

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{1}{2} (1 - \cos \vartheta) \\ y &= \frac{1}{2} \psi \sin \vartheta \end{aligned} \right\} \quad \text{és} \quad (33)$$

$$(34)$$

változókat vezetjük be.

A metszet belépőélettől a kilépőélig a hátoldalon  $\vartheta$  értéke 0-tól  $\pi$ -ig, a kilépőélettől a belépőélig az alsó oldalon  $\pi$ -tól  $2\pi$ -ig növekszik. Ezzel az adott lapátmetszet pontjaihoz tartozó  $x$ ,  $y$  értékpárokból a szükséges  $\psi$ ,  $\vartheta$  értékpárokat könnyen meghatározhatjuk.  $\vartheta$  értéke csak  $x$ -től függ,  $\psi$  értékét a  $\psi = \frac{2y}{\sin \vartheta}$  összefüggés adja. A lapát mentén kialakuló — és a továbbiakban  $w$ -vel jelölt — sebesség így a lapát bármely pontján a

$$\left| \frac{w}{w_\infty} \right| = \frac{e^{\psi_0} \left( 1 + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta} \right)}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} \left| \sin(\alpha + \vartheta + \varepsilon) + \sin(\alpha + \beta) \right| \quad (35)$$

összefüggésből már meghatározható, ha a  $\psi = \psi(\vartheta)$  függvényből  $\varepsilon = \varphi - \vartheta$  értékét, valamint ennek differenciálhányadosát meghatározzuk. Látható az is, hogy a tetszőleges  $\alpha$  állásszögnek csak a jobboldal második tényezőjében van jelentősége, tehát figyelembe vétele csupán a számítás kis részét érinti.

$\varepsilon$  értékének kiszámításával kapcsolatosan meg kell említeni, hogy az  $(\psi - \psi_0)$ -nak konjugáltja lévén, jó közelítéssel ( $\psi$ -t  $\varphi$  helyett  $\vartheta$  függvényének véve) az

$$\varepsilon(\vartheta_1) = -\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \psi \operatorname{ctg} \frac{1}{2}(\vartheta - \vartheta_1) d\vartheta \quad (36)$$

Poisson-integrállal is meghatározható. A Poisson-integrál kiértékelésére numerikus eljárások is vannak, melyekkel igen nagy pontosság is elérhető.\*

A lapátmenti sebességmegoszlás meghatározása a fenti összefüggés alkalmazásával hosszadalmas számításokat kíván. Céljainknak megfelelőbb, ha némi elhanyagolás árán egyszerűsítjük a kifejezést.  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\varepsilon$ ,  $\frac{d\varepsilon}{d\vartheta}$ ,  $\psi_0$  kis értékek, ezek szorzatait elhanyagoljuk,  $\cos \alpha$ ,  $\cos \beta$  és  $\cos \varepsilon$  helyett  $l$ -et,  $e^{\psi_0}$  helyett  $l + \psi_0$ -t írunk. Ezekkel előbbi összefüggésünk a következőképpen módosul:

$$\begin{aligned} \left| \frac{w}{w_\infty} \right| &= \\ &= \frac{1}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} e^{\psi_0} \left( 1 + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta} \right) \left| \sin \alpha \cos(\vartheta + \varepsilon) + \cos \alpha \sin(\vartheta + \varepsilon) + \sin(\alpha + \beta) \right| \simeq \\ &\simeq \frac{1}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} e^{\psi_0} \left( 1 + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta} \right) \left| \sin \alpha (\cos \vartheta - \varepsilon \sin \vartheta) + \sin \vartheta + \varepsilon \cos \vartheta + \sin(\alpha + \beta) \right| \simeq \\ &\simeq \frac{1}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} e^{\psi_0} \left( 1 + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta} \right) \left| \sin \alpha \cos \vartheta + \sin \vartheta + \varepsilon \cos \vartheta + \sin(\alpha + \beta) \right| \simeq \\ &\simeq \frac{1}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} e^{\psi_0} \left( 1 + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta} \right) \left| \sin(\alpha + \beta)(1 + \cos \vartheta) - \sin \beta \cos \vartheta + \sin \vartheta + \varepsilon \cos \vartheta \right| \end{aligned}$$

Bevezetve a  $\sin(\alpha + \beta) = \frac{C_f}{2\pi e^{\psi_0}}$  (37) összefüggést és ennek analógiájára a  $\sin \beta = \frac{C_{f\beta}}{2\pi e^{\psi_0}}$  (38) jelölést,  $e^{\psi_0} = 1 + \psi_0$ -val beszorozva:

$$\begin{aligned} \left| \frac{w}{w_\infty} \right| &= \\ &= \frac{1}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} \left( 1 + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta} \right) \left| \frac{C_f}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) - \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \cos \vartheta + \sin \vartheta + \psi_0 \sin \vartheta + \varepsilon \cos \vartheta \right| = \end{aligned} \quad (39)$$

\* Fourier-soros kifejtésben a függvény konjugáltját úgy kapjuk meg, ha  $\cos$  helyett  $\sin$ -t,  $\sin$  helyett  $-\cos$ -t írunk. Állandó konjugáltja zérust ad.

$$= \frac{1}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} \left| \sin \vartheta + \psi_0 \sin \vartheta + \frac{d\varepsilon}{d\vartheta} \sin \vartheta + \varepsilon \cos \vartheta - \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \cos \vartheta + \frac{C_f}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \right|.$$

Bevezetve az  $\frac{A_n}{r^n} = a_n$  és  $\frac{B_n}{r^n} = b_n$  jelöléseket, továbbá  $\varphi$  helyett az attól csak igen kevésé eltérő  $\vartheta$ -t írva

$$\psi - \psi_0 = \sum_1^{\infty} (a_n \cos n\vartheta + b_n \sin n\vartheta), \quad (40)$$

ennek konjugáltja

$$\varepsilon = \varphi - \vartheta = \sum_1^{\infty} (a_n \sin n\vartheta - b_n \cos n\vartheta), \quad (41)$$

továbbá

$$\frac{d\varepsilon}{d\vartheta} = \sum_1^{\infty} (a_n n \cos n\vartheta + b_n n \sin n\vartheta). \quad (42)$$

Ezeket  $\left| \frac{w}{w_\infty} \right|$  fenti képletébe behelyettesítve és a páratlan, valamint a páros függvényeket külön írva :

$$\begin{aligned} \left| \frac{w}{w_\infty} \right| &= \frac{1}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} \left| \sin \vartheta + \right. \\ &+ \left[ \psi_0 \sin \vartheta + \left( \sum_1^{\infty} a_n n \cos n\vartheta \right) \sin \vartheta + \left( \sum_1^{\infty} a_n \sin n\vartheta \right) \cos \vartheta \right] + \\ &+ \left[ \left( \sum_1^{\infty} b_n n \sin n\vartheta \right) \sin \vartheta - \left( \sum_1^{\infty} b_n \cos n\vartheta \right) \cos \vartheta \right] - \\ &- \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \cos \vartheta + \frac{C_f}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \left| . \end{aligned} \quad (43)$$

Vezessük be a

$$h(\vartheta) = \left[ \psi_0 \sin \vartheta + \left( \sum_1^{\infty} a_n n \cos n\vartheta \right) \sin \vartheta + \left( \sum_1^{\infty} a_n \sin n\vartheta \right) \cos \vartheta \right] \quad (44)$$

és a

$$j(\vartheta) = \left[ \left( \sum_1^{\infty} b_n n \sin n\vartheta \right) \sin \vartheta - \left( \sum_1^{\infty} b_n \cos n\vartheta \right) \cos \vartheta \right]$$

jelöléseket  $[h(\vartheta)$  páratlan,  $j(\vartheta)$  páros függvénye  $\vartheta$ -nak], úgy az alábbi kifejezéshez jutunk :

$$\left| \frac{w}{w_\infty} \right| = \frac{1}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} \left| \sin \vartheta + h(\vartheta) + j(\vartheta) - \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \cos \vartheta + \frac{C_f}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \right|. \quad (45)$$

Mivel  $h(\vartheta)$ -ban csak  $a_n$  együtthatók, vagyis a  $\psi - \psi_0$  Fourier-sorának párosfüggvény együtthatói,  $j(\vartheta)$ -ban viszont csak  $b_n$  együtthatók, vagyis  $\psi - \frac{\psi_e}{2y^e}$  Fourier-sorának páratlan-függvény együtthatói fordulnak elő, a  $\psi = \frac{\psi_e}{2y^e}$  összefüggés kapcsán látható, hogy egy szimmetrikus lapátmetszetnél  $b_n = 0$ , míg egy végtelen vékony ívelt lemezből álló metszetnél  $a_n = 0$ , és  $\psi_0$  is zérus értékű.

Ezek szerint a metszet vastagságának és íveltségének befolyása különválasztható, az előbbi csak  $\psi_0$ -t és  $h(\vartheta)$ -t, utóbbi csupán  $j(\vartheta)$ -t és  $-a_n = 0$ ,  $b_n \neq 0$  lévén  $-a \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \simeq \varepsilon_\pi$  értékét befolyásolja. Utóbbi közelítő összefüggés a  $\sin \beta = \frac{C_{f\beta}}{2\pi e \psi_0}$ , valamint  $\beta = \varepsilon_\pi$  kifejezésekből belátható. Szimmetrikus szárnymetszetnél  $b_n = 0$ , így  $j(\vartheta)$ ,  $\varepsilon_\pi$ , illetve  $\frac{C_{f\beta}}{2\pi}$  is zérus értékű.

Végtelen vékony ívelt lemez metszetnél  $h(\vartheta) = 0$ . Mivel itt  $\psi$  is csak páratlan tagokat tartalmaz és  $\psi(\vartheta)$  folytonos függvény, így  $\psi(0)$  és  $\psi(\pi)$  zérus értékűek. Mivel általában

$$\left[ j(\vartheta) - \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \cos \vartheta + \frac{C_f}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \right]_{\vartheta \rightarrow 0} \neq 0, \quad (46)$$

tehát a »belépőélen« végtelen nagy sebesség keletkezik. A kilépő »élen« ennek elkerülése biztosítva van, mivel

$$\left[ j(\vartheta) - \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \cos \vartheta + \frac{C_f}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \right]_{\vartheta = \pi} = j(\pi) + \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \simeq j(\pi) + \varepsilon_\pi = 0, \quad (47)$$

mert  $\varepsilon_\pi$  értéke beláthatóan  $-j(\pi)$ -vel egyenlő.

A »belépőélen«-en csupán egyetlen  $C_f = C_{f\text{opt}}$  felhajtóerőtényezővel lehet a végtelen nagy sebességet elkerülni. Az optimális felhajtóerőtényező értéke a nyilvánvaló

$$\frac{C_{f\text{opt}}}{2\pi} = -\frac{1}{2} \left[ j(0) - \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \right] \approx -\frac{1}{2} [j(0) + j(\pi)] \quad (48)$$

összefüggésből megállapítható. Ezek szerint a

$$j(\vartheta) - \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \cos \vartheta + \frac{C_f}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \quad (49)$$

kifejezés helyett

$$\begin{aligned} j(\vartheta) - \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \cos \vartheta + \frac{C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) + \frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) = \\ = l(\vartheta) + \frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) - t \text{ írva belátható, hogy} \end{aligned} \quad (50)$$

$$\begin{aligned}
 l(\vartheta) &= j(\vartheta) - \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \cos \vartheta + \frac{C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) = \\
 &= j(\vartheta) + j(\pi) \cos \vartheta - \frac{1}{2} [j(0) + j(\pi)] (1 + \cos \vartheta)
 \end{aligned} \tag{51}$$

mind a  $\vartheta = 0$ , mind a  $\vartheta = \pi$  helyen zérus értékű páros függvény.

Véges vastagságú ívelt metszet felülete mentén kialakuló sebesség tehát a következőképpen írható :

$$\left| \frac{w}{w_\infty} \right| = \frac{1}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} \left| \sin \vartheta + h(\vartheta) + l(\vartheta) + \frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \right|. \tag{52}$$

Mivel a  $h(\vartheta)$  az  $a_n$  együtthatókban, vagyis a vastagság befolyásában,  $l(\vartheta)$ ,  $j(0)$  és  $j(\pi)$  a  $b_n$  együtthatókban, tehát az íveltség befolyásában lineáris, a megoszlási függvények megtartása mellett arányos vastagság, illetve íveltség változás esetén  $h(\vartheta)$ , illetve  $l(\vartheta)$  arányosan változnak. Ezek szerint, ha egy adott metszet vázvonalat, vagyis az azonos abszcisszáknál található felső és alsó ordináták algebrai átlagát megtartva, a vastagságát mindenütt pl. megkétszerez- zük, úgy változatlan  $\frac{C_{f\text{opt}}}{2\pi}$ ,  $\frac{C_{f\beta}}{2\pi}$  mellett  $h(\vartheta)$  értéke megkétszereződik. Ugyanez mondható változatlan vastagság melletti arányos vázvonala ordináta változtatásra az  $l(\vartheta)$ ,  $\frac{C_{f\text{opt}}}{2\pi}$  és  $\frac{C_{f\beta}}{2\pi}$ -vel kapcsolatosan.

Adott szárny, illetve lapátmetszet kerülete mentén kialakuló sebesség- megoszlás meghatározásához tehát a legelső teendő a vastagság és íveltség külön- választása (9. ábra). Mivel a metszet felső határvonalának ordinátája  $y_f = y_j + y_h$ , alsó határvonalának ordinátája  $y_a = y_j - y_h$ ,  $\psi = \frac{2y_f}{\sin \vartheta}$  is két részre bontható, így  $\psi_j = \frac{2y_j}{\sin \vartheta}$  és  $\psi_h = \frac{2y_h}{\sin \vartheta}$ , melyek külön-külön a vázvonala, illetve vastagságmegoszlás alakjával függenek össze.

Amennyiben  $\vartheta$  értékének változását a  $0 - 2\pi$  szakasz helyett a  $0 - \pi$  szakaszra korlátozzuk, úgy a sebességmegoszlást a

$$\left| \frac{w}{w_\infty} \right| = \frac{1}{\sqrt{\psi^2 + \sin^2 \vartheta}} \left\{ \sin \vartheta + h(\vartheta) \pm \left[ l(\vartheta) + \frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \right] \right\} \tag{53}$$

összefüggésből számíthatjuk. A + előjel a  $\vartheta = 0$  helyre és a metszet felső, a - előjel az alsó határvonalára vonatkozik. Ugyanekkor  $\psi = \psi_h \pm \psi_j$  értékkel veendő figyelembe. Így  $\psi_h$  és  $\psi_j$ , valamint  $h(\vartheta)$  és  $j(\vartheta)$  értékeiből  $\left| \frac{w}{w_\infty} \right|$  tetszőle- ges  $\frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi}$  értékénél is meghatározható.

Adott  $C_f$  felhajtóerőtényezőhöz tartozó  $\alpha$  állásszög az

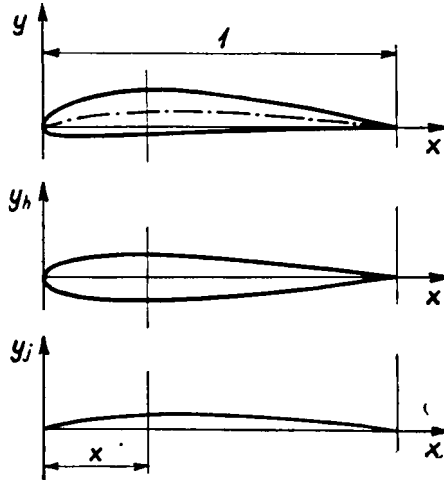
$$\alpha(C_f) = \alpha_{\text{opt}} + \frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi} \tag{54}$$

összefüggéssel számítható, melyben a  $C_{f\ opt}$ -hoz tartozó optimális állásszög értéke a

$$C_{f\ opt} = 2\pi (\alpha_{opt} + \varepsilon\pi) \quad (55)$$

egyenletből

$$\begin{aligned} \alpha_{opt} &= \frac{C_{f\ opt}}{2\pi} - \frac{C_{f\beta}}{2\pi} = \frac{C_{f\ opt}}{2\pi} - \varepsilon\pi = -\frac{1}{2} [j(0) + j(\pi)] + j(\pi) = \\ &= \frac{1}{2} [j(\pi) - j(0)]. \end{aligned} \quad (56)$$



9. ábra

$\alpha_{opt}$  is lineárisan függ össze  $j(\vartheta)$  értékével, vagyis a vázvonalaordinátáinak arányos változtatásával  $\alpha_{opt}$  értéke is arányosan változik. Az is belátható, hogy az  $x = 0,5$ , illetve  $\vartheta = \frac{\pi}{2}$  abszcisszára nézve szimmetrikus vázvonala alaknál  $\alpha_{opt} = 0$ .

A vastagságmegoszlás és  $h(\vartheta)$ , valamint a vázvonala alak és  $j(\vartheta)$  közötti összefüggés a következőképpen állapítható meg:

$$\begin{aligned} \text{Mivel } \psi_h &= \frac{2y_h}{\sin \vartheta} = \psi_0 + \sum_1^{\infty} a_n \cos n\vartheta, \text{ mellyel} \\ 2 \frac{dy_h}{d\vartheta} &= \frac{d\psi_h}{d\vartheta} \sin \vartheta + \psi_h \cos \vartheta = \\ &= \psi_0 \cos \vartheta + \left( \sum_1^{\infty} a_n \cos n\vartheta \right) \cos \vartheta - \left( \sum_1^{\infty} a_n n \sin n\vartheta \right) \sin \vartheta, \end{aligned} \quad (57)$$

másrészt

$$h(\vartheta) = \left[ \psi_0 \sin \vartheta + \left( \sum_1^{\infty} a_n n \cos n\vartheta \right) \sin \vartheta + \left( \sum_1^{\infty} a_n \sin n\vartheta \right) \cos \vartheta \right],$$



látható, hogy

$$\text{conj} \left[ 2 \frac{dy_h}{d\vartheta} \right] = h(\vartheta).$$

Hasonlóan, mivel

$$\begin{aligned} \psi_j &= \frac{2y_j}{\sin \vartheta} = \sum_1^{\infty} b_n \sin n\vartheta, \\ 2 \frac{dy_j}{d\vartheta} &= \frac{d\psi_j}{d\vartheta} \sin \vartheta + \psi_j \cos \vartheta = \\ &= \left( \sum_1^{\infty} b_n \sin n\vartheta \right) \cos \vartheta + \left( \sum_1^{\infty} b_n \cos n\vartheta \right) \sin \vartheta, \end{aligned}$$

másrészt

$$j(\vartheta) = \left[ \left( \sum_1^{\infty} b_n n \sin n\vartheta \right) \sin \vartheta - \left( \sum_1^{\infty} b_n \cos n\vartheta \right) \cos \vartheta \right], \quad (58)$$

látható, hogy

$$\text{conj} \left[ 2 \frac{dy_j}{d\vartheta} \right] = j(\vartheta).$$

A konjugálás és deriválás felcserélhető műveletek, így

$$\begin{aligned} h(\vartheta) &= \text{conj} \left[ 2 \frac{dy_h}{d\vartheta} \right] = 2 \frac{d}{d\vartheta} [\text{conj } y_h(\vartheta)] \\ \text{és} \\ j(\vartheta) &= \text{conj} \left[ 2 \frac{dy_j}{d\vartheta} \right] = 2 \frac{d}{d\vartheta} [\text{conj } y_j(\vartheta)], \end{aligned} \quad (59)$$

vagyis a  $h(\vartheta)$ , illetve  $j(\vartheta)$  keresett függvények az (esetleg grafikusan) adott  $y_h(\vartheta)$ , illetve  $y_j(\vartheta)$  konjugáltjainak kétszeres differenciálhányadosaival egyenlők.  $j(\vartheta)$ -ből  $l(\vartheta)$  könnyűszerrel meghatározható.

A rendszerint  $x$  függvényeként adott  $y$  értékeket tehát  $\vartheta$  függvényeként kell tekinteni. A Fourier-sor helyett trigonometrikus polinomnak tekintett  $y_h$  illetve  $y_j$  függvények konjugáltjainak differenciálhányadosát egyetlen numerikus számítási lépésben meg lehet határozni. Erre a későbbiekben még rátérünk.

Fentebbi összefüggéseinkből az is megállapítható, hogy

$$2 \frac{dy_h}{d\vartheta} = -\text{conj} [h(\vartheta)],$$

illetve

$$2 \frac{dy_j}{d\vartheta} = -\text{conj} [j(\vartheta)],$$

vagyis

$$y_h = -\frac{1}{2} \int_0^{\vartheta} \text{conj} [h(\vartheta)] d\vartheta, \quad (60)$$

továbbá

$$y_j = -\frac{1}{2} \int_0^{\vartheta} \text{conj} [j(\vartheta)] d\vartheta.$$

$y_j$  értéke  $j(\vartheta)$  helyett  $l(\vartheta)$ -ből is meghatározható. Ugyanis

$$l(\vartheta) = j(\vartheta) - \frac{C_{f\beta}}{2\pi} \cos \vartheta + \frac{C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta), \quad (61)$$

ahonnan

$$\text{conj} [j(\vartheta)] = \text{conj} [l(\vartheta)] - \frac{C_{f\text{opt}} - C_{f\beta}}{2\pi} \sin \vartheta.$$

Mivel a vázvonalaordinátája a  $\vartheta = \pi$  helyen zérus, vagyis

$$0 = y_j(\pi) = -\frac{1}{2} \int_0^{\pi} \text{conj} [j(\vartheta)] d\vartheta = -\frac{1}{2} \int_0^{\pi} \text{conj} [l(\vartheta)] d\vartheta + \\ + \frac{1}{2} \cdot \frac{C_{f\text{opt}} - C_{f\beta}}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin \vartheta d\vartheta = -\frac{1}{2} \int_0^{\pi} \text{conj} [l(\vartheta)] d\vartheta + \frac{C_{f\text{opt}} - C_{f\beta}}{2\pi},$$

ahonnan

$$\alpha_{\text{opt}} = \frac{C_{f\text{opt}} - C_{f\beta}}{2\pi} = \frac{1}{2} \int_0^{\pi} \text{conj} [l(\vartheta)] d\vartheta. \quad (62)$$

Ezzel

$$y_j = -\frac{1}{2} \int_0^{\vartheta} \text{conj} [j(\vartheta)] d\vartheta = -\frac{1}{2} \int_0^{\vartheta} \text{conj} [l(\vartheta)] d\vartheta + \\ + \frac{1}{4} (1 - \cos \vartheta) \int_0^{\pi} \text{conj} [l(\vartheta)] d\vartheta.$$

A konjugálás és integrálás szintén egyetlen numerikus számítási lépésben oldható meg.

$l(\vartheta)$  kifejezésének a  $0 - 2\pi$  szakaszon vett integráljából az is belátható, hogy

$$\frac{C_{f\text{opt}}}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} l(\vartheta) d\vartheta, \quad (63)$$

tehát adott  $l(\vartheta)$  függvényből a vázvonalak,  $\alpha_{\text{opt}}$  és  $C_{f\text{opt}}$  is meghatározhatók.

Ezekre az összefüggésekre akkor van szükség, ha a metszet alakját kell adott sebességmegoszlásból meghatározni. A

$$\left| \frac{w}{w_{\infty}} \right| = \frac{1}{\sqrt{(\psi_h \pm \psi_j)^2 + \sin^2 \vartheta}} \left\{ \sin \vartheta + h(\vartheta) \pm \right.$$

$$\pm \left[ l(\vartheta) + \frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \right] \quad (64)$$

összefüggésből a metszet felső határvonalán fellépő sebesség a

$$\left| \frac{w_f}{w_\infty} \right| = \frac{1}{\sqrt{(\psi_h + \psi_j)^2 + \sin^2 \vartheta}} \left\{ \sin \vartheta + h(\vartheta) + \left[ l(\vartheta) + \frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \right] \right\}, \quad (65)$$

az alsó határvonalon keletkező sebesség a

$$\left| \frac{w_a}{w_\infty} \right| = \frac{1}{\sqrt{(\psi_h - \psi_j)^2 + \sin^2 \vartheta}} \left\{ \sin \vartheta + h(\vartheta) - \left[ l(\vartheta) + \frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \right] \right\} \quad (66)$$

egyenletekből számítható, melyekből

$$\sin \vartheta + h(\vartheta) = \frac{1}{2} \left[ \left| \frac{w_f}{w_\infty} \right| \sqrt{(\psi_h + \psi_j)^2 + \sin^2 \vartheta} + \left| \frac{w_a}{w_\infty} \right| \sqrt{(\psi_h - \psi_j)^2 + \sin^2 \vartheta} \right] \quad (67)$$

és

$$l(\vartheta) + \frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) = \frac{1}{2} \left[ \left| \frac{w_f}{w_\infty} \right| \sqrt{(\psi_h + \psi_j)^2 + \sin^2 \vartheta} - \left| \frac{w_a}{w_\infty} \right| \sqrt{(\psi_h - \psi_j)^2 + \sin^2 \vartheta} \right].$$

A  $(\psi_h \pm \psi_j)^2$  a  $\sin^2 \vartheta$  mellett a  $\vartheta = 0$  és  $\pi$  helyek környékét nem tekintve, elhanyagolható. Mivel e helyeken  $\psi_j = 0$ , tehát csak  $\psi_h$ -nak van jelentősége. A  $\vartheta = \pi$  helyen éles kilépőél esetén  $\psi_h$  is zérus értékű.

Ahhoz, hogy adott sebességmegoszlásból  $h(\vartheta)$  és  $l(\vartheta)$  értékeit meghatározzuk,  $\psi$ -t becslés alapján fel kell vennünk. Nem követünk el nagy hibát, ha  $\psi$ -t  $\vartheta$  függvényében  $\vartheta = 0$ -tól  $\pi$ -ig hasonló sebességmegoszlást adó metszetek  $\psi$  értékei alapján csökkenő módon vesszük számításba. Hasznos szolgálatot tehet az a könnyen bizonyítható felismerés, mely szerint

$$\psi_h(0) = \sqrt{2\varrho_B}, \quad (68)$$

ahol  $\varrho_B$  a »belépőél« görbületi sugara.

A becslött  $\psi$  értékekkel  $h(\vartheta)$  és ebből  $y_h$  értékeit meghatározva  $\psi_h(0)$  felvett értéke helyettesíthető, ezzel másodszer  $h(\vartheta)$  és  $y_h$  értékei már a gyakorlat számára kielégítő pontossággal megállapíthatók.

Az

$$l(\vartheta) + \frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi} (1 + \cos \vartheta) \quad (69)$$

értékét is meghatározva, annak  $\vartheta = 0$  helyen felvett  $2 \frac{C_f - C_{f\text{opt}}}{2\pi}$  értékével  $l(\vartheta)$  és ebből  $y_j$  is kiszámítható. A számítás szükség szerint itt is megismételhető. Nem okoz nehézséget  $\alpha_{\text{opt}}$  és  $C_{f\text{opt}}$  meghatározása sem.

A sebességmegoszlás felvételekor leghelyesebb, ha egy adott metszet sebességmegoszlásának óvatos módosításából indulunk ki. Teljesen szabadon felvett sebességmegoszlás könnyen »áthurkolódó« metszetet eredményez.

A numerikus számítások elvégzésére legcélszerűbb a Watson-féle formulákat alkalmazni. Ha a függvény értékeit a  $0 \leq \vartheta \leq \pi$  szakaszon a  $\vartheta = \frac{p\pi}{N}$  helyeken ismerjük ( $p = 0, 1, 2, 3 \dots N$ , ahol  $N$  tetszőleges páros szám), úgy a függvényt  $f(\vartheta)$ -val, konjugáltját  $k(\vartheta)$ -val jelölve, a konjugált differenciálhányadosa

$$\left\{ \frac{d}{d\vartheta} [k(\vartheta)] \right\}_m = \frac{N}{2} [f(\vartheta)]_m + \sum_{\substack{1 \leq p \leq N-1 \\ \text{páratlan}}} \left( -\frac{1}{2N} \operatorname{cosec}^2 \frac{p\pi}{2N} \right) (f_{m+p} + f_{m-p}), \quad (70)$$

ahol  $m$ -mel az  $m$ -edik osztáspontnak  $\left( m \frac{\pi}{N} \right)$  megfelelő  $\vartheta$  szöget jelöljük. Ügyelni kell arra, hogy ha  $m + p > \pi$ , illetve  $m - p < 0$ , akkor páros függvénynél  $f(\pi + \vartheta) = f(\pi - \vartheta)$ , illetve  $f(-\vartheta) = f(+\vartheta)$ , míg páratlan függvénynél  $f(\pi + \vartheta) = -f(\pi - \vartheta)$  és  $f(-\vartheta) = -f(+\vartheta)$ . Az együtthatókat  $\mu_p$ -vel jelölve,  $N = 10$  esetben az alábbi felsorolás tartalmazza :

$\mu_0 = + 5$	$\mu_5 = - 0,099999$
$\mu_1 = - 2,043168$	$\mu_6 = 0$
$\mu_2 = 0$	$\mu_7 = - 0,062980$
$\mu_3 = - 0,242590$	$\mu_8 = 0$
$\mu_4 = 0$	$\mu_9 = - 0,051253$

E séma az adott  $y_h$ , illetve  $y_j$ -ből  $h(\vartheta)$ -nak, illetve  $j(\vartheta)$ -nak az osztáspontokban való meghatározására való. A  $h(\vartheta)$  és  $j(\vartheta)$  azután felrajzolható és közbelső értékek — a szükséghez képest — megállapíthatók.

Az adott sebességmegoszlásból történő metszet-alak meghatározásánál, vagyis az inverz feladatnál a függvény konjugáltjának integráljára van szükségünk. Előző jelölésünket — az együtthatóknak  $\nu$ -vel való jelölésétől eltekintve — változatlanul megtartva, a konjugált függvény *határozatlan* integrálja

$$\left[ \int k(\vartheta) d\vartheta \right]_m = \nu_0 [f(\vartheta)]_m + \sum_{p=1}^{N-1} \nu_p (f_{m+p} + f_{m-p}) + \nu_N f_{m+N}. \quad (72)$$

A páros, illetve páratlan függvénnyel kapcsolatos megjegyzésünk itt is figyelembe veendő,  $N = 10$  esetre a  $\nu_p$  együtthatók a következők :

$\nu_0 = - 0,287897$	$\nu_6 = + 0,048498$
$\nu_1 = - 0,123648$	$\nu_7 = + 0,057462$
$\nu_2 = - 0,045775$	$\nu_8 = + 0,064571$
$\nu_3 = + 0,010802$	$\nu_9 = + 0,067821$
$\nu_4 = + 0,016878$	$\nu_{10} = + 0,069564$
$\nu_{11} = + 0,034167$	

Mivel a formula a függvény konjugáltjának határozatlan integrálját adja,

$$\int_0^{\vartheta = m \frac{\pi}{N}} k(\vartheta) d\vartheta = \left[ \int k(\vartheta) d\vartheta \right]_{\vartheta = m \frac{\pi}{N}} - \left[ \int k(\vartheta) d\vartheta \right]_0. \quad (74)$$

E numerikus eljárással  $h(\vartheta)$ -ből  $y_h$ -t,  $l(\vartheta)$ -ből pedig  $y_j$ -t az osztáspontokban meghatározhatjuk, a közbenső értékeket grafikus interpolálással állapíthatjuk meg.

A számítás időtartamával kapcsolatban megemlíthetem, hogy előkészített táblázatokat alapul véve, két gyakorlott számoló villamos számológéppel  $y_h$  és  $y_j$  értékeiből  $h(\vartheta)$  és  $j(\vartheta)$  értékeit mintegy 6 óra alatt számítja ki.\* A számítás pontossága a tervezői gyakorlatnak tökéletesen megfelel, a szokásos vékony és kevésbé ívelt metszeteknél a hiba 1—2%-on belül marad.

Az eljárás nagy előnye, hogy grafikus differenciálási műveletek nem fordulnak elő, az összes számításokat számológépen el lehet végezni.

Az alábbiakban példaképpen a »Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei« II. kötet 1. számában megjelent dolgozatomban\*\* előforduló

$$y_j = \frac{2}{9\pi} (5x - 9x^2 + 8x^3 - 4x^4) \quad (75)$$

egyenletű,  $x = 0,5$  értékre szimmetrikus vázvonallal  $l(\vartheta)$  és  $\psi_j$ , valamint az

$$\begin{aligned} y_{h_1} &= 0,0935 \sqrt{x(1-x^2)} \quad \text{és} \\ y_{h_2} &= 0,13 \sqrt{x(1-x)} \end{aligned} \quad (76)$$

vastagságmegoszlású szimmetrikus metszetek  $h(\vartheta)$  és  $\psi_h$  értékeit közlöm táblázatos formában. A vázvonallal egyenlete  $C_{f\ opt} = 1,0$  és  $\alpha_{opt} = 0$  értéknek felel meg, a szimmetrikus metszetek 10%-os vastagságúak. A táblázatban a számításhoz szükséges összes értékek fel vannak tüntetve. Ha pl.  $C_{f\ opt} = 0,2$  értékre szerkesztett 3% vastagságú, 1. típusú metszet sebességmegoszlását akarjuk  $C_f = 0,25$  felhajtóerőtényező esetén meghatározni, úgy a 7., 8. és 9. oszlopokban található értékek 0,2-szeresét, a 10., 11. és 12. oszlopokban lévő értékek 0,3-szorosát, a  $\frac{C_f - C_{f\ opt}}{2\pi}$  helyébe pedig  $\frac{0,05}{2\pi} = \alpha = 0,00795$ -öt kell behelyettesíteni. A számítás eredményét és a metszet alakját a 10. ábrán láthatjuk.

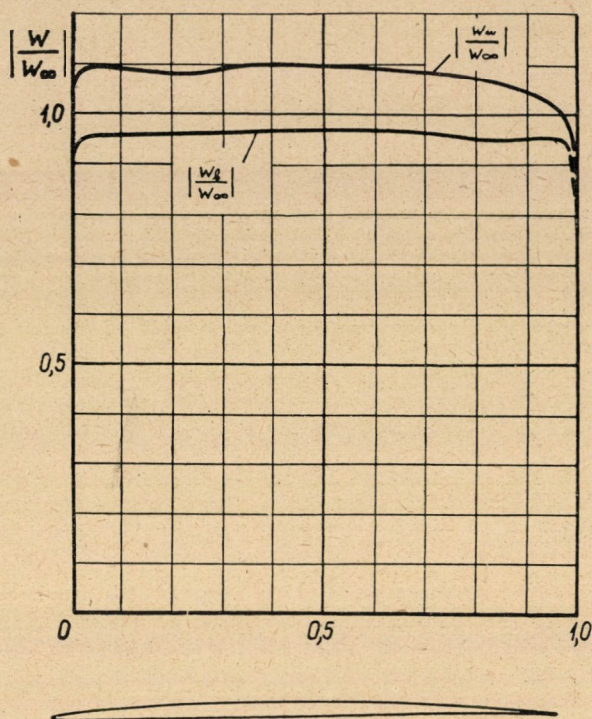
Mivel egy vázvonallal alak és egy vastagságmegoszlás-típussal kétszeresen végtelen sok metszet szerkeszthető, a példaképpen felhozott adatokból is már igen sok esetben használható lapátmetszetalakhoz juthatunk. Ha a metszet az optimális felhajtóerőtényezőtől erősebben eltérő  $C_f$  tényezővel is működhet, úgy

\* E helyen is hálás köszönetet kell mondanom *Litvai Elemér* tanársegéd és *Rozgonyi Cecília* munkatársaimnak, kik a módszer pontosságát ellenőrző ferasztó számításokat végezték.

\*\* Szárnylapátos vízgépeknél alkalmazható szárnymetszetek szerkesztése (71—84. old.).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pont sor-szám	$\vartheta^\circ$	x	$\sin \vartheta$	$\sin^2 \vartheta$	$(1 + \cos \vartheta)$	$\gamma_j$	$l(\vartheta)$	$\psi_j$	$\gamma_{h_1}$	$\psi_{h_1}$	$h_1(\vartheta)$	$\gamma_{h_2}$	$\psi_{h_2}$	$h_2(\vartheta)$
0	0	0,0000	0,0000	0,0000	2,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0935	0,0000	0,0000	0,1300	0,0000
1	18	0,0245	0,3090	0,0955	1,9511	0,0083	0,0392	0,0536	0,0146	0,0946	0,0257	0,0199	0,1288	0,5007
2	36	0,0955	0,5878	0,3455	1,8090	0,0284	0,1297	0,0968	0,0286	0,0974	0,0548	0,0363	0,1236	0,0908
3	54	0,2061	0,8090	0,6545	1,5878	0,0503	0,2172	0,1244	0,0406	0,1005	0,0845	0,0469	0,1158	0,1143
4	72	0,3455	0,9511	0,9045	1,3090	0,0655	0,2682	0,1378	0,0484	0,1017	0,1092	0,0500	0,1051	0,1163
5	90	0,5000	1,0000	1,0000	1,0000	0,0707	0,2830	0,1415	0,0496	0,0991	0,1147	0,0460	0, 919	0,0984
6	108	0,6545	0,9511	0,9045	0,6910	0,0655	0,2682	0,1378	0,0432	0,0909	0,0950	0,0363	0,0764	0,0650
7	126	0,7939	0,8090	0,6545	0,4122	0,0503	0,2172	0,1244	0,0308	0,0762	0,0526	0,0239	0,0590	0,0263
8	144	0,9045	0,5878	0,3455	0,1910	0,0284	0,1297	0,0968	0,0162	0,0550	0,0038	0,0118	0,0402	—0,0076
9	162	0,9755	0,3090	0,0955	0,0489	0,0083	0,0392	0,0536	0,0045	0,0289	—0,302	0,0031	0,0203	—0,0294
10	180	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000





10. ábra

nagyobb vastagság ad kedvezőbb eredményt, vagyis kisebb maximális sebességet. A vastag metszet  $C_f = C_{f_{opt}}$  esetben természetesen kedvezőtlenebb, mint a vékony, ezért egy metszet jóságáról csak az üzemi viszonyok ismeretében lehet véleményt mondani.

## IRODALOM

1. *Th. Theodorsen* : Theory of Wing Sections of Arbitrary Shape. (N.A.C.A. T.R. No 411.)
2. *B. Thwaites* : A Method of Aerofoil Design. Part I. Symmetrical Aerofoils, Aeronautical Research Council R. & M. No. 2166. Part II. Cambered Aerofoils, A.R.C. R. & M. No. 2167.
3. *E. J. Watson* : Formulae for the Computation of the Functions Employed for Calculating the Velocity Distribution about a Given Aerofoil. (Aeronautical Research Council R. & M. No. 2176.)

## Összefoglalás

A tanulmány az axiális vízgépeknél szokásos vékony és kis íveltségű lapátmetszetek szerkesztésével foglalkozik. A közölt módszer Thwaites eljárásának egyszerűsített változata, amennyiben az íveltség hatásának számítását rövidebb úton oldja meg. Az eljárás adott lapátmetszet kerülete mentén kialakuló sebességmegoszlás, vagy adott sebességmegoszláshoz tartozó lapátmetszet meghatározását teszi lehetővé.

# ADALÉKOK AZ ÜLEPÍTÉS KLASSZIKUS ELMÉLETÉHEZ. FINKEY ÜLEPÍTÉS-ELMÉLETÉNEK KRITIKAI VIZSGÁLATA\*)

TARJÁN GUSZTÁV lev. tag

[Beérkezett 1952. június 14-én]

I. Az ülepítésnél a szitán lévő anyaghalmoz fajsúly szerinti szétrétegződése az anyagréteg szakaszos szuszpenzióba vitele és a szitára való visszaüledése útján történik. A szakaszos szuszpenzióba vitel történhet »nyugvó« közegben a szita fel-le mozgatása útján (mint a mozgósítás ülepítőgépeknél), vagy a közegnek az álló szitán át áramoltatásával.

Az ülepítésnél lejátszódó folyamat lényegéről való újabb nézet szerint<sup>1</sup> a fajsúly szerinti szétrétegződés az entrópia törvény értelmében önként, »magától« bekövetkezik, ha a rétegben lévő egyes szemek egymáshoz képest elmozdulhatnak, mert a fajsúly szerint szétrétegződött anyaghalmoz potenciális energiája kisebb, mint a rendezetlen anyaghalmozé: szétrétegződés után az anyaghalmoz súlypontja mélyebbre kerül. E szerint a nézet szerint az anyaghalmoz szuszpendáltatásának egyedüli célja, hogy a szemek egymáshoz képest való elmozdulása bekövetkezhessék. A vízáramlás osztályozó hatása a különféle fajsúlyú, nagyságú és alakú szemekre inkább káros, mint hasznos az ülepítés eredménye szempontjából.

Ez a nézet tehát teljesen szakít az ülepítés klasszikus elméletével, amely a fajsúly szerinti szétrétegződést a vízáramnak a szemekre azok szuszpendált állapotában gyakorolt eltérő hatásával magyarázta. E »klasszikus« ülepítési elmélet matematikájának kidolgozása *Finkey* József nevéhez fűződik. »Die wissenschaftlichen Grundlagen der nassen Erzaufbereitung« című, 1924-ben Julius Springer, Berlin kiadásában megjelent könyvét, amelyet a megjelenése után rövidesen oroszra, angolra és spanyolra is lefordítottak, a szakirodalomban gyakran idézik.

Kétségtelen ugyan, hogy az egyes szemek az anyaghalmoz fellazított állapotában sem tudnak önállóan, szabadon mozogni, és egy periódikusan fel-le áramló vízben lévő *egyetlen* szilárd test mozgására levezetett megállapítások nem érvényesülhetnek az ülepítő gépben lévő szemek tömkelegében, mégis érdemes a szilárd testek fel-le áramló közegben való mozgásának törvényeit megismerni

\* A Magyar Tudományos Akadémián 1952. október 14-én tartott székfoglaló előadás.

<sup>1</sup> *Mayer F. W.*: Eine neue Erklärung des Setzvorganges und ihre Folge für die zweckmässige Gestaltung des Setzhubdiagramms. Glückauf 87 (1951), S. 776, 783.

és a belőlük levonható következtetéseket megállapítani. Ha maguk a szemek ténylegesen nem is mozognak e törvények szerint, ezek megadják azt a törekvést, amely szerint a szemek mozognának, ha arra módjuk lenne. S az összefüggések ismeretében mód nyílik az ülepítési körfolyamnak a jó irányban való szabályozására, hogy t. i. a vízáramlás osztályozó hatása a szemek fajsúly szerinti szét-  
rétegződését ne hátráltassa, hanem inkább elősegítse.

II. A következőkben tehát foglalkozni fogunk a szilárd testnek periódikusan fel-le áramló közegben (vízben) való mozgásával.

A mozgás differenciálegyenlete, ha a Newton-féle közegellenállás érvényes (az áramlás turbulens):

$$m \frac{dv}{dt} = -mg_0 \pm kd^2(u-v)^2. \quad (1a)$$

A felfelé mutató irányt választottuk pozitívnak. Az egyenlet jobboldalán álló első tag ( $mg_0$ ) a test súlya a közegben.  $g_0 = g \frac{\delta - \gamma}{\delta}$  a  $\delta$  fajsúlyú test »relatív« gyorsulása a  $\gamma$  fajsúlyú közegben. A második tag a testre ható közegellenállás.  $u$  a vízáram sebessége,  $v$  a  $d$  szem nagyságú test sebessége,  $k$  a test alakjától és a választott mértékegységektől függő állandó.

Lamináris áramlásokor a Stokes-féle közegellenállás érvényes. Differenciálegyenletünk ekkor

$$m \frac{dv}{dt} = -mg_0 \pm k'd(u-v). \quad (1b)$$

Az (1a) egyenlet  $\frac{dv}{dt} = b$  jelöléssel a  $b = g_0 \left[ -1 \pm \left( \frac{u-v}{v_0} \right)^2 \right]$  alakra hozható.

( $v_0 = \sqrt{\frac{mg_0}{kd^2}}$ , a test süllyedési végsebessége nyugvó közegben.)

Ebből

$$u-v = v_0 \sqrt{\frac{b}{g_0} + 1}, \quad (2a)$$

illetve

$$u-v = -v_0 \sqrt{\frac{-b}{g_0} - 1} \quad (2a')$$

egyenleteket kapjuk. (2a) egyenlet  $b > -g_0$  esetén, (2a') egyenlet  $b < -g_0$  esetén érvényes.

Ha a Stokes-féle közegellenállás érvényes:

$$u-v = v_0 \left( \frac{b}{g_0} + 1 \right) \quad (2b)$$

illetve

$$u - v = -v_0 \left( \frac{-b}{g_0} - 1 \right). \quad (2b')$$

Finkey könyvének 5. fejezete foglalkozik a szilárd test függőleges vízáramban való mozgásával.

Az 5. § 15. egyenlete

$$m \frac{dv}{dt} = mg_0 - \alpha_0 f(v_1 - v)^2,$$

vagy 21. egyenlete

$$m \frac{dv'}{dt} = \alpha_0 f(\Delta v - v') [2v_0 + (\Delta v - v')]$$

aequivalens (1a), illetve (2a) egyenletünkkel.

(Finkey a nehézségi erő irányát választotta pozitívnak.  $f$  a test keresztmetszete,  $v_1$  a víz sebessége,  $v$  a test sebessége,  $v_0$  a süllyedési végsebessége nyugvó vízben,  $v' = -v$ ,  $dv' = -dv$ ,  $\Delta v = -(v_0 + v_1)$ .)

Finkey 5. § 23. egyenlete  $m \frac{dv'}{dt} = 2\alpha_0 f(\Delta v - v')$  azonban már approximatív; ezt  $(\Delta v - v') = 0$  helyettesítésével kapta, és  $u - v = v_0 \left( \frac{b}{2g_0} + 1 \right)$  egyenlettel azonos.

Ebből származik a 42. egyenlet:  $\frac{dv'}{dt} = \frac{2g_0}{\vartheta v_0} (-\vartheta v_0 - v_1 - v')$ , amely egyúttal a 10. § 14. egyenlete is. ( $\vartheta$  a keresztmetszetszűkülési tényező;  $F$  keresztmetszetű csőben mozgó  $f$  keresztmetszetű testre  $\vartheta = \frac{F-f}{F}$ .)

A 10. § 14. egyenletéből kapta Finkey a 10. § 36. egyenletét:

$$v = \vartheta v_0 [1 - e^{-x(\varphi - \varphi_1)}] - \frac{c_0 x}{1 + x^2} [(x \sin \varphi - \cos \varphi) - (x \sin \varphi_1 - \cos \varphi_1) e^{-x(\varphi - \varphi_1)}],$$

hol  $\varphi_1 = \arcsin \frac{\vartheta v_0}{c_0}$  és  $x = \frac{2g_0 r}{\vartheta v_0 c_0}$ . ( $r$  a víz lengésének fél amplitúdója,  $c_0$  a víz maximális sebessége.  $r = \beta \varrho$ , ill.  $c_0 = \beta c$ , hol  $\varrho$  a végtelen hosszú hajtórúddal bíró dugattyú forgatójának sugara,  $c$  a kerületi sebessége.)

E helyett a bonyolult egyenlet helyett ismét egy approximatív egyenletet vezet le Finkey,  $\frac{x}{1+x^2} = \frac{1}{x}$  és  $e^{-x(\varphi - \varphi_1)} = 0$  feltételezésével (39. egyenlet):

$$v = \vartheta v_0 - c_0 \sin \varphi + \frac{c_0}{x} \cos \varphi$$

$\vartheta = 1$ ,  $c_0 \sin \varphi = u$ ,  $\frac{c_0}{x} \cos \varphi = z$  helyettesítésével — ha a nehézségi erővel ellentétes irányt választjuk pozitívnak, — ez az egyenlet így írható:

$$u - v = v_0 + z.$$

A test sebessége ( $v$ ) tehát a vízsebességtől ( $u$ ) a test süllyedési végsebességével ( $v_0$ ) és  $z$  értékkel marad el.

$$z = \frac{c_0}{x} \cos \varphi \text{ képletbe } x = \frac{2g_0 r}{v v_0 c_0} \text{ értékét behelyettesítve, ha } v = 1,$$

$$z = \frac{v_0 c_0^2}{2g_0 r} \cos \varphi \text{ egyenletet kapjuk. De } \frac{c_0}{r} = \omega \text{ és } \varphi = \omega t \text{ lévén:}$$

$$z = \frac{v_0 c_0}{2g_0} \omega \cos \omega t.$$

$$\text{S mivel } c_0 \omega \cos \omega t = \frac{du}{dt}, \quad z = \frac{v_0}{2g_0} \frac{du}{dt}.$$

Finkey tehát — egyrészt a differenciálegyenlet könnyebb megoldása, másrészt az egyenlet egyszerűbb alakra való hozása érdekében — számos közelítéssel és elhanyagolással élt.

Vizsgáljuk meg, hogyan torzítják el ezek a közelítések az eredeti differenciálegyenlet meghatározta függvényt.

III. Mint láttuk, Finkey 5. § 23. egyenlete

$$u - v = v_0 \left( \frac{b}{2g_0} + 1 \right)$$

egyenletnek felel meg, a szigorúan helyes (2a)  $u - v = v_0 \sqrt{\frac{b}{g_0} + 1}$  egyenlet helyett. Sorbafejtve a négyzetgyökös kifejezést, kapjuk

$$\sqrt{\frac{b}{g_0} + 1} = 1 + \frac{b}{2g_0} - \frac{1}{8} \left( \frac{b}{g_0} \right)^2 + \frac{1}{16} \left( \frac{b}{g_0} \right)^3 - \frac{5}{128} \left( \frac{b}{g_0} \right)^4 + \dots$$

Finkey egyenlete tehát csak  $\frac{b}{g_0}$  kis értékeinél símul jól a tényleges függvényhez, ott, ahol a négyzetes és magasabb hatványú tagok elhanyagolhatók.

Dugattyús ülepítőgépekben a dugattyú maximális gyorsulása — általában — 200—600 cm/mp<sup>2</sup> között van, amint az az I. táblázatból kitűnik.  $n$  a percnkénti löketszámot,  $h$  cm a lökethosszat jelenti.

$B_{\max} = \frac{h}{2} \omega^2 = \frac{h}{2} \left( \frac{n\pi}{30} \right)^2$  a maximális gyorsulás,  $V_{\max}$  a maximális sebesség excenteres vagy forgattyús meghajtással és végtelen hosszú hajtórúddal számolva. (Könykemelőrs meghajtással ennél nagyobb a maximális gyorsulás és sebesség.) Az  $n$  és  $h$  értékek Taggart »Handbook of Ore Dressing« (John Wiley, New-York, 1927) című könyvéből valók (p. 679—700).

A víz gyorsulása a szita alatt a dugattyú gyorsulásánál rendszerint kisebb, egyrészt, mert a dugattyú és az ülepítőgép fala közötti résen a víz egy része visszarámlik ( $\beta = 0,7 - 0,9$ ), másrészt, mert a szítás szakasz a dugattyús szakasznál

I. TÁBLÁZA

Ülepítőgép típusa	d mm	n	h cm	B <sub>max</sub> cm/mp <sup>2</sup>	V <sub>max</sub> cm/mp	Ülepítőgép típusa	n	h cm	B <sub>max</sub>	V <sub>max</sub>
<i>Érc :</i>						<i>Szén :</i>				
<i>Harz</i>	1	300	0,5	246	8,8	<i>Lehigh</i>	96—	7,6	400—	40—
	5,6—4	200	2	436	21,0		100	11,4	600	57
	11—8	160	3	420	25,1	<i>Reading</i>	140	5,1	550	37,4
	22—16	120	4,6	362	29		100	10,2	562	53,4
<i>Harz</i>	7,6—33	190	1,9	342	18,9	<i>Elmore</i>		2,9—	206—	17—
	2,2—1,3	248	1,11	368	14,4		114	3,2	226	19
	1,3—0,9	264	0,63	243	8,7		75	4,1—	128—	16—
<i>Cooley</i>			2,6—	188—	15,7—	<i>Lührig</i>		5,9	183	23,2
		115	4,4	317	26,5		79	7,6—	258—	31—
			2,9—	246—	19—			17,8	605	73,6
		125	0,3	323	25		157	1,9—	256—	16—
			0,3—	95—	3,8—			5,1	690	42
		240	0,48	151	6,0					
<i>Hodge</i>			1,3—	194—	11,2—					
		165	2,22	330	19,2					

gyakran valamivel nagyobb (1,1 — 1,3).  $\frac{0,7}{1,3} \sim \frac{0,9}{1,1} \sim 0,54 \sim 0,82$ . Ilyen arányban csökken a víz gyorsulása és sebessége a szita alatti térben a dugattyú gyorsulásához és sebességéhez képest.

A szitán lévő anyagréteg hézagain való áthaladása közben azonban a víz sebessége is és gyorsulása-lassulása is sokszorosa a szita alatti térben mérhető értékeknek. A keresztmetszetszűkülés arányában nő a víz sebessége és gyorsulása. Az anyaghalmoz hézagai összefüggő csatornahálózatot képviselnek, amelyben az egyes rések keresztmetszete pontról-pontra változik. A hirtelen tágulások és szűkülések helyén a víz sebessége is hirtelen változik, vagyis igen nagy gyorsulások-lassulások keletkeznek. Az anyagréteg fellazított állapotában nagyobb a hézagok átlagos keresztmetszete, mint a leülepedő s fokozatosan összeháródó anyag esetében. A nagyobb és nehezebb szemek hamarabb visszaülednek a szitára. A közöttük lévő hézagon a szíváskor visszaáramló víz sebessége s a hirtelen keresztmetszetváltozások helyein a gyorsulása-lassulása is különösen nagy lesz. A finomabb szemecskékre tehát, amelyek a nagyobb szemek hézagaiban még elférnek, különösen nagy vízgyorsulások-lassulások hatnak.

Ezeknek a pontos értékét nem lehet kiszámítani. Hogy a nagyságrendjükről tájékozódjunk, határozzuk meg az egyforma nagy gömbök rendezett halmazának hézagaiban jelentkező vízgyorsulásokat.

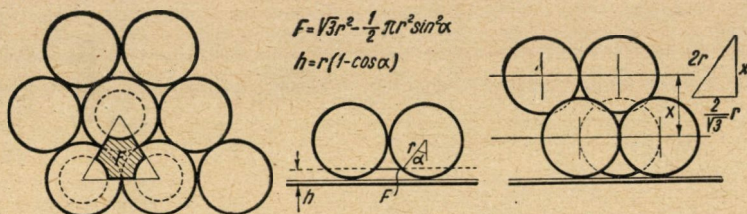
1. Tételezzük fel, hogy az egymással érintkező gömbök *tetraéderes* elrendezésűek. (Ekkor legkisebb a hézag a gömbök között.) Az *I. ábra* szerint a fenéktől  $h = r(1 - \cos \alpha)$  magasságban a hézag keresztmetszete

$$F = \sqrt{3} r^2 - \frac{1}{2} \pi r^2 \sin^2 \alpha.$$



Legyen  $V$  a vízsebesség a szita alatti szabad térben. Az  $F$  keresztmetszeten átáramló vízmennyiség  $Q = \sqrt{3}r^2V$ , tehát a hézagban áramló víz sebessége

$$U = \frac{Q}{F} = \frac{\sqrt{3}r^2V}{\sqrt{3}r^2 - \frac{1}{2}\pi r^2 \sin^2 \alpha} = \frac{V}{1 - \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \sin^2 \alpha} = \frac{V}{1 - 0,905 \sin^2 \alpha}$$



1. ábra

$dh = r \sin \alpha d\alpha$ , azaz

$$dt = \frac{dh}{U} = \frac{r \sin \alpha (1 - 0,905 \sin^2 \alpha)}{V} d\alpha.$$

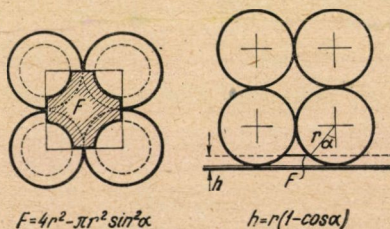
Továbbá

$$dU = \frac{0,905 V \cdot 2 \sin \alpha \cos \alpha}{(1 - 0,905 \sin^2 \alpha)^2} d\alpha = \frac{0,905 V \sin(2\alpha)}{(1 - 0,905 \sin^2 \alpha)^2} d\alpha,$$

tehát a víz gyorsulása

$$\frac{dU}{dt} = \frac{0,905 \sin(2\alpha)}{(1 - 0,905 \sin^2 \alpha)^3 \sin \alpha} \cdot \frac{V^2}{r}.$$

2. Ha hexaédes elrendezésben vannak az egymással érintkező egyforma



2. ábra

nagyságú gömbök, a 2. ábra szerint  $F = 4r^2 - \pi r^2 \sin^2 \alpha = r^2(4 - \pi \sin^2 \alpha)$  és  $Q = 4r^2V$ ; tehát

$$U = \frac{Q}{F} = \frac{4r^2V}{r^2(4 - \pi \sin^2 \alpha)} = \frac{V}{1 - \frac{\pi}{4} \sin^2 \alpha} = \frac{V}{1 - 0,785 \sin^2 \alpha}$$

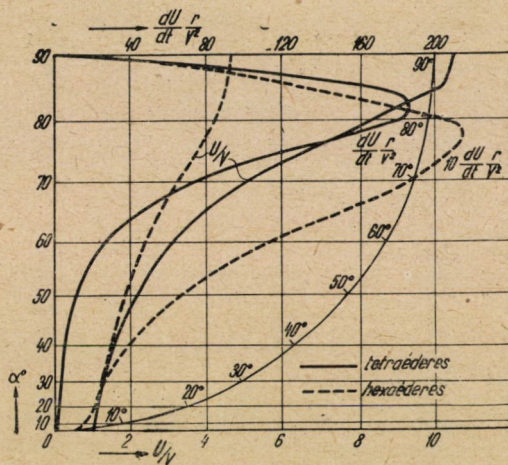


$$dt = \frac{dh}{U} = \frac{r \sin \alpha (1 - 0,785 \sin^2 \alpha)}{V} d\alpha$$

$$dU = \frac{0,785 V \cdot 2 \sin \alpha \cos \alpha}{(1 - 0,785 \sin^2 \alpha)^2} d\alpha = \frac{0,785 V \sin (2\alpha)}{(1 - 0,785 \sin^2 \alpha)^2} d\alpha,$$

$$\frac{dU}{dt} = \frac{0,785 \sin (2\alpha)}{(1 - 0,785 \sin^2 \alpha)^3 \sin \alpha} \cdot \frac{V^2}{r}$$

Ezekkel a képletekkel számolva kapjuk a II. táblázat adatait, és a 3. ábra görbéit.



3. ábra

II. TÁBLÁZAT

$\alpha^2$	Tetraédéres		Hexaédéres	
	$\frac{dU}{dt} \cdot \frac{r}{V^2}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{dU}{dt} \cdot \frac{r}{V^2}$	$\frac{U}{V}$
0	0	1	0	1
10	1,935	1,03	1,66	1,02
20	2,375	1,12		
40	5,65	1,60		
45	7,80	1,825	4,94	1,65
50	11,38	2,14		
60	27,85	3,13	11,5	2,45
70	77,4	5,00	18,7	3,27
78	157,0	7,63	21,50	4,02
80	182,0	8,33	19,76	4,25
81	186,5	8,70	19,58	4,30
85	161,9	10,20	13,06	4,56
88	73,5	10,4	5,51	4,64
90	0	10,52	0	4,65

A maximális gyorsulás tetraédéres elrendeződésnél  $\alpha = 81^\circ$ , hexaédéres elrendeződésnél  $\alpha = 78^\circ$  tájékán mutatkozik.

Az 1. rajz szerint tetraéderes elrendezésnél az egymás feletti golyórétegek

$$x = \sqrt{4r^2 - \frac{4}{3}r^2} = \sqrt{\frac{8}{3}}r = 1,63r$$

távolságban vannak egymástól, vagyis egy golyó sor hézaga a golyók középpontján átmenő síktól felfelé és lefelé  $0,63r$  távolsáig, vagyis  $\alpha = \arccos 0,63 = 51^\circ$  felett ugyanolyan módon változik, amint az a levezetésünkben van; a szomszédos golyó sorok befolyása a hézag alakulására csak ezen távolságon túl ( $0-51^\circ$  között) jelentkezik.

Taggart p. 679 (l. az I. táblázatunkat) szerint egy Harz-típusú ülepítő gép 11—8 mm-es galenites érc ülepítésekor  $n = 160$ ,  $h = 3$  cm dugattyú lökettel járt. A dugattyú legnagyobb sebessége és gyorsulása eszerint 25,1 cm/mp, ill. 420 cm/mp<sup>2</sup>. A víz sebességét a szita alatti térben a dugattyú sebességének 0,7-szeresére becsülve:  $V_{max} \approx 0,7 \cdot 25 = 17,5$  cm/mp. Az ércszemcséket 1 cm átmérőjű gömböknek tételezve fel ( $r = 0,5$  cm), a maximális vízgyorsulás-lassulás tetraéderes elrendeződéskor kb.  $\frac{V^2}{r} \cdot 187 = \frac{17,5^2}{0,5} \cdot 187 = 28\,600$  cm/mp<sup>2</sup>  $\approx 29$  g, vagy hexaéderes elrendezéséskor kb.  $\frac{V^2}{r} \cdot 21,5 = 3300$  cm/mp<sup>2</sup>  $\approx 3,4$  g.

A szemek közti vízsebesség ( $U$ ) értéke a szem nagyságtól független. A víz gyorsulása-lassulása azonban a szem nagyság csökkenésével arányosan nő. (Pl. 1 mm-es gömbök esetén a szemek közti maximális vízgyorsulás kb. 290 g, ill. 34 g.)

Ez a gyorsulás szuperponálódik a víznek a dugattyúmozgás okozta kb.  $\frac{g}{5} - \frac{g}{2}$  nagyságrendű primér gyorsulására.

A víz visszaáramlása az ülepítő gép szitáján lévő anyaghalmozat erősen tömöríti. Mivel nem egyforma nagy golyók, hanem különböző nagyságú szabálytalan testek alkotják az anyaghalmozatot, a leülepedett anyagban valószínűleg még kisebb a hézag és még nagyobb gyorsulások-lassulások keletkeznek, mint az azonos nagyságú gömbök tetraéderes elrendezésénél.

A szemcsék gyorsulása — nagyjából és első közelítésben — követi a víz gyorsulását, esetenként és időnként ezért a  $b/g_0$  érték is igen nagy lehet, úgyhogy ilyenkor  $\sqrt{\frac{b}{g_0} + 1}$  helyére a Finkey-féle  $\left(\frac{b}{2g_0} + 1\right)$  kifejezést helyettesítve a valóságtól esetleg erősen eltérő eredményre jutunk.

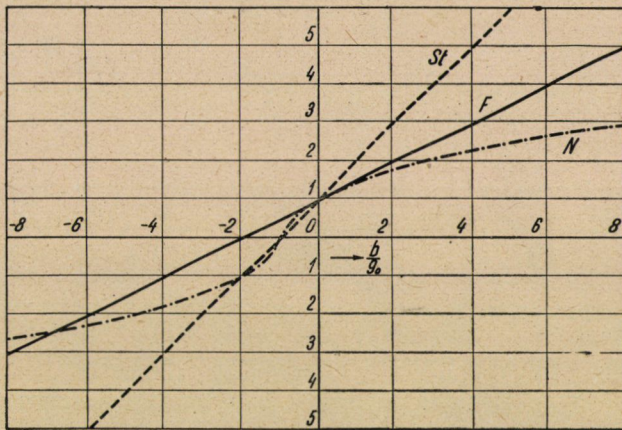
A III. táblázat és a 4. ábra tünteti fel  $\frac{b}{g_0}$  függvényében az  $F = \left[\frac{b}{2g_0} + 1\right]$ , ill.  $N = \sqrt{\frac{b}{g_0} + 1}$  értékek változását, —  $\left[\frac{b}{g_0} < -1\right]$  esetén —  $\sqrt{\frac{-b}{g_0} - 1}$  lép —  $\sqrt{\frac{b}{g_0} + 1}$  helyére] — valamint a Stokes-féle közegellenállás érvényességéskor



jelentkező  $St = \left(\frac{b}{g_0} + 1\right)$  értékét is. Ezeket  $v_0$ -val megszorozva kapjuk  $u-v$  értékét, vagyis azt, hogy mennyivel marad el a szilárd szem sebessége a víz sebességétől.

## III. TÁBLÁZAT

$b/g_0$	-8	-6,825	-4	-3	-2	-1,5	-1	-0,5	0	0,5	1	2	3	4	8
F	-3	-2,4125	-1	-0,5	0	0,250	0,50	0,750	1	1,25	1,5	2	2,5	3	5
N	-2,64	-2,4125	-1,73	-1,41	-1	-0,706	0	0,706	1	1,225	1,41	1,73	2,0	2,236	3
St	-7	-5,825	-3	-2	-1	-0,50	0	0,500	1	1,5	2	3	4	5	9



4. ábra

$$-\sqrt{-x-1} = \frac{x}{2} + 1 \text{ egyenletből } x = -4 \pm \sqrt{8}; \text{ F és N tehát } b/g_0 =$$

$= -4 - \sqrt{8} = -6,825$  értéknél metszi egymást,  $b/g_0 = 0$  helyen érintik egymást  $F$  és  $N$  görbék,  $-6,825$ -nél nagyobb  $b/g_0$  értékeknél  $N$  görbe az  $F$  egyenes alatt,  $-6,825$ -nél kisebb  $b/g_0$  értéknél  $N$  az  $F$  egyenes felett halad.  $0$  és  $-6,825$  között  $b/g_0 = -2$  értéknél tér el egymástól a legjobban  $N$  és  $F$ ;  $0$ -nál nagyobb és  $-6,825$ -nél kisebb  $b/g_0$  értékeknél fokozatosan mind nagyobb lesz az  $N$  és  $F$  közti eltérés. (Pl.  $b/g_0 = 20$ -nál  $F = 11$ ,  $N = 4,58$ ,  $b/g_0 = -20$ -nál  $F = -9$ ,  $N = -4,35$ .)

Az I. táblázat szerint szén ülepitésénél  $500-600 \text{ cm/mp}^2$  közötti dugattyúgyorsulások lépnek fel, sőt  $690$  értékű is. A szita alatti vízgyorsulást ennek  $0,7$ -szeresére véve fel:  $0,7 \cdot 600 = 420 \text{ cm/mp}^2$  értékű vízgyorsulással számolhatunk. A szén relatív (kezdő) gyorsulása ( $\delta = 1,3$  és  $\gamma = 1$  fajsúllyal számolva):\*

\* Az ülepitőgépből a víz többé-kevésbé iszapos, úgyhogy általában  $\gamma > 1$ , tehát  $g_0$  még kisebb.

$$g_0 = g \frac{\delta - \gamma}{\delta} = 981 \cdot \frac{0,3}{1,3} = 226 \text{ cm/mp}^2; \text{ vagyis } b/g_0 \cong \frac{420}{226} = \pm 1,86$$

értékű: már a dugattyúmozgásból eredő vízgyorsulás is megközelíti a  $-2$  értéket, ahol nagy az eltérés  $F$  és  $N$  között.

Ércek ülepítésénél a legkisebb fajsúlyú meddőásvány fajsúlya rendszerint  $2,6-2,7$  között van, úgyhogy itt (ha  $\gamma = 1$ )  $g_{0min.} = 604 \text{ cm/mp}^2$ . Az I. táblázat szerint ércek ülepítésénél  $300 \text{ cm/mp}^2$  körüli dugattyúgyorsulások a leggyakoribbak (bár  $436$  érték is előfordul), úgyhogy a dugattyúmozgás okozta vízgyorsulás kb.  $0,7 \cdot (300 - 436) = 210-306 \text{ cm/mp}^2$  értékű lehet. Itt tehát — (ha az ásványszemek gyorsulása azonos evvel a vízgyorsulással) —  $b/g_0 = \frac{210}{604} \sim \frac{306}{604} = 0,35 \sim 0,51$ .  $b/g_0 = -0,5$  és  $+0,5$  között azonban  $F$  és  $N$  eltérése csak kismérvű, úgyhogy itt a pontosság nagyobb kára nélkül a Finkey-féle képlettel is számolhatunk azoknál a szemeknél, ill. az ülepítési periódus azon szakaszában, ahol a szemek közti hézagban nagyobb sebességgel átáramló víz nagyobb gyorsulásokat-lassulásokat létesítő hatásától eltekinthetünk.

Ez azonban az ülepítésnél a valóságban sohasem történik. A szilárd szemek az ülepítőgépből lévő anyag leginkább fellazított állapotában is elfoglalják a vízáramlásra merőleges keresztmetszet egy részét, úgyhogy a víz sebessége a szemek között mindig nagyobb, mint a szita alatti térben.

Egyforma nagy kockák hexaéderes elrendezésekor pl., ha a  $d$  élhosszúságú kockák közti hézag  $l$ , a vízsebesség a kockák között a szita alatti vízsebességnek  $\frac{(d+l)^2}{(d+l)^2 - d^2}$ -szorososa. Ennek reciproka megfelel a Finkey-féle keresztmetszet-szűkülési tényezőnek:  $\vartheta = \left[ 1 - \left( \frac{d}{d+l} \right)^2 \right]$ . A szilárd testek térfogataránya az anyagalmaz + vízkeverékben:  $\sigma = \left( \frac{d}{d+l} \right)^3$ . A szilárd testek és a víz keverékének átlagos fajsúlya — (ha  $\delta$  a szilárd test és  $\gamma$  a víz fajsúlya) —  $\gamma' = \sigma\delta + (1 - \sigma)\gamma$ .

A szitán visszaáramló víz tömörítő hatására az anyag legtömörebb állapotában a szilárd szemek közti hézag — mint arról már volt szó — valószínűleg még kisebb is lehet, mint a tetraéderes elrendezésű egyforma nagy gömbök hézaga. Az utóbbi kb.  $26\%$ , vagyis itt  $\sigma = 0,74$ . Egyforma nagyságú kockákkal helyettesítve a gömböket, a köztük levő átlagos hézag

$$-\left( \frac{1}{\sqrt{\sigma}} = \frac{d+l}{d} = 1 + \frac{l}{d}, \text{ ill. } \frac{l}{d} = \frac{1}{\sqrt{\sigma}} - 1 \text{ képletből!} \right) -$$

$$l = 0,106 d. \quad \vartheta = 1 - \left( \frac{1}{1,106} \right)^2 = 0,18, \text{ vagyis a szemek közti}$$

átlagos vízsebességnek a szita alatti, vagy a szilárd szemek rétege feletti vízsebességhez való viszonya  $1/\vartheta = 5,55$ .

A szabálytalan szemek közti tényleges vízsebesség ennél az átlagos sebességnél sokkal nagyobb értékű is lehet. Pl. a 3. ábra szerint a tetraéderez elrendezésű gömbök közötti maximális vízsebesség a szita alatti sebesség 10,5-szerese, míg az átlagos vízsebesség itt kb. — (a görbétől balra eső területtel azonos területű és magasságú derékszögű négyszög alapjaként nyerhető) — 3,5-szerese a szita alatti sebességnek.

A szabálytalan szemek közti hézagok hirtelen megváltozása okozta nagy vízsebességváltozások (gyorsulások és lassulások) még nagyobbak, mint a tetraéderez elrendezésű gömbökre a 3. rajzzal kapcsolatban kapott maximális értékek. (1 cm-es gömböknél kb. 29 g, 1 mm-es gömböknél kb. 290 g.)

De ezektől a szélsőséges értékektől eltekintve is, tisztán a vízsebességek átlagos értékének a nagyságrendjére — mint láttuk — a zárt anyaghalmoz esetén — ha  $\sigma = 0,74$  — kb. 5,55-ször nagyobb érték adódik, mint amekkora a vízsebesség a szita alatti térben.

Munroe kísérletei szerint a sok szem egyidejű mozgásakor jelentkező keresztmetszetszűkülési tényező a Finkey-féle »elméleti«  $\epsilon_F = \left[ 1 - \left( \frac{d}{d+l} \right)^2 \right]$  érték helyett a valóságban inkább a  $\epsilon_M = \left[ 1 - \left( \frac{d}{d+l} \right)^{3/2} \right]$  értéket közelíti meg, turbulens áramlási viszonyok mellett. Ezzel a Munroe-féle képlettel számolva  $\vartheta_M = 0,141$  és  $1/\vartheta = 7,09$  értékekre jutunk  $\sigma = 0,74$  esetén, a Finkey-féle  $\vartheta_F = 0,18$  és  $1/\vartheta = 5,55$  értékek helyett.

$\sigma$  különböző értékeihez tartozó átlagos hézagot ( $l/d$ ), szuszpenziófajsúlyt ( $\gamma'$ ) kvarc esetében ( $\delta = 2,65$ ), a Finkey- és a Munroe-képlet szerint adódó  $\vartheta$  keresztmetszetszűkülési tényezőt és ennek reciprokát, azaz az anyagrétegben mutatkozó átlagos vízsebességnek a szita alatti tér vízsebességéhez való viszonyát a IV. táblázat és az 5. ábra adja meg. (Azonos szemmagyságú szilárd szemek-meknél.)

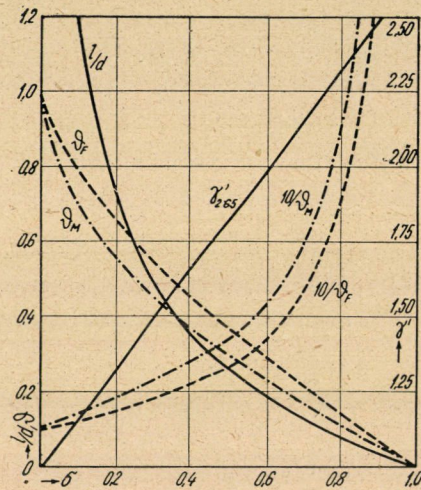
Ha a  $\sigma$  térfogatsűrűségű összetömörült réteg vastagsága  $R$  cm és fellazult állapotban a rétegvastagság  $R'$ , a fellazult anyaghalmoz térfogatsűrűsége  $\sigma' = \frac{R}{R'} \sigma$  lesz.  $R' = R + s_f - s_a = R + \Delta s$ , hol  $s_f$  és  $s_a$  a felső és alsó rétegsor szemcséinek azonos időpontban elért emelkedését jelöli. Az alsó, nagyfajsúlyú rétegsor szemcséi a legtöbbször már visszaüledtek a szitára, amikor a felső rétegsor szemcséi még a legmagasabb helyzetükben, vagy ahhoz közel vannak. Úgyhogy közelítőleg  $R'_{\max} = R + s_{f \max}$ . A 6. ábra próbálja a viszonyokat érzékeltetni.

A  $\sigma'$  értékek változását különböző  $R$  értékekre a  $\Delta s$  függvényben a 7. ábrán látjuk. Pl. ha egy  $R = 10$  cm-es réteg  $R' = 14$  cm-re fellazul ( $\Delta s = 4$  cm), a szilárd szemek térfogataránya  $\sigma' = 0,53$  értékűre változik az eredeti  $\sigma = 0,74$  értékről. (Ugyanakkora lesz  $\sigma'$  pl. egy 15 cm-es réteg 21 cm-re, vagy egy 5 cm-es réteg 7 cm-re való fellazulásakor is.)

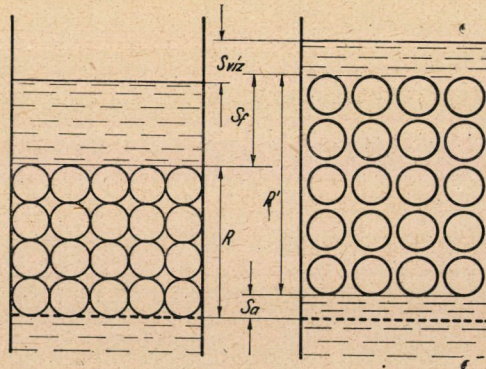


## IV. TÁBLÁZAT

	$l/d$	$\gamma'_{kv}$	$\bar{v}_F$	$\bar{v}_M$	$1/\bar{v}_F$	$1/\bar{v}_M$
0,80	0,078	2,32	0,138	0,109	7,23	9,17
0,70	0,128	2,16	0,210	0,166	4,75	6,02
0,60	0,186	1,99	0,289	0,227	3,46	4,40
0,50	0,259	1,83	0,368	0,292	2,72	3,42
0,40	0,357	1,66	0,456	0,369	2,19	2,71
0,30	0,493	1,50	0,555	0,451	1,80	2,22
0,20	0,710	1,33	0,657	0,554	1,52	1,81
0,10	1,155	1,16	0,784	0,6845	1,275	1,46



5. ábra

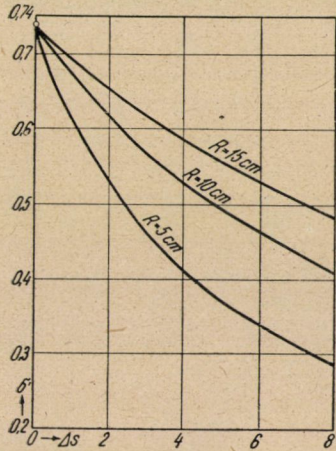


6. ábra

$\sigma' = \sigma \frac{R}{R + \Delta s}$  a szilárd szemeknek a teljes rétegvastagságra vonatkozó átlagos térfogatsűrűségét adja meg. Különböző rétegmagasságokban — a különböző



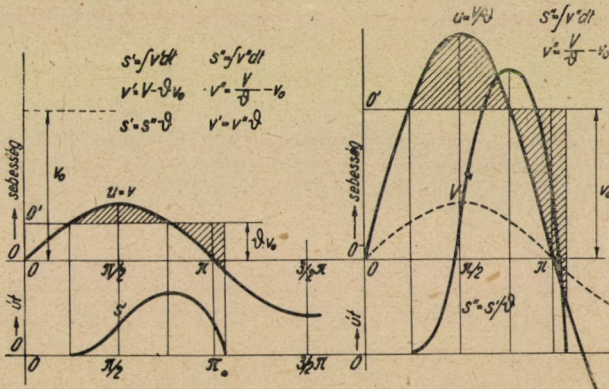
fajsúlyú rétegekben — egyidejűleg eltérők lehetnek a sűrűségek. Pl. amikor az alsó rétegsorok már visszaüledtek a szitára s a felső rétegek még lebegnek, az alsó réteg sűrűsége közel azonos az eredeti, összetömörült anyagalmazra érvé-



7. ábra

nyes  $\sigma$ -val, míg ugyanakkor a felső rétegek sűrűsége a legjobban fellazult állapothoz tartozó  $\sigma'_{min}$ -mal közel azonos értékű lehet.

A szemek emelkedését ( $s$  értékeit) a  $v = u - v_0 - z$  sebességgörbék integrálgörbéje mutatja. Ha a  $z$  »slipet« egyelőre figyelmen kívül hagyjuk,



8. ábra

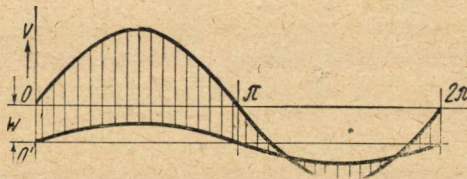
$v_{elm} = u - v_0$  függvény integrálgörbéje adja az  $s$  értékeit. Sok szem jelenlétekor Finkeynél  $u$  a szita alatti vízsebesség ( $v$ ) és  $v_0$  helyett  $\delta v_0$  van. Helyesebbnek látszik azonban, ha  $v_0$  változatlan marad, de  $u$  helyére a szemek közti hézagban jelentkező vízsebességeket helyettesítjük. Ha  $V$  a szita alatti vízsebességet jelenti,  $u = V/\delta$  a szemek közti hézagban a víz sebessége.



Finkey módszere szerint a szita alatti, vagy a szilárd szemek feletti víz (= a vízfelszín) mozgása mindig nagyobb, mint a szemeké; a másik módszer szerint a szemek emelkedése nagyobb is lehet, mint a vízfelszíné. (Ilyenkor természetesen a szilárd anyag felett tiszta vízrétegnek is jelen kell lennie, s a szilárd anyag felső rétege fellazult állapotában közelebb kerül a vízfelszínhez, mint a szitára visszaüledett helyzetében. L. a 6. ábrán is.) A 8. ábra tünteti fel a sebesség- és útviszonyokat a kétféle módszer alkalmazása esetére. A javasolt újabb módszer szerint kapott sebesség- és utértékek a Finkey-féle módszer szerint kapott értékek  $1/\sqrt{2}$ -szorososa.

Egy előző példánkban már említett, kb. 1 cm-es galenites ércet feldolgozó Harz-típusú ülepítőgépből ( $n = 160$ ,  $h_{\text{dug.}} = 3$  cm) a maximális szita alatti vízsebesség  $V_{\text{max.}} = 17,5$  cm/mp. A vízjáték nagysága a szita alatti, ill. az anyagréteg feletti térben (= a vízfelszín emelkedése)

$$s_{\text{viz}} = \int V dt = \frac{V_{\text{max}}}{\omega} \int_0^{\pi} \sin \omega t d\omega t = \frac{2 V_{\text{max}}}{\omega} = \frac{2 \cdot 17,5 \cdot 30}{160\pi} = 2,087 \text{ cm.}$$



9. ábra

Ha alsó mosóvizet is vezetünk az ülepítőgépből, ennek hatása — első közelítésben — az abszcisszatengelynek  $w$  értékkel: a mosóvíz szita alatti sebességével lefelé való eltolásában jelentkezik. A valóságban a lökés periódusában kevesebb, a szívás periódusában több víz folyik az ülepítőgépből, az ülepítőgép belsejében jelentkező nyomásviszonyok megfelelő változásának eredményeként, kb. a 9. ábra szerint. A szita alatti térben jelentkező valóságos eredő vízsebességek a lökés periódusában is, meg a szívás periódusában is kisebbek lesznek, s maga a lökési periódus kissé meghosszabbodik és a szívási periódus megrövidül avval a fiktív állapottal szemben, amelyet az abszcisszatengelynek párhuzamos eltolása révén első közelítésként kapunk.

Vizsgáljuk meg, — a közelítő feltételek, tehát az abszcisszatengely parallel eltolása és a slip elhanyagolása mellett, — hogy pl.  $w = 8$  cm/mp sebességű alsó mosóvíz bevezetése hogyan változtatja meg a vízfelszín emelkedését. Ekkor  $V = w + V_{\text{max}} \sin \omega t$ , tehát

$$s_{\text{viz}} = \int V dt = \frac{w}{\omega} \cdot d\omega t + \frac{V_{\text{max}}}{\omega} \int \sin \omega t d\omega t = \frac{w}{\omega} \omega t \Big|_{\varphi_1}^{\varphi_2} - \frac{V_{\text{max}}}{\omega} \cos \omega t \Big|_{\varphi_1}^{\varphi_2}.$$





A szemek emelkedésének nagysága határozza meg — adott  $R$  és »tömör«  $\sigma$  értékek mellett —  $R'$  értékét; ez határozza meg a fellazult állapot  $\sigma'$  térfogatsűrűségét,  $l/d$  átlagos hézagot és  $\vartheta$  értékét. Nagyobb fellazuláshoz kisebb  $\sigma'$ , nagyobb  $l/d$  és nagyobb  $\vartheta$  tartozik, a már megismert összefüggések szerint.

Becslés vagy »érvés« szerint megválasztva a fellazulás  $\Delta s$  (ill. a hozzátartozó  $\sigma'$ , ill.  $l/d$ , ill.  $\vartheta$ ) értékét, a 10. ábra szerinti szerkesztés útján kapott  $\Delta s$  érték általában nem lesz mindjárt megfelelő. A »regula falsi« módszerét követve (vagyis az így kapott  $\Delta s$ , ill. hozzátartozó  $\vartheta$  értékkel megismételve a szerkesztést), 2—3 próbálkozással elérkezünk a kb. megfelelő értékhez. A 10. ábrát már ezekkel a »kb. megfelelő« értékekkel szerkesztettük. A baloldali ábrán alsó mosóvíz nélküli, a jobboldali ábrán  $w = 8$  cm/mp sebességű alsó mosóvízzel történt ülepítés van. A ( $h = 3$  cm,  $n = 160/\text{perc}$ ) dugattyúmozgásból eredő szita alatti max. vízsebesség  $V_{\max} = 17,5$  cm/mp. 1 cm szemnagyságú kvarc ( $\delta = 2,65$ ) és galenitszemek ( $\delta = 7,5$ ) süllyedési végsebessége  $\gamma = 1$  fajsúlyú közegben — ( $v_0 = 30\sqrt{d(\delta - \gamma)}$  képletből számítva) — 38,6, ill. 76,5 cm/mp, tehát  $2,2 V_{\max}$ , ill.  $4,37 V_{\max}$ . Az anyag összetömörült állapotában  $R_{\min} = 10$  cm,  $\sigma_{\max} = 0,74$ ,  $(1/\vartheta)_{\max} = 5,55$ ,  $(l/d)_{\min} = 0,11$  feltételek érvényesek mindkét esetre; — az alsó mosóvíz nélküli esetben  $\Delta s_{\max} = 3,3$  cm, ( $s_{f\max} = 3,3$  cm,  $s_{a\max} = 0,5$  cm),  $R'_{\max} = 13,3$  cm,  $\sigma'_{\min} = 0,555$ ,  $(l/d)'_{\max} = 0,22$ ,  $(1/\vartheta)_{\min} = 3,1$ ; —  $w = 8$  cm/mp alsó mosóvíz esetén pedig  $\Delta s_{\max} =$  (kb.) 7,0 cm, ( $s_{f\max} = 7,6$  cm,  $s_{a\max} = 3,8$  cm),  $R'_{\max} = 17,0$  cm,  $\sigma'_{\min} = 0,435$ ,  $(l/d)_{\max} = 0,32$ ,  $(1/\vartheta)_{\min} = 2,36$  értékek felelnek meg kölcsönösen egymásnak. ( $\vartheta$ , ill.  $1/\vartheta$  mindenütt a Finkey-féle [és nem a Munroe-féle] képletből van számítva.) A szilárd szemek közti tényleges, mérhető  $u = V/\vartheta$  (ill.  $u = \frac{V+w}{\vartheta}$ ) vízsebesség  $(V/\vartheta)_{\max}$  és  $(V/\vartheta)_{\min}$  görbék között halad; az anyag erősebben fellazított állapotában a  $(V/\vartheta)_{\min}$  görbéhez, kevésbé fellazított állapotában a  $(V/\vartheta)_{\max}$  görbéhez közelebb. Nem annyira a teljes anyagréteg vastagságra vonatkozó átlagos fellazulás, hanem inkább az egyes (alsó vagy felső) rétegsorokra vonatkozó fellazulás a mérhető itt. A 10. ábrán vékony szaggatott vonalak a galenit és kvarc fajsúlya közé eső fajsúlyú, középtermék jellegű szemek útgörbéit is jelzik; inkább ezen szomszédos útgörbék közötti ordinátaszakaszok relatív nagysága a mérhető az egyes rétegsorok fellazulására mint az alsó és felső réteg útgörbéi közti teljes ordinátaszakasz változása.

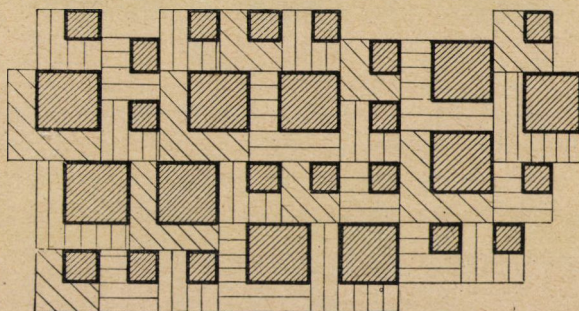
Ha nem csupa azonos szemnagyságú szem van az anyagalmazban, de az egyes szemcsék közti hézag átlagos nagyságát — közelítőleg — azonosnak tetelezzük fel, akkor a különböző szemnagyságokra különböző nagy  $\vartheta$ -értékek adódnak: a nagyobb szemekre kisebb  $\vartheta$ -értéket nyerünk, mint a kisebb szemekre, akár

$$\text{a Finkey } \varepsilon_F = \left[ 1 - \left( \frac{d}{d+l} \right)^2 \right], \text{ akár a Munroe-képlettel } \varepsilon_M = \left[ 1 - \left( \frac{d}{d+l} \right)^{3/2} \right]$$

számolunk. A 11. ábra érzékelteti a helyzetet. Jól kitűnik a rajzból, hogy a szemek



mellett átáramló vízárám keresztmetszete a szita alatti szabad vízkeresztmetszethez képest kevésbé csökken a kis szemeknél és jobban lecsökken a nagy szemeknél. Az V. táblázatban  $d = 1, 0,5$  és  $0,2$  cm-es szemekre  $l = 0,1$ , ill.  $0,05$  cm



11. ábra

átlagos hézag esetén  $\bar{v}$ -ra és  $1/\bar{v}$ -ra a Finkey- és a Munroe-képletekből kiszámított számszerű értékeket látunk.

V. TÁBLÁZAT

d cm	l=0,1 cm		l=0,05 cm		l=0,1 cm		l=0,05 cm	
	$\bar{v}_F$	$\bar{v}_M$	$\bar{v}_F$	$\bar{v}_M$	$1/\bar{v}_M$	$1/\bar{v}_M$	$1/\bar{v}_F$	$1/\bar{v}_M$
1	0,172	0,135	0,091	0,074	5,81	7,40	11,00	13,50
0,5	0,304	0,238	0,172	0,134	3,29	4,20	5,81	7,46
0,2	0,555	0,456	0,359	0,361	1,80	2,19	2,78	2,77

VI. TÁBLÁZAT

	d cm	$v_0$	$\bar{v}_M v_0$		$\bar{v}_F v_0$	
			l=0,1	l=0,05	l=0,1	l=0,05
			gal	1	76,5	10,34
	0,5	54,1	12,9	7,24	16,52	9,47
	0,2	34,2	16,5	12,36	19,0	12,30
kvarc	1	38,6	5,20	2,86	6,71	3,51
	0,5	27,2	6,46	3,64	8,31	4,76
	0,2	17,2	7,83	6,20	9,56	6,19

A VI. táblázat  $d = 1, 0,5$  és  $0,2$  cm-es galenit- és kvarcselemek  $v_0$  süllyedési sebességét és  $\bar{v}_0$  »hátráltatott« süllyedési sebességét tünteti fel  $l = 0,1$ , ill.  $0,05$  cm hézag esetén. A  $\bar{v}_0$  értékeket kell levonni az  $u = V$  vízsebességekből a 8. rajz baloldali ábrája — (Finkey-féle módszer) — szerint, hogy megkapjuk a szilárd szemek sebességének és útjának a valódi helyzetéhez képest  $\bar{v}$ -szor csökkentett értékeit.

Mint a VI. táblázatból látható, a nagyobb szemek  $\bar{v}_0$ -ja a kisebb és a kisebb szemeké a nagyobb érték; eszerint tehát a nagyobb szemek emelkednének magasabbra. A valóságban ez nincsen így. A nagyobb szemek nagyobb  $v_0$  értékét



a  $\vartheta$  értékek ellenkező irányú változása — általában — nem tudja olyan mértékben túlkompenzálni, hogy a  $\vartheta v_0$  szorzat a nagyobb szemekre legyen a kisebb értékű. A számításunkban használt közelítő feltételek — (pl. hogy a szemcsék közötti hézag egyforma nagy a kis és nagy szemek között) — nyilván nem teljesen fedik a valóságot. A különböző nagyságú szemek  $v_0$  és  $\vartheta$  értékeinek ellenkező irányú változása s a  $\vartheta v_0$  szorzatban való többé-kevésbé kiegyenlítődése azonban mindenesetre meg van és ez a megállapítás alkalmas arra, hogy vele a »szabad ülepedési hányadosnak« sokkal tágabb szemnagysághatárokkal rendelkező nyersanyag eredményes ülepítését az ülepítés klasszikus elmélete szerint is megmagyarázhatjuk.\*

A  $\vartheta v_0$  szorzat maximális értékének helyét a  $\frac{\partial(\vartheta v_0)}{\partial d} = 0$  feltételből meg is határozhatjuk. A Finkey-féle keresztmetszetszűkülési tényezővel számolva  $\vartheta_{Fv_0} = C \left[ 1 - \left( \frac{d}{d+l} \right)^2 \right] \cdot \sqrt{d(\delta-\gamma)}$ . Ennek differenciálhányadosát egyenlővé téve 0-val

$$C \left[ 1 - \left( \frac{d}{d+l} \right)^2 \right] \frac{\delta-\gamma}{2\sqrt{d(\delta-\gamma)}} - 2C \sqrt{d(\delta-\gamma)} \frac{d}{d+l} \cdot \frac{d+l-d}{(d+l)^2} = 0$$
 egyenletet kapjuk, amiből  $(d/l)_F = \frac{3 + \sqrt{17}}{4} = 1,7808$ .  $l = 0,1$  cm hézagnál tehát a  $d = 0,178$  cm-es szemnek,  $l = 0,05$  cm-es hézagnál a  $d = 0,089$  cm-es szemnek lesz legnagyobb a hátrátatott süllyedési sebessége, illetve ezek a szemek kerülnének ülepítéskor — szabad mozgásuk esetén — az azonos fajsúlyú összes szemek között a legmélyebb rétegbe.

Pl.  $l = 0,1$  cm-nél a  $d_2 = 0,178$  cm-es kvarcsem  $\vartheta v_0$ -ja  $0,587.16,2 = 9,54$  cm/mp. Evvel azonos  $\vartheta v_0$ -ja van a  $d_1 \cong 2,53$  cm-es galenitzemnek; a  $d_1$ -nél nagyobb galenitzemek ellenben a  $d_2$  szemnagyságú kvarcsemnél magasabb rétegekbe jutnának e szerint a nyilvánvalóan nem egészen helytálló megállapítás szerint; tehát  $\left( \frac{d_1}{d_2} \right)_{max.} = \frac{2,53}{0,178} = 14,2$ .  $l = 0,05$  cm-nél a maximális süllyedésű  $d_2 = 0,089$  cm-es kvarccal a  $d_1 = 1,30$  cm-es galenitzem süllyedése egyenlő. ( $\vartheta v_0 = 6,73$ ), úgyhogy ekkor  $\left( \frac{d_1}{d_2} \right)_{max.} = \frac{1,30}{0,089} = 14,6$ .

A Munroe-féle  $\vartheta_M = \left[ 1 - \left( \frac{d}{d+l} \right)^{3/2} \right]$  faktorial számolva a  $\frac{\partial(\vartheta v_0)}{\partial d} = 0$

\* A »szabad ülepedési hányados»:  $\frac{d_1}{d_2} = \left( \frac{\delta_2 - \gamma}{\delta_1 - \gamma} \right)^m$ , hol  $m=1$  a Newton-féle,  $m=0,5$  a Stokes-féle süllyedési sebességek területén és  $0,5 < m < 1$  a kettő közötti átmeneti területen. Galenit és kvarc esetén, ha  $\gamma=1$ , az ülepedési hányados  $m=1$  esetén kb. 4,  $m=0,5$  esetén kb. 2. A valóságban  $\frac{d_1}{d_2} = 30$  mellett is szét lehet választani egymástól a galenitet és kvarcot!

feltétel a  $(d + l)^{5/2} = d^{5/2} + 4 l d^{3/2}$  egyenletre vezet;  $l = xd$  helyettesítéssel  $(1 + x)^{5/2} = 1 + 4x$  egyenletet kapjuk, amiből  $x = 0,7$ , tehát  $(d/l)_M = \frac{1}{0,7} = 1,4286$ .

Ha a  $d_1, d_2, d_3 \dots$  szemmagyságú szemek súlyaránya  $s_1, s_2, s_3 \dots$ , a szemcsék számaránya  $n_1 : n_2 : n_3 \dots = \frac{s_1}{d_1^3} : \frac{s_2}{d_2^3} : \frac{s_3}{d_3^3} \dots$ , és a szilárd szemek térfogataránya  $\sigma = \frac{[nd^3]}{[n(d+l)^3]}$ .

Pl. ha  $1 - 0,5 - 0,2$  cm-es szemek vannak jelen és súlyarányuk azonos ( $= 0,33$ ), akkor  $n_1 : n_2 : n_3 = \frac{1}{1^3} : \frac{1}{0,5^3} : \frac{1}{0,2^3} = 1 : 8 : 125$ , s a szilárd szemek térfogataránya pl.  $l = 0,1$  cm hézag esetén

$$\sigma = \frac{1 \cdot 1^3 + 8 \cdot 0,5^3 + 125 \cdot 0,2^3}{1 \cdot 1,1^3 + 8 \cdot 0,6^3 + 125 \cdot 0,3^3} = \frac{3}{6,434} = 0,466,$$

vagy pl.  $l = 0,05$  cm hézag esetén

$$\sigma = \frac{1 + 1 + 1}{1 \cdot 1,05^3 + 8 \cdot 0,55^3 + 125 \cdot 0,25^3} = \frac{3}{4,442} = 0,676.$$

(Ha csupa  $d_1 = 1$  cm, ill.  $d_2 = 0,5$  cm, ill.  $d_3 = 0,2$  cm-es szem van jelen csupán, és  $l = 0,05$  cm, akkor a szilárd rész térfogataránya sorban

$$\sigma_1 = \frac{1}{1,05^3} = 0,866, \quad \sigma_2 = \left(\frac{0,5}{0,55}\right)^3 = 0,754, \quad \sigma_3 = \left(\frac{0,2}{0,25}\right)^3 = 0,511 :$$

ill.  $l = 0,1$  cm hézag esetén  $\sigma_1 = 0,754, \sigma_2 = 0,580, \sigma_3 = 0,296$ .)

IV. Vizsgáljuk meg a következőkben, hogyan változott meg a Finkey alkalmazta közelítések és elhanyagolások révén az  $u - v = v_0 + z$  egyenletben szereplő  $z$  értéke. ( $z$  az a slip, amellyel a szem sebessége ( $v$ ) a  $v_0$ -val csökkentett  $u$  vízsebességhez képest visszamarad.)

Láttuk már, hogy a Finkey-féle  $z = \frac{c_0}{x} \cos \varphi$  a  $z = \frac{v_0}{2g_0} \frac{du}{dt}$  kifejezéssel azonos.

(2a) és (2a') egyenletekből és az  $u - v = v_0 + z$  összefüggésből következik, hogy  $z$  tényleges értéke  $b/g_0 > -1$  esetén — (ha a Newton-féle közegellenállás érvényes) —

$$z = v_0 \left( \sqrt{\frac{b}{g_0} + 1} - 1 \right) \quad (5a)$$

vagy  $b/g_0 < -1$  esetén

$$z = -v_0 \left( \sqrt{\frac{-b}{g_0} - 1} + 1 \right). \quad (5a')$$

A Stokes-féle közegellenállás érvényessége esetén érvényes (2b), ill. (2b') egyenletekből

$$z = v_0 \frac{b}{g_0} \quad (5b)$$

alakra jutunk.

A Finkey-féle képletben a víz gyorsulása  $\left(\frac{du}{dt}\right)$ , az (5a), (5a') és (5b) képletekben a szilárd szem gyorsulása ( $b$ ) fordul elő.  $\frac{du}{dt} = B$  jelöléssel a Finkey-féle képlet így is írható:  $z = \frac{v_0}{2} \frac{B}{g_0}$ . (5a), (5a') képletekből  $v_0 = C\sqrt{d(\delta - \gamma)}$  és  $g_0 = g \frac{\delta - \gamma}{\delta}$  értékek behelyettesítésével kapjuk:

$$z = + C\sqrt{d} \left[ \sqrt{\frac{b\delta}{g} + (\delta - \gamma)} - \sqrt{\delta - \gamma} \right] \quad (6a)$$

és

$$z = - C\sqrt{d} \left[ \sqrt{\frac{b\delta}{-g} - (\delta - \gamma)} + \sqrt{\delta - \gamma} \right] \quad (6a')$$

és  $\gamma > \delta$  esetére:

$$z = + C\sqrt{d} \left[ \sqrt{\frac{b\delta}{g} + (\gamma - \delta)} + \sqrt{\gamma - \delta} \right] \quad (6a'')$$

és

$$z = - C\sqrt{d} \left[ \sqrt{\frac{b\delta}{-g} + (\gamma - \delta)} - \sqrt{\gamma - \delta} \right] \quad (6a''')$$

képleteket.

(6a) és (6a'')  $b > -g_0$  esetén, (6a') és (6a''')  $b < -g_0$  esetén érvényes.

A  $z$  függvény első differenciálhányadosát egyenlővé téve 0-val, kapjuk  $z$  szélső értékeinek helyét:

A (6a) egyenletből:

$$\frac{\partial z}{\partial \delta} = C\sqrt{d} \left[ \frac{\frac{b}{g} + 1}{2\sqrt{\frac{b\delta}{g} + \delta - \gamma}} - \frac{1}{2\sqrt{\delta - \gamma}} \right] = 0.$$

Vagyis

$$\frac{b}{g} + 1 = \sqrt{\frac{b\delta}{g(\delta - \gamma)} + 1} = \sqrt{\frac{b}{g_0} + 1},$$

tehát

$$\left(\frac{b}{g}\right)^2 + 2\left(\frac{b}{g}\right) + 1 = \frac{b}{g_0} + 1$$

$$b \left[ \frac{b}{g^2} + \frac{2}{g} - \frac{1}{g_0} \right] = 0,$$

amiből

$$\frac{b}{g} = \frac{g}{g_0} - 2;$$

vagyis

$$\frac{b}{g} = \frac{\delta}{\delta - \gamma} - 2, \quad (7a)$$

illetve

$$\delta = \frac{2 + b/g}{1 + b/g} \gamma.$$

E képleteknek megfelelő helyen  $z$ -nek minimuma van. A (6a') egyenlet differenciálhányadosát képezve:

$$\frac{\partial z}{\partial \delta} = -C\sqrt{d} \left[ \frac{-\frac{b}{g} - 1}{2\sqrt{\frac{-b}{g}\delta - (\delta - \gamma)}} + \frac{1}{2\sqrt{\delta - \gamma}} \right] = 0$$

$$-\frac{b}{g} - 1 = -\sqrt{\frac{-\frac{b}{g}\delta}{\delta - \gamma} - 1} = -\sqrt{\frac{b}{g_0} - 1}.$$

Ebből egyrészt

$$\left(\frac{-b}{g}\right)^2 - 2\left(\frac{-b}{g}\right) + 1 = -\left(\frac{-b}{g_0}\right) + 1,$$

amiből

$$-\frac{b}{g} = 2 - \frac{g}{g_0} = 2 - \frac{\delta - \gamma}{\delta} \quad (\text{azonos (7a)-val.})$$

De másrészt, a  $\pm\sqrt{\quad}$  jel másik előjelét véve figyelembe

$$\left(\frac{-b}{g}\right)^2 - 2\left(\frac{-b}{g}\right) + 1 = \frac{-b}{g_0} - 1,$$

amiből

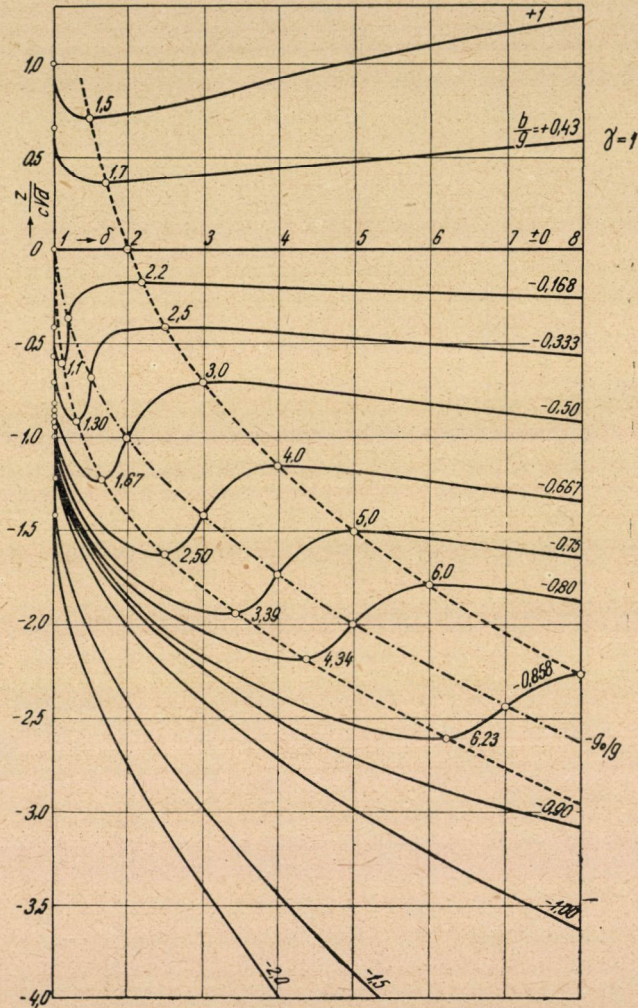
$$\left(\frac{-b}{g}\right)^2 - 2\left(\frac{-b}{g}\right) + 2 = \frac{-b}{g_0} = \frac{-b}{g} \frac{\delta}{\delta - \gamma},$$

vagyis

$$\frac{\frac{-b}{g}}{\left(\frac{-b}{g}\right)^2 - 2\left(\frac{-b}{g}\right) + 2} = \frac{\delta - \gamma}{\delta}, \quad (7a')$$

illetve :

$$\delta = \frac{\gamma}{1 - \frac{-b/g}{\left(\frac{-b}{g}\right)^2 - 2\left(\frac{-b}{g}\right) + 2}} = \frac{\left(\frac{-b}{g}\right)^2 - 2\left(\frac{-b}{g}\right) + 2}{\left(\frac{-b}{g}\right)^2 - 3\left(\frac{-b}{g}\right) + 2} \gamma.$$



12. ábra

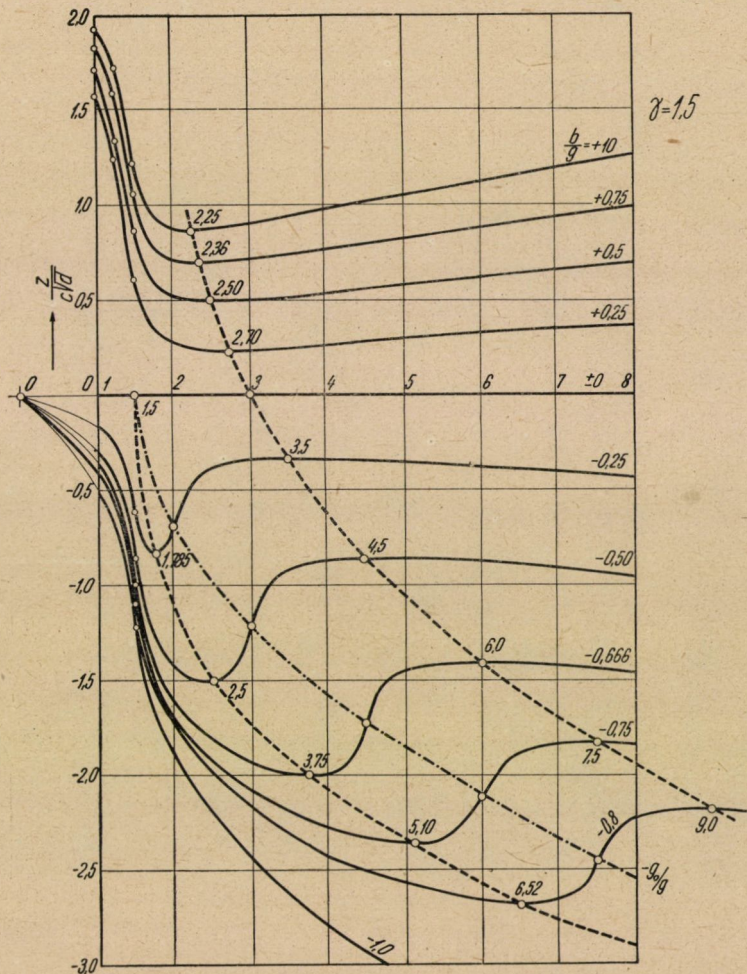
E helyen —  $z$ -nek maximuma van.

A 12., 13., 14. ábrák  $\gamma = 1, 1,5$  és  $2$  esetében a

$\left(\frac{z}{c\sqrt{d}}\right)$ -értékek változását különböző  $b/g$  értékekre a  $\delta$  fajsúly függvé-



nyében tüntetik fel. Szaggatott vonalak jelzik a görbék maximumának a helyeit. A két szaggatott vonal közötti, pont-vonással jelölt görbe azt jelöli meg, hogy a különböző fajsúlyokhoz milyen  $\left(-\frac{g_0}{g}\right)$  értékek tartoznak.



13. ábra

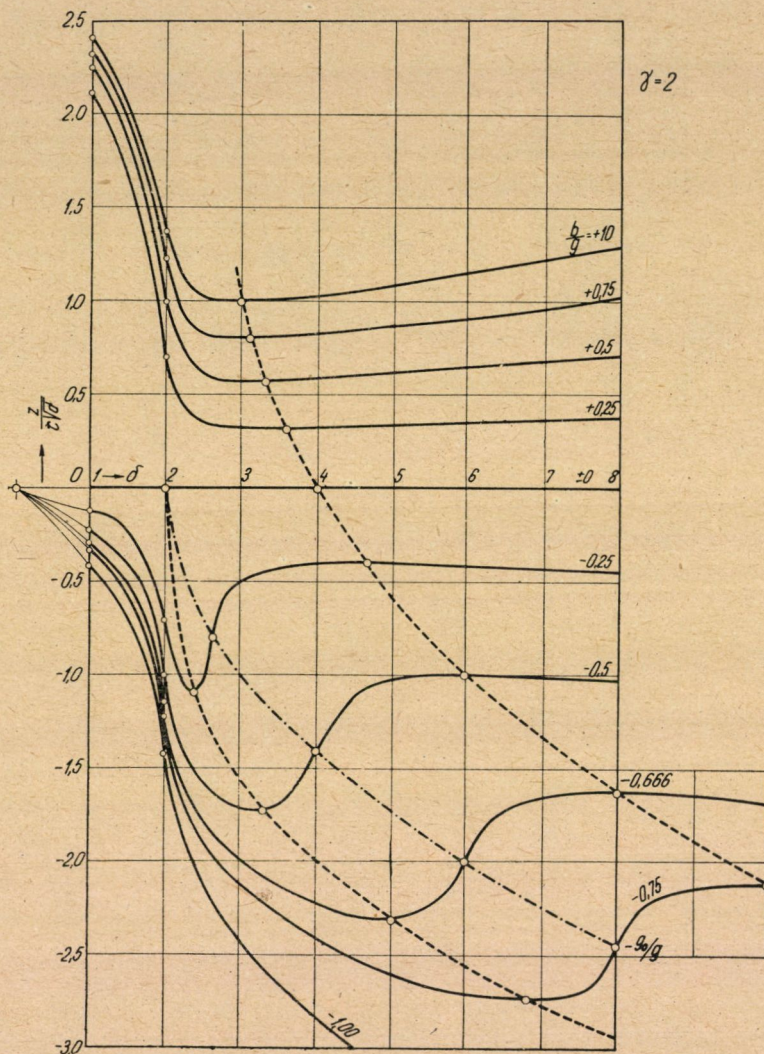
$\frac{g_0}{g} = \frac{\delta - \gamma}{\delta}$ , ill.  $\delta = \frac{\gamma}{1 - \left[\frac{g_0}{g}\right]}$  képletekkel történt e görbére a számolás

Látjuk a 12—13—14. ábrákból, hogy különböző gyorsulásoknál és lassulásoknál más és más fajsúlyú szemeknek lesz minimális vagy maximális a  $z$ -értéke.

Pl.  $\gamma = 1$  esetén (12. ábra)  $\frac{b}{g} = -0,333$  mellett (vagyis  $b = 327$



cm/mp<sup>2</sup> lassulásnál) az azonos szemnagyságú szemek közül a  $\delta = 2,5$  fajsúlyú szemnek lesz a legkisebb és a  $\delta = 1,3$  fajsúlyú szemnek a legnagyobb  $-z$  értéke; az »elméleti«



14. ábra

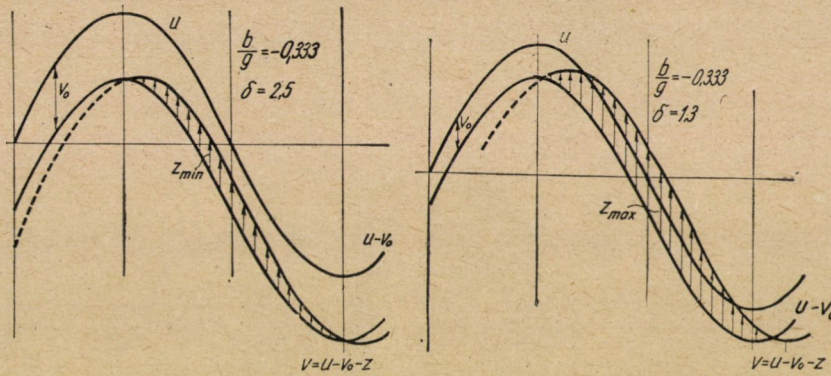
(slip-mentes)  $u - v_0$  vonalától legkevésbé a 2,5 fajsúlyú szem (a pala) marad el és legjobban az 1,3 fajsúlyú szem (a tiszta szén) tér el, a 15. ábra szerint.

Az is jól kitűnik a 12. ábrából, hogy pl. a  $\frac{b}{g} = 0,333$  értéknél a kb. 1,7-nél nagyobb fajsúlyú szemek  $z$ -értéke közel azonos a 2,5 fajsúlyhoz tartozó minimális értékkel. Szén ülepítésénél tehát a  $\frac{b}{g} = -0,333$  körüli állapot



(= 327 cm/mp<sup>2</sup> körüli lassulás) a  $z$ -érték (slip) alakulása szempontjából igen kedvező: az azonos szemnagyságú kis és nagy fajsúlyú szemek az ülepítés céljának megfelelő módon jobban szétválnak egymástól a slip hatására, mint szétválnának akkor, ha a slip nem jelentkeznék.

Ércsek ülepítésénél ellenben a 327 cm/mp<sup>2</sup> körüli, vagy ennél kisebb lassulásoknak a slip szempontjából nem nagy befolyása van az eredményre: a 2,6—2,7 fajsúlyú meddőszemre kb. ugyanakkora a slip, mint a nagyobb fajsúlyú ércszemekre. (Azonos szemnagyság esetén!) Sőt, a nagyobb fajsúlyú szemekre kissé nő a  $z$  értéke: ezek valamivel jobban visszamaradnak az  $u - v_0$  vonalától, mint a kisebb fajsúlyú meddő szemek, úgyhogy az ülepítés eredményére — ha nem is nagy mértékű — de káros hatása van a slip jelenlétének: valamivel



15. ábra

kevésbé jól különülnek el egymástól a kis és nagy fajsúlyú szemek, mint elkülönülnének a slip távolmaradása esetén.

Nagyobb lassulásoknál az ércsek ülepítésénél is a kedvező irányban következik be a különböző fajsúlyú szemek slipje. Pl. a  $\frac{b}{g} = -0,667$  görbénél 2,5 fajsúlyhoz tartozik a maximális és 4,0 fajsúlyhoz a minimális  $z$ -érték. A helyzet tehát hasonló a 15. ábrán feltüntetett állapothoz: a baloldali rajz felel meg ekkor a 4,0 fajsúlyú ércszemnek, a jobboldali rajz a 2,5 fajsúlyú meddőszemnek.

Pozitív  $\frac{b}{g}$ -értékeknél a  $z$  görbéknek minimuma van, s e minimumok 2-nél kisebb fajsúlyoknál jelentkeznek.  $\frac{g}{b} = 0$ -nál 2,0, + 0,43-nál 1,7, + 1,0-nél 1,5 fajsúlynál van minimum.)

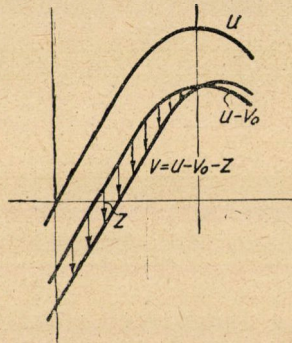
Szén ülepítésénél pl.  $\frac{b}{g} = 0,43$  értéknél az 1,3 fajsúlyú tiszta szén és a 2,5 fajsúlyú meddőpala slipje gyakorlatilag azonos, s megegyezik a közbülső fajsúlyú szemek slipjével. Nagyobb gyorsulásoknál (pl.  $b/g = 1,0$  értéknél) az 1,3—1,5 fajsúlyú tiszta szén slipje valamivel kisebb, mint a 2,5 fajsúlyú meddőszemké, ami kedvező jelenség az ülepítés eredménye szempontjából (16. ábra).



Érceknél is a kisebb fajsúlyú ásvány slipje lesz a kisebb, úgyhogy a  $+b$  értékeknél a slip jelentkezése előnyös. A kedvező hatás annál jobban érvényesül, minél nagyobb a gyorsulás.

Ha a közeg fajsúlya, amelyben az ülepítés történik, 1-nél nagyobb (13., 14. rajzok:  $\gamma = 1,5$ , ill. 2,0), a pozitív  $\frac{b}{g}$ -értékeknél ércülepítésnél nem sok a változás a  $\gamma = 1$  esetével szemben. Szénnél pl. 1,5 fajsúlyú közegben az 1,5 körüli fajsúlyú szénnek nagyobb a slipje, mint a 2,5 vagy hasonló fajsúlyú meddőnek. A meddőpala tehát viszonylagosan kevésbé marad el az »elméleti«  $u - v_0$  görbe mögött: az ülepítés eredményére tehát itt káros hatása a slip jelentkezése.

A lassulások területén (= negatív  $\frac{b}{g}$ -értékeknél)  $\gamma = 1,5$  fajsúlyú közegben



16. ábra

a kb. 0,5-nél nagyobb ( $-b/g$ ) értékek esetén a 2,5 körüli fajsúlyú palának nagyobb a negatív slipje, mint az 1,5 körüli fajsúlyú széndaraboknak. Itt már mindkettő a 15. rajz jobboldali ábrája szerint viselkedik, mert mindkettő a  $-g_0$  görbe baloldalára került, tehát mindkettő  $v$  görbéje az  $u$  görbe fölé kerül, de a paláé magasabbra, mint a széné, ami hátrányos az ülepítés eredményére.

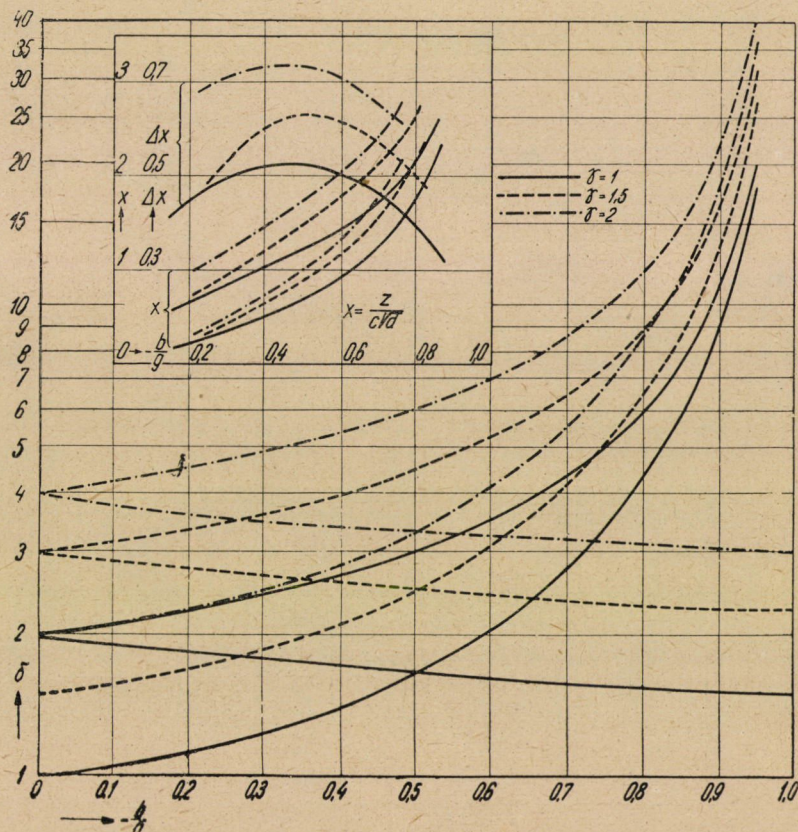
Ércülepítésnél a kis lassulások területén (pl. 13. ábra  $\frac{b}{g} = -0,25$  görbén) nincsen lényeges különbség a kis és nagy fajsúlyú ásványok slipje tekintetében; nagyobb lassulásoknál (pl.  $-0,500$  görbén) a kis fajsúlyú meddő ásványok negatív slipje nagyobb, mint az érces ásványoké, ami kedvező jelenség az ülepítés eredményére nézve. Még nagyobb lassulások (pl.  $-0,75$  görbe) esetén azonban megváltozik a helyzet: az 5 körüli fajsúlyú érces szemeknek lesz nagyobb a negatív slipje, mint a 2,6–2,7 fajsúlyú meddő ásványoké ( $\gamma = 1,5$  esetén).

Még nagyobb ( $\gamma = 2$ ) fajsúlyú iszapban ülepítve (14. ábra) is hasonló következtetések vonhatók le, az eltérés csak az, hogy a megismert változások már kisebb lassulásoknál bekövetkeznek. Itt pl. kb.  $\frac{b}{g} = -0,3$  értékhez tartozik az optimális helyzet ércülepítésnél: ekkor legnagyobb a 2,5–2,7 fajsúlyú meddő



ásványok negatív slipje a 3-nál nagyobb fajsúlyú érces ásványok csupán kevés változó, de a meddő ásványokénál lényegesen kisebb slipjével szemben.

A 17. ábra a 12—13—14. ábrák alapján készült, s azt mutatja, hogy a különböző fajsúlyú ( $\gamma = 1 - 1,5 - 2$ ) közegekben a maximális és minimális slip  $\left(\frac{z}{C\sqrt{d}}\right)$ -értékek a különböző  $\left(-\frac{b}{g}\right)$ -lassulásoknál milyen fajsúlyú szilárd szemekhez tartoznak. Az ordinátatengely  $\delta = 2, 3$ , ill. 4 pontjaiból induló,

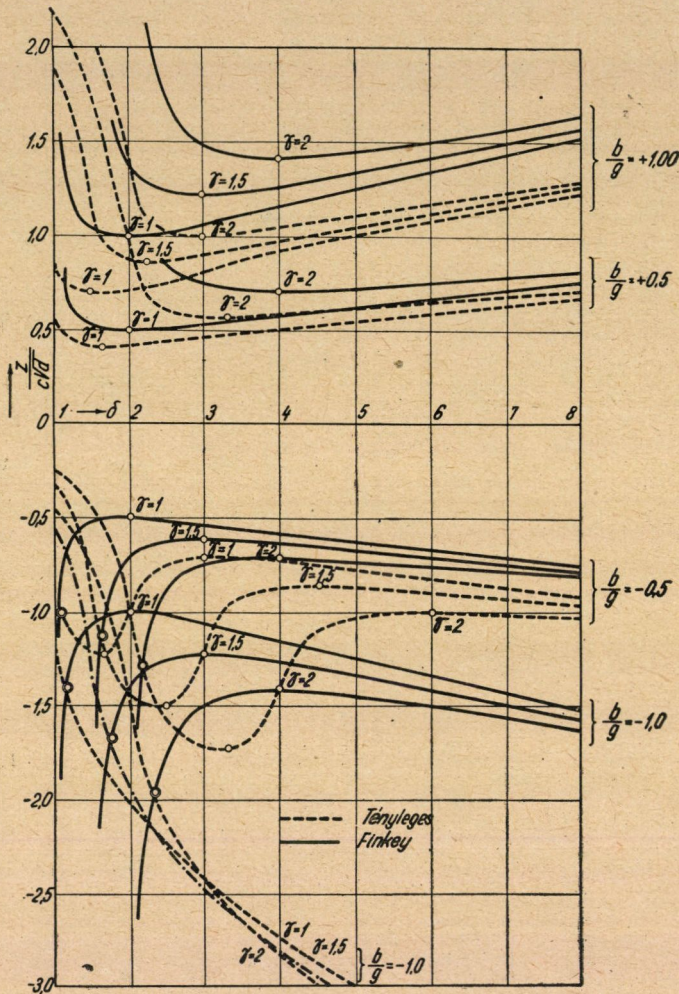


17. ábra

s jobbra lefelé tartó görbék a  $\left(+\frac{b}{g}\right)$  gyorsulásokhoz tartozó minimumokat adják meg. Az ábra felső részén maguknak a maximális ill. minimális  $\frac{z}{C\sqrt{d}}$ -értékeknek a görbéit, ill. a maximális és minimális slip-értékek különbségét  $\left(\Delta \frac{z}{C\sqrt{d}}\right)$  látjuk a lassulások  $\left(-\frac{b}{g}\right)$  függvényében.



A Finkey-féle  $z = \frac{v_0}{2} \frac{B}{g_0} = \frac{C\sqrt{d}}{2} \frac{\delta}{\sqrt{\delta-\gamma}} \frac{B}{g}$  kifejezés differenciálhány-



18. ábra

dosát képezve s egyenlővé téve 0-val azt kapjuk, hogy e függvénynek  $\delta = 2\gamma$  helyén minimuma van.

$$\frac{\partial z}{\partial \delta} = \frac{C\sqrt{d}}{2} \cdot \frac{B}{g} \cdot \frac{\delta}{2\sqrt{\delta-\gamma}(\delta-\gamma)} = 0,$$

ahonnan  $\delta = 2\gamma$ .

A 18. ábrán szaggatott vonallal jelölve a tenyleges  $\frac{z}{C\sqrt{d}}$ -értékek és foly-



tonos vonallal jelölve a Finkey-féle  $\frac{z}{C\sqrt{d}}$ -értékek alakulása látható néhány  $\frac{b}{g}$ -értékre\*, különböző fajsúlyú ( $\gamma = 1-1,5-2$ ) közegekben a  $\delta$  fajsúly függvényében.

Jól kitűnik a rajzból, hogy a Finkey alkalmazta egyszerűsítések és elhanyagolások a slip tekintetében, azaz a szem  $v$  sebességének az »elméleti«  $u - v_0$  görbétől való elmaradása tekintetében a valóságostól lényegesen eltérő eredményre vezettek. Főleg a lassulások (negatív  $b$ -értékek) területén nagy az eltérés a tényleges és a Finkey-féle  $z$ -értékek között. A görbék általános jellege is teljesen elütő itt, s Finkey képletével számolva nyilvánvalóan nem kaphatunk helyes eredményt, arról nem is szólva, hogy a Finkey-féle képletben előforduló  $B$ -érték — általában — nem azonos a tényleges  $z$ -érték képletében előforduló  $b$ -értékkel. Az eltérés annál nagyobb, minél nagyobbak a gyorsulások-lassulások.

A Stokes-képlet érvényessége esetén — mint láttuk —  $z = v_0 \frac{b}{g_0}$ .  $v = \frac{d^2(\delta - \gamma)}{18\eta}$  és  $g_0 = g \frac{\delta - \gamma}{\delta}$  helyettesítésével  $z = \frac{d^2}{18\eta} \frac{b}{g} \delta$  alakra jutunk, vagyis a különböző  $b/g$  értékekhez tartozó  $z$  értékek  $\delta$  függvényében a  $\delta = 0$  ponton átmenő sugársorral ábrázolhatók.

V. Elemezzük végül az  $u - v$  értékét kifejező (2a') és (2b') egyenleteket.

$$u - v = v_0 \sqrt{\frac{b}{g_0} + 1} (= v_0 + z) \quad (2a)$$

$$u - v = -v_0 \sqrt{\frac{-b}{g_0} - 1} (= v_0 + z). \quad (2b)$$

$r_0 = C \sqrt{d(\delta - \gamma)}$  és  $g_0 = g \frac{\delta - \gamma}{\delta}$  behelyettesítésével kapjuk:

$$u - v = C \sqrt{d \left[ \delta \left( \frac{b}{g} + 1 \right) - \gamma \right]},$$

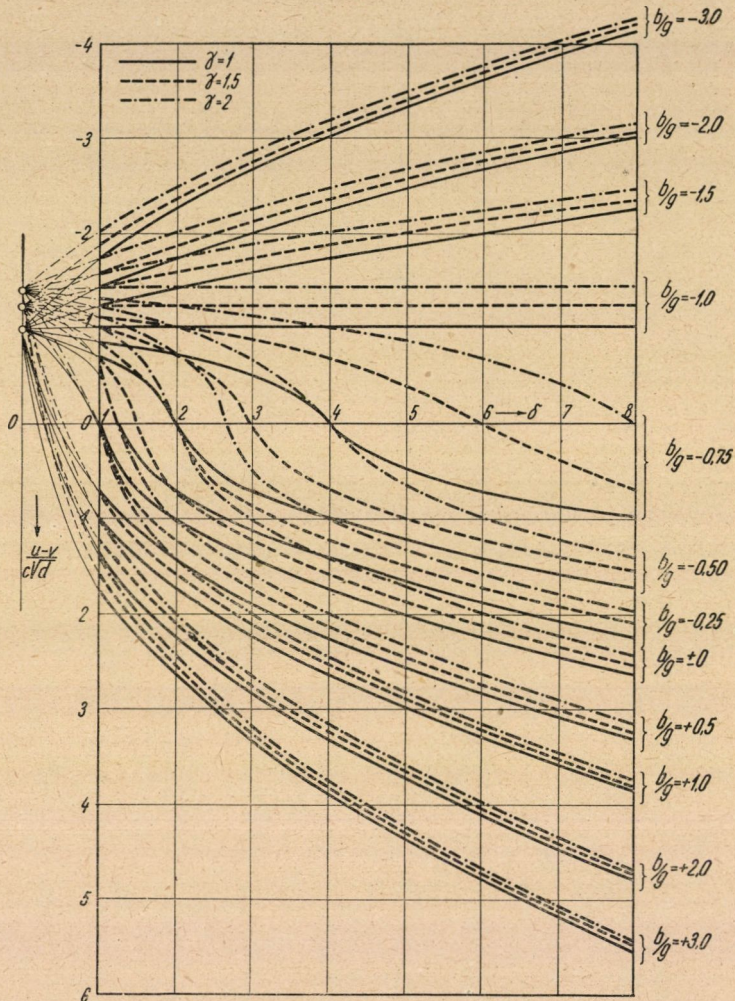
illetve

$$u - v = -C \sqrt{d \left[ \delta \left( \frac{-b}{g} - 1 \right) + \gamma \right]}$$

\* Illetve a Finkey-képletben szereplő  $\frac{B}{g}$ -értékre.  $b$  az ásványszem gyorsulása,  $B$  a közeg (víz) gyorsulása.

egyenleteket.

$u - v$  képlete tehát a  $v_0$  képletével azonos felépítésű, de  $\delta \left( \frac{b}{g} + 1 \right)$  érték helyettesíti benne a  $v_0$  képlet  $\delta$ -ját.



19. ábra

A 19. ábrán  $\frac{u-v}{C\sqrt{d}}$  értékeket különböző  $\frac{b}{g}$ -értékeknél a  $\delta$  fajsúly függvényében  $\gamma = 1, 1,5, 2$  közegfajsúlyok mellett látjuk.

A 20. ábra  $b$  függvényében  $\gamma = 1$  mellett ábrázolja, különböző  $\delta$  fajsúlyok és  $d$  szemmagyságok esetén  $u - v$  értékeit. (A süllyedési végsebesség, ill. az

$u - v$  képlet  $C$  együtthatóját a gömbre érvényes 55 érték helyett — ugyanúgy, amint már a 10. rajz  $v_0$  értékeinek kiszámításánál is — a szabálytalan alakú ásványokra kb. érvényes 30 értékre választottam a számításnál.)

$$\begin{aligned} u - v &= v_0, & \text{ha } b &= 0 \\ u - v &= 0, & \text{ha } b &= -g_0 \\ (u - v &= -v_0, & \text{ha } b &= -2g_0) \\ u - v &= -C\sqrt{d}\gamma, & \text{ha } b &= -g \dots\dots(\text{független } \delta\text{-tól!}) \end{aligned}$$

Tehát: 1. a különböző fajsúlyú és szemmagyságú, de azonos süllyedési végsebességű szemek ( $v_0 = \text{konst.}$ )  $u - v$ -görbéi az ordinátatengelyen ( $b = 0$ ), annak  $v_0$  helyén metszik egymást,

2. az azonos fajsúlyú ( $\delta = \text{konst.}$ ), különböző szemmagyságú szemek  $u - v$ -görbéi az abszcisszatengelyen ( $u - v = 0$ ), annak  $b = -g_0$  helyén metszik egymást,

3. az azonos szemmagyságú ( $d = \text{konst.}$ ), különböző fajsúlyú szemek  $u - v$ -görbéi a  $b = -g$  függőlegesén metszik egymást. (Nagyobb  $d$ -hez nagyobb  $-(u - v)$ -érték tartozik.)

Egyébként, ha  $b = xg_0$ , akkor

$$u - v = v_0\sqrt{x + 1},$$

illetve

$$u - v = -v_0\sqrt{-x - 1},$$

s ha  $b = yg$ , akkor

$$u - v = C\sqrt{d}\sqrt{(y + 1)\delta - \gamma},$$

illetve

$$u - v = -C\sqrt{d}\sqrt{(-y - 1)\delta + \gamma}.$$

A Stokes-képlet érvényessége esetén

$$u - v = v_0\left(\frac{b}{g_0} + 1\right) - kd^2\left[\delta\left(\frac{b}{g} + 1\right) - \gamma\right],$$

vagyis  $b = xg_0$  esetén  $u - v = v_0(x + 1)$

és  $b = yg$  esetén  $u - v = kd^2[(y + 1)\delta - \gamma]$ .

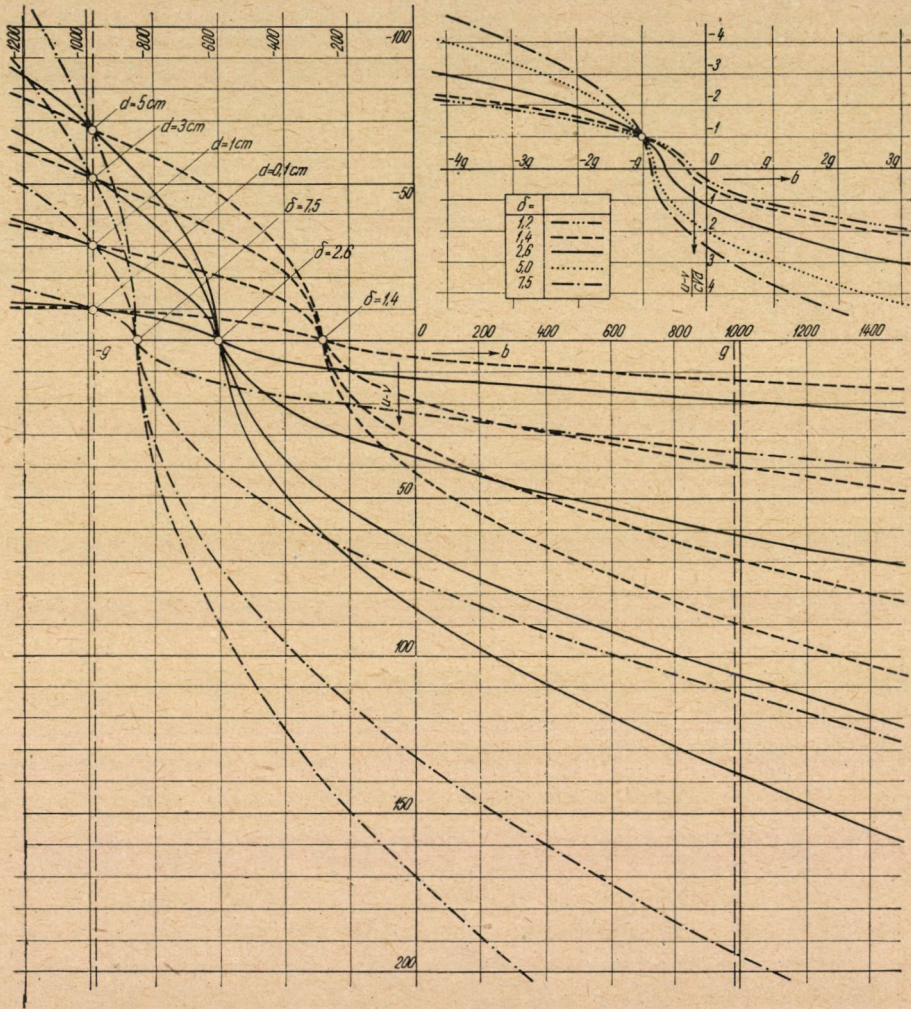
A VII. táblázat közli az  $u - v$ -értékeket néhány  $x$  és  $y$  értékre.

VII. TÁBLÁZAT

$x = \frac{b}{g_0}$	$u - v$		$y = \frac{b}{g}$	$u - v$	
	Newton	Stokes		Newton	Stokes
-3	$-\sqrt{2} v_0$	$-2 v_0$	-3	$-C\sqrt{d}\sqrt{2\delta + \gamma}$	$-kd^2(2\delta + \gamma)$
-2	$-v_0$	$-v_0$	-2	$-C\sqrt{d}\sqrt{\delta + \gamma}$	$-kd^2(\delta + \gamma)$
-1	0	0	-1	$-C\sqrt{d}\sqrt{\gamma}$	$-kd^2\gamma$
0	$v_0$	$v_0$	0	$C\sqrt{d}\sqrt{\delta - \gamma}$	$kd^2(\delta - \gamma)$
1	$\sqrt{2} v_0$	$2v_0$	1	$C\sqrt{d}\sqrt{2\delta - \gamma}$	$kd^2(2\delta - \gamma)$
2	$\sqrt{3} v_0$	$3v_0$	2	$C\sqrt{d}\sqrt{3\delta - \gamma}$	$kd^2(3\delta - \gamma)$
3	$\sqrt{4} v_0$	$4v_0$	3	$C\sqrt{d}\sqrt{4\delta - \gamma}$	$kd^2(4\delta - \gamma)$



A 20. ábra jobb felső sarkában  $\frac{u-v}{C\sqrt{d}}$ -értékeit látjuk a  $b$  függvényében különböző  $\delta$  fajsúlyokra,  $\gamma = 1$  mellett feltüntetve. (A Newton-képlet érvényesége esetén.)

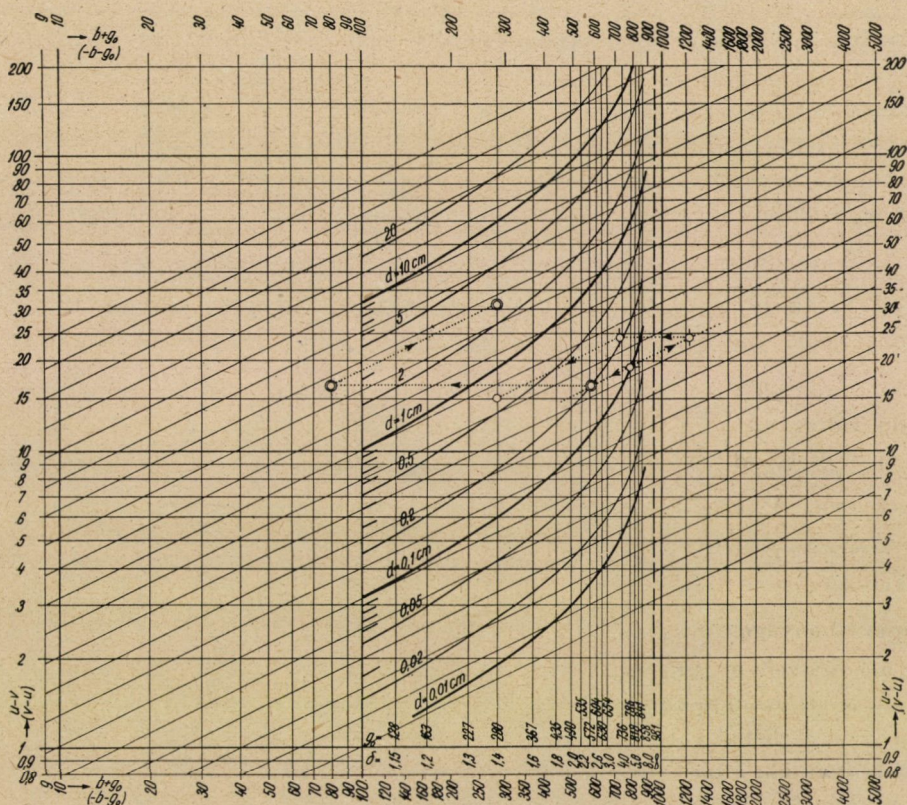


20. ábra

Ha a Stokes-képlet érvényes, egyenesekből álló sugársor lép e görbék helyére, melyekre  $b = -g$ -nél  $\frac{u-v}{kd^2} = -1$  és  $b = -g_0$ -nál  $\frac{u-v}{kd^2} = 0$  érvényes.



Az  $u - v = v_0 \sqrt{\frac{b}{g_0} + 1}$ , illetve a  $\frac{b}{g_0} < -1$  esetén érvényes  $v - u =$   
 $= v_0 \sqrt{\frac{-b}{g_0} - 1}$  képleteket logaritmálva,



21. ábra

$$\log(u - v) = \frac{1}{2} \log(b + g_0) + (\log v_0 - \frac{1}{2} \log g_0),$$

illetve

$$\log(v - u) = \frac{1}{2} \log(-b - g_0) + (\log v_0 - \frac{1}{2} \log g_0)$$

egyenleteket kapjuk. Ezek egyenesek egyenletei. ( $y = mx + a$ ). Logaritmikus léptéket alkalmazva tehát az  $u - v$ -értékek a  $b + g_0$ -értékek függvényében a Newton-képlet érvényessége esetén is egyenesekkel ábrázolhatók, amint az a 21. ábrán látható. (Az egyenesek hajlásszögének tangense  $m = 1/2$ .)

A rajz feltüntetett különböző szemmagyságokra a  $\delta$  fajsúly, ill. hozzátartozó  $g_0$  függvényében a  $v_0 = 30 \sqrt{d(\delta - \gamma)}$ -értékek változását.  $b = 0$  esetén ezekről a görbéről olvasható le  $u - v (= v_0)$  értéke.



Pl. az ábrán bejelölt példa esetén: 1 mm-es pirit szemre ( $d = 0,1$  cm,  $\delta = 5$ ,  $g_0 = 785$  cm/mp<sup>2</sup>)  $v_0 = 19$  cm/mp.

Ha pl.  $b = +445$  cm/mp<sup>2</sup>,  $b + g_0 = 1230$ , s a megfelelő  $u - v$  érték  $\sim 24$  cm/mp. Milyen szem nagyságú 1,4 fajsúlyú ( $g_0 = 280$  cm/mp<sup>2</sup>) széndarabnak lesz azonos  $b$  mellett ugyanekkora a sebessége (illetve  $u - v$ -értéke)?  $b + g_0 = 445 + 280 = 725$ , visszavetítve ezt a rajz szerint a  $\delta = 1,4$  függőlegesére, kapjuk a keresett szem nagyságot:  $d \cong 0,6$  cm.

$b = 0$  mellett az 1 mm-es pirit szemmel egy 1 cm-es széndarab ( $\delta = 1,4$ ) azonos süllyedési sebességű. ( $v_0 = 19$  cm/mp.) Pl.  $b = -200$  cm/mp<sup>2</sup> lassulás esetén az 1 mm-es pirit szemre —  $b + g_0 = 585$  lévén —  $u - v \cong 16$  cm/mp; az ábrán követhető szerkesztés alapján — azonos  $b$  mellett ( $b = -200$ ,  $b + g_0 = 80$ ) — evvel egy  $\sim 3,5$  cm-es széndarab lesz azonos sebességű.

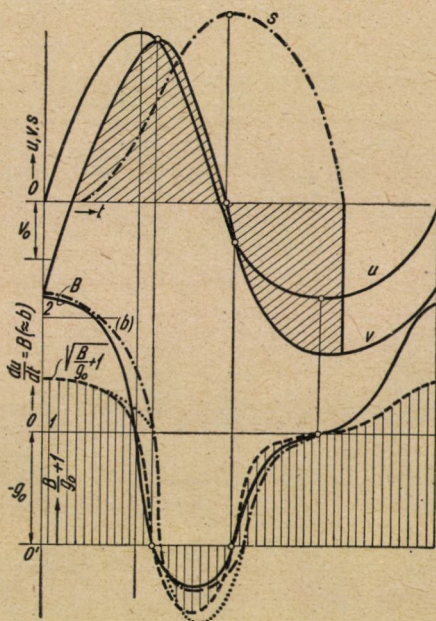
A szem mozgására — mint látjuk — nagy befolyása van  $b = \frac{dv}{dt}$  értékének.

Valamely ülepítő gép vízjátékát: a löketszámot, lökethosszat és a vízmozgatás módját (pl. könyökemelő, vagy excenteres meghajtású stb.) ismerve, a vízsebességnek ( $u$ , ill.  $V$ ) és gyorsulásnak ( $B = \frac{du}{dt}$ ) az idő függvényében való változását a szita alatti térben elég nagy pontossággal, a szemek között — a 8. és 10. ábrákon közölt módon — megközelítő pontossággal meg tudjuk határozni. A 10. ábrán látható  $\frac{du}{dt}$ -görbék az ásványszemek lebegése idején érvényes  $u$ -görbék hajlásszögének tangenseként kaphatjuk. ( $n = 160$ /perc löketszám esetén 1 fordulatnak (=  $2\pi$  ívnek) 0,375 mp idő felel meg). Ha a  $z$  slipet elhanyagoljuk, — mint a 10. ábrán történt —  $\frac{du}{dt} = \frac{dv}{dt}$ . vagyis  $B = b$ : az ásványszem gyorsulása megegyezik a vízgyorsulással. A valóságban keletkező  $z$  slip miatt azonban általában  $B \neq b$ , bár az eltérés esetleg nem nagy. A  $v$ -görbének az  $u$ -görbéből való megszerkesztésénél első megközelítésként  $b = B$  értékkel számolhatunk, amint az a 22. ábrán történt.  $B$  görbét itt is az  $u$  görbéhez húzható érintők hajlásszögének tangensei adják. Az ásványszem  $g_0$ -jának ismeretével kapjuk  $\sqrt{\frac{B}{g_0} + 1}$ -nek a rajzon vonalkázással is kiemelt értékeit.

$v_0 \sqrt{\frac{B}{g_0} + 1}$  értékét levonva az  $u$  értékekből kapjuk első megközelítéssel  $v$ -t.

A  $v$ -görbe pontosabb alakjához itt is a »regula falsis« alkalmazásával juthatunk el. Az ábrán be van jelölve az első megközelítéssel kapott  $v$  görbe érintőjének tangenseként kapott  $b$  görbe is; ezzel számítva ki  $\sqrt{\frac{b}{g_0} + 1}$  értékeit, a tényleges  $v$ -görbéhez már jobban símuló görbét kapunk, s. i. t. A pontosabb  $v$ -görbe integrálgörbéjeként pontosabban kapjuk meg az ásványszem emelkedésének  $s$  görbéjét is. Eljárhatunk az  $s$  görbe megszerkesztésénél a 23. ábrán látható

módon is, amikor a  $B = \frac{du}{dt}$  görbéből megszerkesztett  $\sqrt{\frac{B}{g_0} + 1}$  görbéből nem közvetlenül  $v_0 \sqrt{\frac{B}{g_0} + 1}$  értékeket határoztuk meg, mint a 22. ábrán, hanem a  $z = v_0 \left( \sqrt{\frac{B}{g_0} + 1} - 1 \right)$  értékeket állapítjuk meg, s ezeket a  $v_0$  értékhez hozzá-



22. ábra

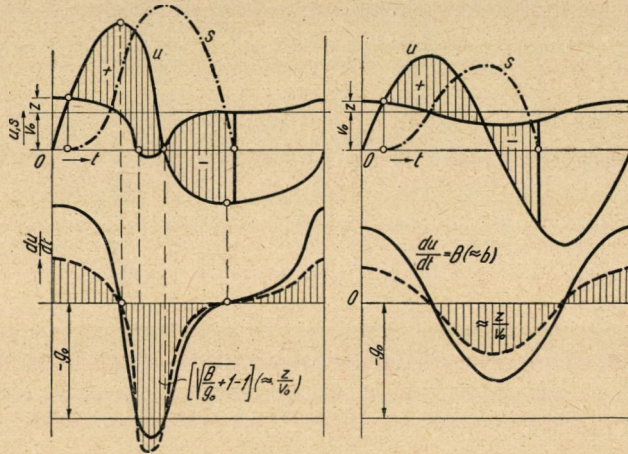
adva kapjuk azt a görbét, amely az  $u$  görbével bezárja a szem emelkedésének mértékét meghatározó területet. Ez az eljárás a 10. ábra módszerével rokon, csak ott a  $z$  befolyását nem vettük még figyelembe. A 23. ábrán nincsen berajzolva a  $v$  görbe, amelyet úgy kaphatunk, hogy a  $v_0 + z$  ordinátákat az  $u$  görbe megfelelő ordinátáiból levonjuk.  $v$  görbe megrajzolása után az ebből szerkeszthető  $\frac{dv}{dt}$  görbék alapján ugyanúgy közelíthetjük meg mind jobban a »regula falsi« szabály alkalmazásával a tényleges értékeket, mint azt a 22. ábrával kapcsolatban láttuk.

A 23. ábra baloldali ábrája erős, rövidebb lökés + gyenge, hosszabb szívással dolgozó (pl. könyökemelős), jobboldali ábrája szimmetrikus lökés + szívással dolgozó (excenteres meghajtású) ülepítőgépre vonatkozik. A két ábra szerint azonos löketszám és kb. azonos mennyiségű víz mozgatasakor a szemek lebegésének ideje kb. azonos, de a szemek emelkedése, tehát a réteg fellazulása is, nagyobb az »erős lökés + gyenge szívással« járatott ülepítőgépnél.



Vizsgáljuk meg, milyen vízmozgatás előnyösebb különböző módon osztályozott nyersanyagok ülepítésénél: az erős lökés — gyenge szívás, vagy az egyenlő mértékű lökés — szívás?

A 24. ábra 2—2 azonos szemnagyságú, azonos fajsúlyú és azonos süllyedési végsebességű szemre az  $u - v$  értékek változását a  $b$  függvényében tünteti fel vázlatosan, a Newton- és a Stokes-féle közegellenállás érvényessége esetén. (Az itt feltüntetett összefüggéseket a 20. ábrával kapcsolatban már megismertük.)



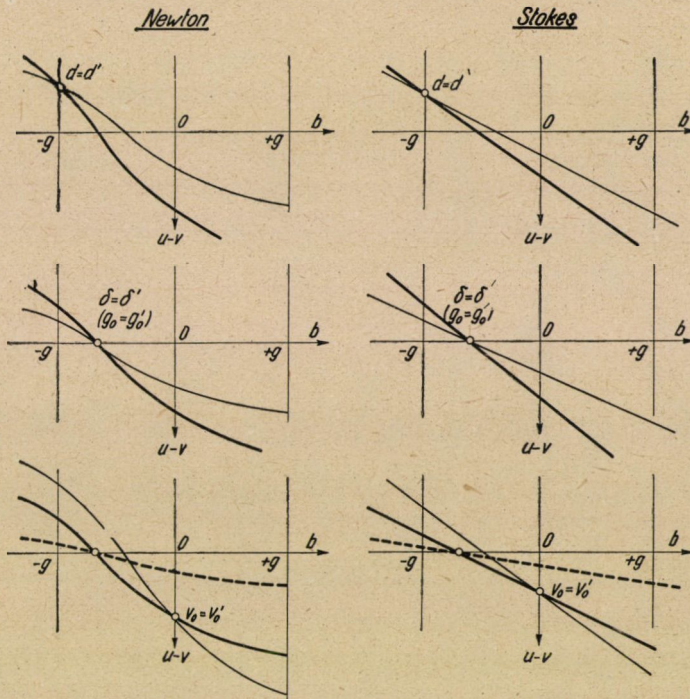
23. ábra

1. Szemnagyság szerint osztályozott anyag ülepítésénél a 24. ábra  $d = d'$  diagrammja szerint  $b > -g$  mellett a nagyobb fajsúlyú ásvány  $u - v$  görbéje a kisebb fajsúlyúé alatt marad, s annál nagyobb a két ásvány sebessége közti elmaradás, minél nagyobb a  $b$  érték. Ha tehát  $-g$ -nél nagyobb lassulás nincs, annál jobban elválasztható egymástól a két ásvány, minél hosszabb ideig marad a szem lebegve, ill. a réteg fellazított, szuszpendált állapotban. A szem hosszabb ideig való lebegtetését alsó mosóvíz bevezetésével elő lehetne egyteni (10. ábra); az alsó mosóvíz bevezetése tehát előnyös a szemnagyság szerint osztályozott anyag ülepítésénél.

Erős lökés + gyenge szíváskor (= könyökemelős meghajtás) az ülepítés szempontjából kedvező  $+b$  értékek is, de a kevésbé kedvező  $-b$  értékek is nagyobbak, mint a szimmetrikus (excenteres) mozgatáskor. A kedvező és kevésbé kedvező szakaszok egyaránt mutatkoznak, úgyhogy hatásuk mind a két esetben (könyökemelős v. excenteres) kb. kiegyenlíti egymást. Az erős, lökészerű szívás, amikor nagy értékű lassulások keletkezhetnek a szem lebegése idején, kerülendő.  $b < -g$  érték mellett ugyanis a kisebb fajsúlyú szem  $u - v$  görbéje a vele egyforma nagyságú nagyobb fajsúlyú szemé alatt marad: magasabb rétegbe kerülne a nagyobb fajsúlyú szem.



Mindaddig, amíg a könyökemelő meghajtás sem létesít —  $g$ -nél nagyobb értékű (s hosszabb ideig tartó) lassulásokat, a könyökemelő és excenteres meghajtás között nem lehet az azonos szemmagyságú szemek eredményesebb szétválasztása tekintetében az ülepítés »klasszikus« elmélete szempontjából az egyik meghajtás javára dönteni. A —  $g$  értéknél nagyobb lassulások a 23. ábra szerint könyökemelő meghajtásnál könnyebben mutatkoznak, mint excenteres meg-



24. ábra

hajtásnál, ebből a szempontból tehát előnyösebbnek látszik az excenteres meghajtás. (Bár az utóbbinál a réteg kevésbé lazul fel, tehát a szemek közti  $u = V/\bar{v}$  vízsebesség, és ezzel  $B = \frac{du}{dt}$ , és  $b$  is — az előbb mondottakkal esetleg éppen ellentétesen — nagyobb is lehet, mint az anyagréteget jobban fellazító könyökemelő meghajtásnál.) Ha nem a jelen vizsgálat tárgyává tett »klasszikus« ülepítési elmélet szempontjából ítélünk, előnyösebbnek látszik a nagyobb fellazulást létesítő könyökemelő meghajtás, mert ez nagyobb mérvű »szabad« mozgást biztosít az egyes szemeknek a réteg fellazulása idején, s így a különböző fajsúlyú szemeknek az entrópia-elv követelte szétválása a könyökemelő meghajtásnál könnyebben megtörténhet.

2. Együttüledés szerint osztályozott anyagnál a 24. ábra  $v_0 = v_0'$  diagramja szerint  $+b$  értékeknél a nagyobb fajsúlyú szem görbéje van magasab-

ban : a kisebb fajsúlyú szem kerül az alacsonyabb rétegbe. —  $b$  értékeknél már a kívánatos feltétel teljesül : a nagyobb fajsúlyú szem kerül mélyebbre. *Hosszantartó* s minél erősebb lassulás alkalmazandó az ülepítésnél, hogy a nagy —  $b$  értékek jellemezzék főleg az ülepítési periódust a szemek fellazult állapota idején. Tehát a lökési periódus csökkenő ága és a szívás növekvő ága minél hosszabb időtartamot érjen át a teljes ülepítési periódusban.

A diagramm szaggatott vonala egy egész apró nagyfajsúlyú szemecske  $u - v$  görbéje ; a nálánál nagyobb süllyedési sebességgel bíró kis fajsúlyú szemtől ezt is el lehet választani hosszantartó, *erős* szívással (helyesebben mondva : lassulással). Az ilyen finom, nagy fajsúlyú szemcskék kiülepítése a kisebb fajsúlyú szemek mellől azonban — általában — nem az anyagalmaz fellazított állapotában történik, hanem az ülepítőágban : a már bezárult nagyobb szemekből álló réteg hézagaiban, ahol — mint láttuk — a visszaáramló víznek és a hézagban elférő, veleragadott finom szemcskéknek igen nagy a gyorsulása-lassulása.

De ha a nagy gyorsulások-lassulások befolyását figyelmen kívül is hagyjuk, s tisztán a »csőben mozgó szemekre« érvényes süllyedési sebességek alapján vizsgáljuk az ülepítőág hézagaiban mozgó kis szemcskék sorsát, akkor is érdekes, és az ülepítőágnak a finom szemcskék ülepítésénél való szerepét jól megvilágító megállapításokra jutunk :

Láttuk, hogy a hézagban mozgó szem süllyedési sebessége  $v_0$ -ról  $\partial v_0$ -ra csökken. Ha a hézag »átmérője«  $D$ , a szemecske nagysága  $d$ , akkor

$$\text{Finkey szerint } \partial = \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^2 \right], \text{ Munroe szerint } \varepsilon = \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^{3/2} \right].$$

A hézagban mozgó szem süllyedési sebessége tehát a Finkey szerinti korrekció esetén  $(\partial v_0)_F = C \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^2 \right] \sqrt{d(\delta - \gamma)}$ , vagy Munroe korrekciójával :

$$(\partial v_0)_M = C \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^{3/2} \right] \sqrt{d(\delta - \gamma)}.$$

Ezen értékek  $d$  szerinti differenciálhányadosát képezve és egyenlővé téve 0-val, kapjuk a hézagban legnagyobb sebességgel mozgó szem átmérőjét,

$$\frac{\partial (\partial v_0)_F}{\partial d} = C \sqrt{d(\delta - \gamma)} \left( - 2 \frac{d}{D^2} \right) + C \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^2 \right] \frac{\delta - \gamma}{2\sqrt{d(\delta - \gamma)}} = 0$$

$$\left( \frac{d}{D} \right)_{krit}^2 = \frac{1}{5} = 0,2, \quad \left( \frac{d}{D} \right)_{krit} = \sqrt{0,2} = 0,447.$$

$$\frac{\partial (\partial v_0)_M}{\partial d} = C \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^{3/2} \right] \frac{\delta - \gamma}{2\sqrt{d(\delta - \gamma)}} - C \sqrt{d(\delta - \gamma)} \frac{3\sqrt{d}}{2D^{3/2}} = 0$$



$$\left(\frac{d}{D}\right)_{krit}^{3/2} = \frac{1}{4} = 0,25, \left(\frac{d}{D}\right)_{krit} = 0,396.$$

Eszerint tehát a hézag átmérőjének — Munroe szerint — kb. 0,4-szeresével, — Finkey szerint — kb. 0,45-szörösével egyenlő átmérőjű kvarc szemnek legnagyobb a süllyedési sebessége a hézagban az összes kvarc szemek között. Hasonlóan, a hézagátmérő 0,4 ~ 0,45-szörösével egyenlő átmérőjű galenitnek lesz legnagyobb a süllyedési sebessége a hézagban az összes galenit szemek közt. Kiszámítható az a galenit szem nagysága is, amelynek ugyanakkora a sebessége, mint a maximális sebességű kvarcnak. Tudjuk, hogy egy gömb süllyedési sebessége  $\gamma = 1$  fajsúlyú vízben  $v_0 = 55 \sqrt{d(\delta - 1)}$ ; egy szabálytalan alakú ásványszemé kb.  $v_0 = 30 \sqrt{d(\delta - 1)}$ . Munroe\* kísérletei szerint, ha sok apró  $d_1$  átmérőjű és  $\delta_1$  fajsúlyú szem mozog egy csőben:  $v_1 = 8,3 \sqrt{d_1(\delta_1 - 1)}$  és a sok apró szem között mozgó nagyobb ( $d_2$  átmérőjű,  $\delta_2$  fajsúlyú) szemre:  $v_2 = 3,1 \sqrt{d_2(\delta_2 - 1)}$ . A 2. index jelölje a kvarcot, az 1. index a galenitet.  $v_1 = v_2$  feltétel esetén  $8,3 \sqrt{d_1(\delta_1 - 1)} = 3,1 \sqrt{d_2(\delta_2 - 1)}$ , ahonnan

$$\frac{d_2}{d_1} = \left[\frac{8,3}{3,1}\right]^2 \frac{\delta_1 - 1}{\delta_2 - 1}. \quad \delta_1 = 7,5, \quad \delta_2 = 2,65. \quad \text{tehát} \quad \frac{d_2}{d_1} = 29.$$

Pl. 1 mm-es hézagban leggyorsabban ülepedő kvarc szem szem nagysága 0,4 mm. Vele azonos süllyedési sebessége van egy  $\frac{0,4}{29} = 0,0138$  mm-es galenit szemnek. Az ennél nagyobb galenit szemecskék mind megelőzik az 1 mm-es résben legnagyobb sebességgel süllyedő kvarc szemet. Sőt, mivel 1 mm-es hézagban egy 0,9 mm-es kvarc szem is tud még mozogni, — (ha kisebb sebességgel is, mint egy 0,4 mm-es szem), — az ülepítőágyban egymástól szétválasztható kvarc- és galenit szemek szem nagyságának aránya kb.  $\frac{0,9}{0,0138} = 65$ . (A kvarc- és galenit szemek »szabad« ülepedési hányadosa, mint tudjuk,  $\frac{\delta_1 - 1}{\delta_2 - 1} = 4$ ).

Az ülepítő gép hézagai természetesen nem tekinthetők változatlan ( $D$ ) átmérőjű csöveknek, s azonkívül, mint tudjuk, az ülepítőágyban erősen változó vízsebességek és gyorsulások mutatkoznak, úgyhogy levezetésünk csak durva megközelítése a valóságnak, arra azonban alkalmas, hogy némi képet kapjunk a különféle szemecskéknek az ülepítőágyban való viselkedéséről.

### Összefoglalás

*Finkey József*: »Die wissenschaftlichen Grundlagen der nassen Erzaufbereitung« című, 1924-ben megjelent könyvében a szilárd test függőleges víz-áramban való mozgása törvényeinek megállapítása során számos közelítéssel és

\* *Munroe, H. S.*: The english vs. the continental system of jigging. Is close sizing advantageous? Trans. Am. Inst. Mining Engrs., 17, p. 637 (1888—1889).

elhanyagolással élt. Ezek miatt a szilárd test sebességének ( $v$ ) a vízsebességtől ( $u$ ) való elmaradására a helyes

$$u - v = v_0 \sqrt{\frac{b}{g_0} + 1} \text{ érték helyett } u - v = \left(\frac{b}{2g_0} + 1\right)$$

értékkel *aequivalens* képletet kapott. ( $v_0$  a test süllyedési végsebessége nyugvó vízben,  $b$  a test gyorsulása,  $g_0 = g \frac{\delta - \gamma}{\delta}$  a  $\delta$  fajsúlyú test relatív nehézségi gyorsulása a  $\gamma$  fajsúlyú közegben. (Finkey egyenlete csak  $\frac{b}{g_0} = 0$  és  $-6,825$  értékeknél egyezik és  $\frac{b}{g_0} = 0$  körüli értékeknél símul jól a tényleges függvényhez (4. ábra).

A szemcsék közti hézagokban a víz sebessége és gyorsulása-lassulása sokszorosa a szita alatti vízsebességeknek és gyorsulásoknak (3. ábra). A szilárd szemek gyorsulása is erősen változó értékű lehet, úgyhogy a Finkey-egyenlet általános alkalmazása helytelen eredményre vezethet. A szemcsék térfogatsűrűsége ( $\sigma$ ) az anyagréteg összetömörült és fellazult állapotában más és más (7. ábra).

A szilárd szemek sebessége  $v = u - v_0 - z$  általános képlet alakjában fejezhető ki, hol  $z$  »slip« az  $u - v_0$  elméleti értéktől való elmaradást jelenti. Finkeynél  $u$  a szita alatti vízsebesség és  $v_0$  helyett  $\bar{v}_0$  szerepel. ( $\bar{v}$  a keresztmetszetszűkülési tényező.) A valóságnak megfelelően helyesebb, ha  $u$  helyére a szemek közti vízsebesség értékét tesszük, amit a szita alatti sebességnek  $\bar{v}$ -val való osztása útján nyerünk és  $v_0$  értékét nem változtatjuk meg. Így  $1/\bar{v}$ -szor nagyobb értékek adódnak a szemek sebességére és emelkedésére (útjára), mint Finkeynél (8. ábra).

Adott vízjáték mellett az ülepítőgépbén rendeződött anyagréteg kis és nagy fajsúlyú szemeinek sebessége, útja és gyorsulása — a slip figyelembevételével — a 10. ábra szerint határozható meg.

A  $z$  »slip« tényleges változását különböző fajsúlyú közegekben a 12., 13., 14. rajzok ábrázolják. A Finkey-féle elhanyagolások és közelítések esetén a  $z$  slipre a valóságostól lényegesen eltérő eredmények adódnak (18. ábra).

A 20. ábra különböző  $\delta$  fajsúlyok és  $d$  szemmagyságok esetén  $b$  függvényében ábrázolja  $u - v$  értékeit ( $\gamma = 1$  mellett).

$$\begin{array}{ll} u - v = v_0, & \text{ha } b = 0 \\ u - v = 0, & \text{ha } b = -g_0 \\ u - v = v_0, & \text{ha } b = -2g_0 \\ u - v = C \sqrt{d\gamma}, & \text{ha } b = -g \dots \dots (\text{független } \delta\text{-tól!}) \end{array}$$

Adott vízjáték esetén a szemek sebességének és útjának megszerkesztése a slip figyelembevételével a 22—23. ábrákon látható módon történhet.

Az erős lökés + gyenge szívással dolgozó (pl. könyökemelős) ülepítőgépben jobban fellazul az anyagréteg, mint a szimmetrikus lökés + szívással dolgozó (excenteres meghajtású) ülepítőgépben — azonos löketszám és vízmozgatás mellett (23. ábra). A 24. ábra szerint, szemnagyság szerint osztályozott anyag ( $d = d'$ ) ülepítésénél a nagyértékű lassulások kerülendők; együttülepedés szerint osztályozott ( $v_0 = v_0'$ ) vagy osztályozatlan anyag ülepítésénél a nagyértékű lassulások kívánatosak.



# ÁRAMLÁS BETONCSATORNÁKBAN

PATTANTYÚS Á. GÉZA  
a műszaki tudományok doktora

[Beérkezett 1952. júl. 21-én.]

Az ötéves terv keretében épülő nagyteljesítményű erőműveink és szivattyútelepeink tervezése, kivitelezése és üzemeltetése nemcsak gépszerkesztés terén állítja gépészmérnökeinket eddig ismeretlen új feladatok elé, hanem az *eddigieknél szigorúbb újszerű követelményeket* támaszt a nagy vízmennyiségek tovaszállítására, szétosztására és elvezetésére alkalmas nagyméretű csővezetékek és betoncsatornarendszerek korszerű és gazdaságos kialakítása és méretezése tekintetében is.

A zárt csővezetékekkel kapcsolatos különleges áramlástani problémákat itt nem részletezem, mert azokat Mátyus Sándor kartársam külön tanulmányban fogja ismertetni. Az én tanulmányom a betoncsatornák helyes kialakítására vezető néhány szempontnak tudományos megvilágítására szorítkozik, tehát a közismert méretezési elvek és eljárások összefoglalására nem terjed ki.

Egy most épülő nagy erőműű hűtővíz-csatornarendszerére vonatkozó szakvélemény kidolgozása során felvetődött néhány olyan kérdés is, amely a szakirodalomban található adatokkal nem volt szabatosan tisztázható. Tudományos kutatómunkára és laboratóriumi kismintakísérletekre volt tehát szükség. Ezek eredményeit kívánom összefoglalóan ismertetni.

Az itt tárgyalt kérdések, a csatornarendszer tervezésével és üzemeltetésével kapcsolatosan előírható alábbi két korszerű követelmény köré csoportosíthatók :

*A)* A csatornarendszer áramlási veszteségei ne haladják meg az üzem gazdaságosságának követelményét kielégítő felső határértéket. Ez azt is jelenti, hogy a várható veszteségmagasságot az eddig szokásosnál jóval nagyobb szabotossággal kell kiszámítani.

*B)* Az üzemeltetés során várható kapcsolási folyamatok (indítás, hirtelen zárás, áramkimaradás stb.) következtében keletkező vízlökések és lengések ne veszélyeztessék sem a berendezés állagát, sem pedig az üzem biztonságát és zavartalanságát. A megzavart áramlásnak ilyenkor instacionáriussá vált időszakában a nyomásnövekedést és víztüköremelkedést eredményező folyamatnak az eddiginél szabatosabb mennyiségi vizsgálatára van szükség.

A korszerűen épített nagyteljesítményű csatornarendszerekben ugyanis a



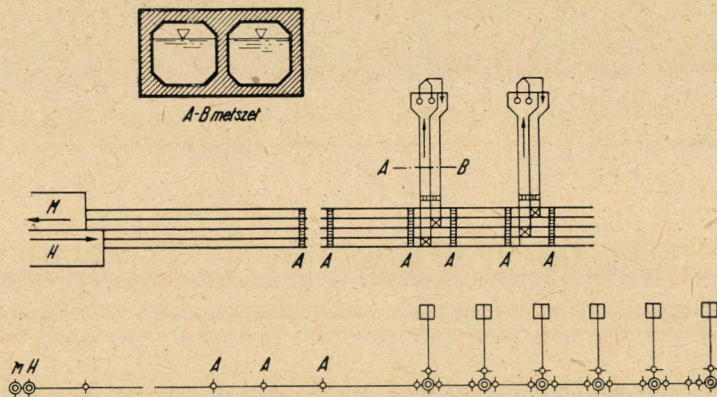
nagy méretek és a klasszikus értékek többszörösére fokozott áramlási sebességek miatt igen nagy energiamentységek halmozódnak fel.

Ezek gyorsütemű átalakulásával kapcsolatos jelenségek szabatos ismeretét ma már sem a tervező, sem a szerkesztőmérnök nem nélkülözheti.

E kettős követelményhez igazodóan tanulmányom is két részre tagozódik.

#### A) *A csatorna veszteségmagasságának szabatos meghatározása*

Vizsgálati eredményeim egy hőerőmű nagyteljesítményű gravitációs hűtővízcsatornájára vonatkoznak, amely anyagtakarékossági okokból iker-



1. ábra. A hűtővízcsatorna elrendezési rajza és szelvénye

elrendezésű négyszögletes szelvényekkel vasbetonból készült. (V. ö.: az 1. ábrával.)

A hidegvizet szállító ikerfőcsatorna a szűrőház tárolómedencéjébe emelt  $10 \text{ m}^3/\text{mp}$  mennyiségű folyóvizet hat leágazócsatornán keresztül vezet a gépházban elhelyezett hat nyitott szivattyúaknába. Minden szivattyúakna hidegvíz-oldaláról a vizet egy-egy (függőleges tengelyű) villamos hajtású szivattyúpár emeli ki és kondenzátoron keresztül nyomja át az akna melegvíz-oldalára, ahonnan a felmelegedett hűtővíz ismét gravitációs úton jut vissza a folyóparti melegvíz-gyűjtőmedencébe és onnan néhány méter eséssel a folyóba.

Minthogy ennek az esésnek hasznosítására ú. n. rekuperációs vízerőmű is létesül, tehát nem kétséges, hogy a csatornarendszer áramlási veszteségmagasságát a lehetséges legkisebb értékre kell korlátozni. Ez csak akkor sikerülhet, ha az áramlástanai számítások szabatos eredményeinek birtokában fölöslegessé válik a veszteségtényezők bizonytalansága miatt szokásos ú. n. *biztonsági tényezők* figyelembevétele.

Az adott esetben különösen a csatornaszakaszba iktatott idomdarabok veszteségtényezőjének pontos ismeretére van szükség. A betoncsatorna négy-

szögletes szelvényét megszakító nagyszámú záró- és ellenőrzőakna és a különlegesen kialakított *leágazóidomok* veszteségtényezőjének becslésszerű megválasztására a szakirodalom nem ad megbízható irányértékeket, így tehát ezeket laboratóriumi kismintakísérletekkel kellett meghatározni, mert e járulékos ellenállások az idomdarabok nagy száma miatt jelentékenyen megnagyobbítják a csatornarendszer veszteségmagasságát. E számítások és mérések eredményeit alábbi pontokban ismertetem.

### 1. A csatornák veszteségmagassága

A hűtővíz-csatornarendszer vázlatos elrendezését (egyszerűsített alakban) az 1. ábrán mutatom be.

Abban az esetben, ha a víz a csatorna szelvényét teljesen kitölti, az egyenes szakasz veszteségmagassága, az  $r' = d/4$  hidraulikus sugár bevezetésével így számítható :

$$h' = \lambda \frac{l}{4r'} \frac{c^2}{2g} \quad (\text{m}),$$

ahol  $l$  (m) a csatorna hossza,  $c = V/f$  (m/mp) az  $f$  (m<sup>2</sup>) keresztmetszetű és  $k$  (m) kerületű szelvényen átfolyó  $V$  (m<sup>3</sup>/mp) vízáram sebessége,  $r' = f/k$  a szelvény hidraulikai sugara és  $\lambda$  a körszelvényre átszámított csőszűrlődés tényezője.

A számítás pontossága a  $\lambda$  tényező szabatos meghatározásán fordul meg. Az idevágó kísérleti kutatás terén *Nikuradze* jutott legmesszebbre ; képletének érvényességi határát  $R = 3\,240\,000$ -es Reynolds-számig igazolta.

*Sima csőre* a pontos képlet alakja :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log (R \sqrt{\lambda}) - 0,8.$$

A műszaki gyakorlat számára kezelhetetlen *Nikuradze*-féle képlet helyett annak alábbi közelítő alakja volt használatos :

$$\lambda = 0,0032 + 0,221 R^{-0,237} + 32 R^{-1}.$$

A szovjet szakirodalomból a legújabbban ismeretessé vált — *Nikuradze* eredményeiből levezetett — *Filonyenko*-féle képlet kényelmesen kezelhető és megbízható eredményeket szolgáltat.

*Filonyenko* szerint, *sima csőre* :

$$\lambda = \left( \frac{0,55}{\log (R/8)} \right)^2.$$

Az adott esetben a *simított felületű* betoncsatorna keresztmetszeti területe :  $f = 3,42$  m<sup>2</sup>, nedvesített kerülete :  $k = 6,9$  m, hidraulikai sugara :  $r' = 0,495$  m, a körszelvényre átszámított redukált átmérő :  $d = 4 r' = 1,98$  m.

Az áramlási sebesség,  $V = 5 \text{ m}^3/\text{mp}$  vízszállítás esetén  $c = 5 : 3,42 = 1,46 \text{ m/mp}$ , a Reynolds-szám tehát ( $10 \text{ C}^\circ$ -os víz  $\nu = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{mp}$  kinematikai viszkozitásával) :

$$R = \frac{cd}{\nu} = \frac{1,46 \cdot 1,98}{1,3 \cdot 10^{-6}} = 2\,220\,000.$$

Nikuradze és Filonyenko képlete az adott esetben teljesen azonos eredményre vezet.

Eszerint,  $\log(2\,220\,000 : 8) = 5,4432$  értékkel :

$$\lambda = \left( \frac{0,55}{5,4432} \right)^2 = 0,0102.$$

Az  $l = 400$  méteres csatornaszakasz veszteségtényezője :

$$\zeta = \lambda \frac{l}{4r'} = 0,0102 \frac{400}{1,98} = 2,06,$$

veszteségmagassága pedig,  $c^2/2g = 1,46^2 : 19,62 = 0,109 \text{ m}$  értékkel :

$$h' = 2,06 \cdot 0,109 = 0,225 \text{ m}.$$

## 2. Szabad felszín a csatornában

Ha az áramló víz nem tölti ki a csatorna szelvényét, akkor a  $z$  víztükör-magasságtól függően a hidraulikus sugár és az áramlási sebesség is megváltozik. A keresztmetszet és a nedvesített kerület változását a vízállás függvényében a 2. ábra mutatja. Mihelyest a víztükör a csatorna mennyezetét eléri, a nedvesített kerület ugrásszerűen nagyobbodik meg, a hidraulikai sugár pedig hirtelen lecsökken és ezáltal a gravitációs csatorna lefolyási viszonyai is rosszabbodnak.

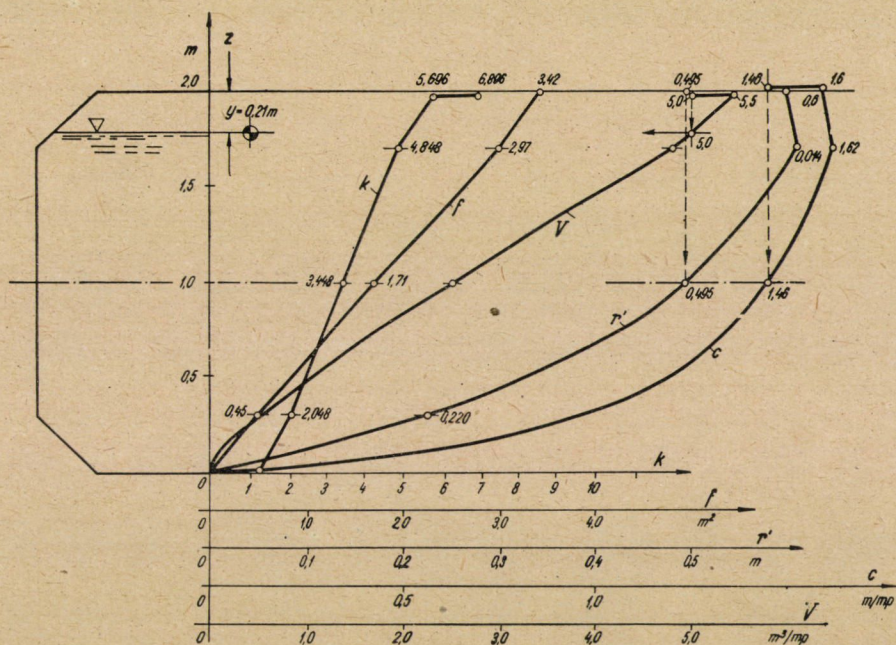
A kitöltetlen szelvényű csatornák jellegzetessége, hogy azonos  $i$  energiaesés esetében a Chézy-képletből számítható áramlási sebesség és a csatornán levezetett vízáram a víztükör emelkedésével szintén növekszik, mindaddig, amíg a hidraulikus sugár ugrásszerű kisebbedése miatt a telt szelvény vízszállítása erősen lecsökken.

A 2. ábrából kitűnik, hogy a lefolyási viszonyok megjavítása érdekében a legelőnyösebb : oly üzemi vízállás tartása, amelynél a víz éppen még nem tölti ki a csatornaszelvényt.

Meg kell jegyezni, hogy a felmelegedett hűtővíz visszaszállítására vonatkozó ellenőrző számítás elmaradhat, mert a meleg víz kinematikai viszkozitásának kisebb értéke miatt az áramlási veszteségmagasság is kisebbedett. Minthogy



azonban előfordulhat az is, hogy a csatornának hideg vizet kell visszavezetni, tehát a melegvíz hőfokának befolyása itt figyelmen kívül hagyható.



2. ábra. A csatornaszelvény jellemzői a vízállás függvényében

### 3. A záró- és ellenőrzőaknák ellenállása

A betoncsatornát az 1. ábrában A jelű ellenőrző- és záróaknák szakítják meg. Az adott esetben a leágazás előtti 400 méteres csatornaszakaszba iktatott aknák száma:  $i = 16$ , ezek  $\zeta_A$  veszteségtényezőjének értékét a 3. ábrán vázolt kétféle változatra kismintakísérlettel határoztuk meg. A mérőberendezés vázlatát a 4. ábrán mutatom be.

Az eredetileg tervezett sarkos kivitelű változat ellenállástényezője a kísérlet szerint :

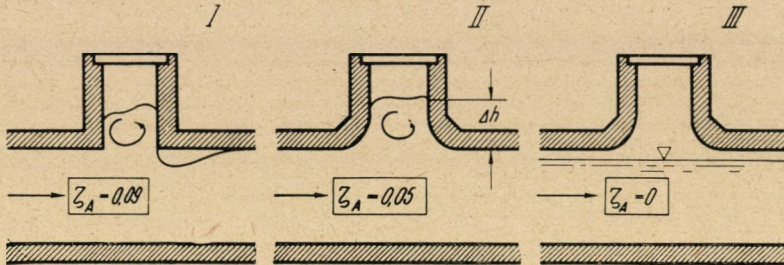
$$\zeta_A = 0,09.$$

Ennek a tényezőnek nagyságát jól érzékelteti az aknaellenállásával egyenértékű csatornahosszúság, amely az adott esetben :

$$l_A = \frac{4r'}{\lambda} \zeta_A = \frac{1,98}{0,0102} \cdot 0,09 = 17,5 \text{ m.}$$



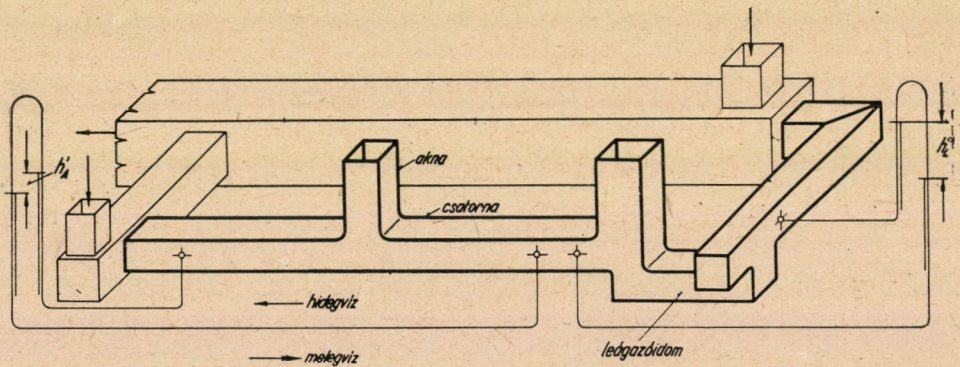
A 16 akna együttes ellenállása tehát a 400 méteres csatorna valóságos hosszát  $16 \times 17,5 = 280$  méterrel hosszabbítja meg, a veszteségmagasságot pedig 70%-kal növeli!



3. ábra. Záróakna (ellenőrző akna). — I. Sarkos kivitel. — II. Legömbölyített kivitel. — III. Kitöltetlen szelvényű csatorna

Az aknák viszonylagosan nagy ellenállását az élek jó *legömbölyítésével* sikerült csaknem a felére csökkenteni. A 3. ábra II. változata szerint készített kismintán végzett mérési sorozatok eredménye átlagosan :

$$\zeta_A \cong 0,05.$$



4. ábra. Mérőberendezés a csatornaidomok ellenállásának meghatározására. — Az ellenőrző akna és a leágazóidom kismintája

Az élek *legömbölyítésével* tehát a *csatornaidomok veszteségmagassága* jelentősen kisebbíthető. Az adott esetben a 16 aknaidom együttes *egyenértékű* csatornahossza 280 méterről mintegy 155 méterre rövidül, a csatornaszakasz veszteségmagassága pedig teljes vízhozam esetén kerek 70 mm-rel kisebbedik.

Végül még kismintakísérlettel kellett tisztázni az aknában  $\Delta h$  magasságra emelkedő vízoszlop változásának befolyását a veszteségtényező nagyságára is. Az idevágó mérési sorozatok eredményei azt igazolták, hogy a  $\zeta_A$  veszteségtényező



nagy határok között változtatott  $\Delta h$  oszlopmagasság ellenére sem mutat észlelhető változást.

E kismintakísérlet egyik tanulsága az, hogy a betoncsatornák tervezésekor az élek és sarkok gondos legömbölyítésével az áramlási veszteségek az építési költségek megnövelése nélkül is kisebbsíthetők.

Véleményem szerint — bár az adott esetben idevágó kísérleteket nem végeztünk — a főcsatornaszelvény sarkainak negyedkörös legömbölyítésével is javulnak a lefolyási viszonyok. A Kaplan-féle szívócsatorna alsó szakaszának kialakításához már régóta ez a szerkesztési elv talál alkalmazást.

Végül rámutatok a 3. ábra III. változatának szemmel látható előnyeire is. Ha a tervezés és az üzemeltetés úgy irányítható, hogy a víztükör teljes vízszállítás esetén se töltse ki a csatornaszelvényt, hanem abban *mindvégig szabad tükörfelszín* keletkezzék, akkor az ellenőrző és záróaknák befolyása az áramlás kialakulására teljesen megszűnik, vagy más szóval, az aknák beiktatásával az áramlási veszteségek nem növekednek ( $\zeta_A = 0$ ).

Ennek alapfeltétele az, hogy az aknák oldalfalai kiszögelések nélkül a csatornaoldalak síkjába essenek.

A 2. ábrából szabatosan meghatározható az a  $\Delta z$  vízszin ingadozás, amelyen belül a nyitott csatorna lefolyási viszonyai jobbak, mint a telt csatornában. Amennyiben tehát lehetséges, emeljük ki a főcsatornát abba a magasságba, amely a szabad vízszin kialakulásához szükséges, a belépőszelvény előtti víztükört pedig tartsuk — (pl. átbukással szabályozva) — az ehhez szükséges magasságon.

#### 4. A leágazó csatornák ellenállása

A hat leágazócsatorna egyenes szakaszának veszteségmagassága az 1. pontban ismertetett módon számítható. Különleges vizsgálatra szorul azonban a leágazó csatornaidom (5. ábra), amelynek veszteségtényezőjére a szakirodalom szintén nem ad tájékoztató értékeket.

A 4. ábrán vázolt kisminta szintén kétféle változatban készült. Itt is előnyösnek bizonyult az élek és a sarkok legömbölyítése, mert ezáltal a veszteségtényező kisebbedett.

A sorozatos méréseket *mindkét irányú áramlás* esetére kellett elvégezni, mert a melegvizet ugyanilyen leágazóidom vezeti vissza a főcsatornába.

A legömbölyítés kedvező hatása ennél a *fordított áramlási iránynál* volt a legfeltűnőbb, mert a veszteségtényező

$$\begin{aligned} \text{a sarkos kivitelre talált: } \zeta_L &= 4,5 \\ \text{értékről, legömbölyítéssel: } \zeta_L &= 3,0 \end{aligned}$$

értékre kisebbedett.

A hidegvíz áramlási irányára talált értékek :

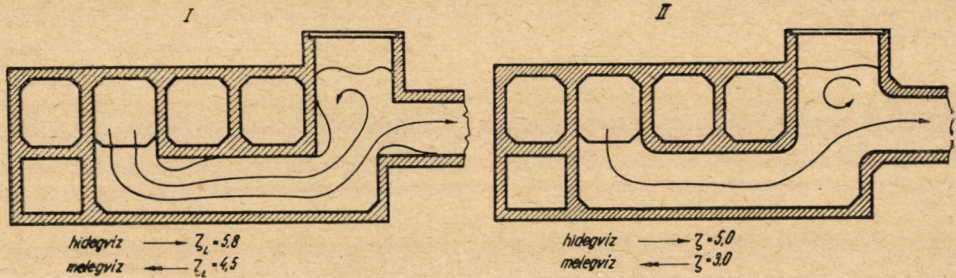
sarkos kivitelre :  $\zeta_L = 5,8$ ,

legömbölyített kivitelre :  $\zeta_L = 5,0$ .

Meg kell állapítani, hogy ennek a leágazóidomnak az ellenállása még legömbölyítés esetében is feltűnően nagy, ami szemléletessé válik, ha a leágazóidom ellenállását az  $l = 28$  m hosszú,  $r' = 0,431$  m hidraulikai sugarú leágazócsatorna *egyenértékű hosszúságával* fejezzük ki.

Az adott esetben,  $\lambda = 0,0119$  csatornasúrlódási tényezővel a hidegvíz-leágazóidom egyenértékű csatornahosszúsága :

$$l_0 = \frac{4r'}{\lambda} \zeta_L = \frac{1,724}{0,0119} \cdot 5 = 722 \text{ m (!)}.$$



5. ábra. Leágazó csatornaidom. — I. Sarkos kivitel. — II. Legömbölyített kivitel

A teljes leágazás veszteségmagasságát tehát a leágazóidom ugyanannyival megnöveli, mintha a leágazó-csatornát 28 méterről 750 méterre hosszabbítanók meg.

Az adott esetben a leágazócsatorna veszteségmagassága a veszteségtényező feltűnően nagy értéke ellenére sem lépte túl a 113 mm-t, mert az  $f = 2,54$  m<sup>2</sup>-es csatornakeresztmetszetben megengedett áramlási sebesség mindössze  $c = 0,658$  m/mp volt.

A leágazóidom áramvonalas szerkesztésével véleményem szerint a csatorna lefolyási viszonyai még tovább javíthatók. Egy újabb csatornahálózat tervezésekor különösen az *erős iránytörések elkerülésére* kell törekedni. A leágazóidom *alsó vízszintes szelvénye legyen nagyobb szélességű és kisebb magasságú*. Ez nemcsak áramlástani szempontból előnyös, hanem a mélyépítési költségeket is kisebbíti.

A tudomány továbbfejlesztése érdekében és a gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából kívánatos az elméleti számítások és kismintakísérletek eredményeinek nagyüzemi ellenőrzése és igazolása is, amire az erőmű hűtővízcsatornájának üzembehelyezése után kerülhet a sor.



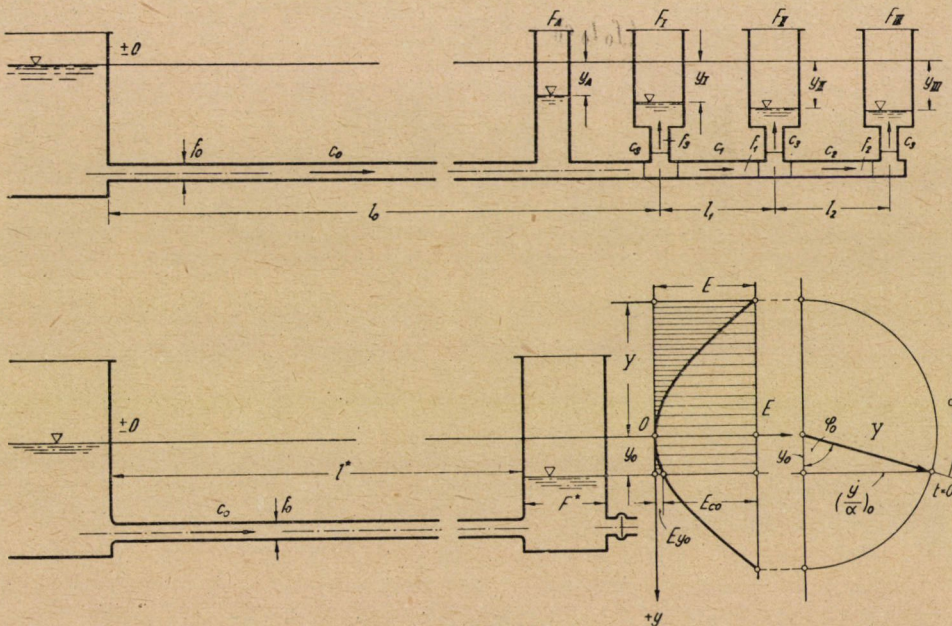
B) *A víztükör emelkedése a szivattyúaknában*

Egy szivattyúakna és táplálócsatornája csillapított lengőrendszert alkot, amelynek lengéstanai jellemzői pontosan megszabják az aknában emelkedő víz, tükörnek mozgástörvényeit.

A vízoszlop szabad lengéseinek problémájával *Gyakorlati Áramlástan* című könyvemben részletesen foglalkozom, ez alkalommal tehát a lengéstanai alaptörvények analitikai ismertetése helyett a *lengési folyamat energetikai megvilágítására* szorítkozom.

5. *Az egyenértékű egymedencés csatornarendszer*

Erre az energetikai szemléletre a műszaki gyakorlatban azért van szükség



6. *ábra.* Víztükörlengések a szivattyúaknában

mert az 1. *ábra* szerinti elrendezésű csatornahálózat *többmedencés lengőrendszerének* szabatos elméleti vizsgálata hosszadalmas, bonyolult és áttekinthetetlen. A feladat azonban könnyen visszavezethető egy olyan egymedencés lengőrendszer vizsgálatára, amely a többmedencés rendszerrel *energetikailag egyenértékű*.

Az adott esetben ez az egyszerűsített eljárás teljesen megbízható eredményt szolgáltat, annál is inkább, mert a vizsgálat annak a megállapítására szorítkozik, hogy a víztükör milyen magasságra emelkedhetik a nyugalmi szint fölé, ha a teljes terheléssel dolgozó szivattyúk *áramkimaradás miatt* hirtelen leállnak.

A szivattyúaknak tápláló csatornahálózat vázlatrajzát a 6. ábra felső képe szemlélteti.

Egy-egy hűtővízcsatorna a vázolt elrendezésben három-három, egyenként  $F_a = 15,2 \text{ m}^2$  tükörfelületű szivattyúaknak táplál a  $\pm 0$  vízállású gyűjtőmedencéből.

Teljes üzem esetében az áramlási veszteségek miatt a víztükör leszállása a három szivattyúakban:  $y_I = 0,521 \text{ m}$ ,  $y_{II} = 0,533 \text{ m}$  és  $y_{III} = 0,536 \text{ m}$ .

Ennél az üzemállapotnál a lengőrendszerben tárolt energia két részből áll: a csatornarendszerben áramló víztömeg *lendületéből* és a nyugalmi szintjéből kimozdított víztükrök *potenciális energiájából*. Utóbbihoz a csatornarendszerbe iktatott záró- és ellenőrző aknáknak tárolt energiát is hozzá kell számítani.

A csatornarendszerben tárolt *lendület kezdőértéke*, az ábra jelöléseivel, ( $f_0 = f_1 = f_2$  helyettesítéssel):

$$E_{c_0} = \frac{\gamma}{2g} (f_0 l_0 c_0^2 + f_0 l_1 c_1^2 + f_0 l_2 c_2^2 + 3 f_3 l_3 c_3^2).$$

Az adott esetben  $f_0 = 3,42 \text{ m}^2$  és  $c_0 = 1,46 \text{ m/mp}$  értékekkel a tárolt lendület kezdőértéke:

$$E_{c_0} = 149\,000 \text{ mkg.}$$

Az egymedencés rendszerre átszámított  $l^*$  (egyenértékű) csatornahosszúságnak azt a feltételt kell kielégítenie, hogy ugyanannál a  $V$  vízáramnál (illetve  $c_0$  sebességnél) ugyanazt a *lendületet* szolgáltatassa. Ebből:

$$l^* = l_0 + \left(\frac{c_1}{c_0}\right)^2 l_1 + \left(\frac{c_2}{c_0}\right)^2 l_2 + 3 \frac{f_3}{f_0} \left(\frac{c_3}{c_0}\right)^2 l_3.$$

Az adott esetben:  $l^* = 400 \text{ m}$ .

Meg kell jegyezni, hogy a valóságos kivített helyettesítő egymedencés rendszer  $l^*$  csatornahosszúsága nem azonos sem az áramlási veszteségek szempontjából »egyenértékű« hosszúsággal, sem a tehetetlenségi nyomások azonoságából számítható »redukált« csatornahosszúsággal. Itt egyszerűen a főcsatornának egy oly  $l^*$  »helyettesítő« hosszúságát keressük, amely a leágazásokat is magában foglaló csatornarendszerben tárolt lendület szempontjából egyenértékű.

A *tárolt potenciális energiának* kezdőértéke a 6. ábra felső képében alkalmazott jelölésekkel így számítható:

$$E_{y_0} = \frac{\gamma}{2} (F_I y_I^2 + F_{II} y_{II}^2 + F_{III} y_{III}^2 + i F_A y_A^2).$$

Az adott esetben egy-egy leágazócsatornába iktatott ellenőrzőakna  $F_L = 3,9 \text{ m}^2$

felülete hozzászámítható a szivattyúakna víztükörfelületéhez, mert a két vízállás között alig 2 mm-es különbség mutatkozik. Így tehát :

$$F_I = F_{II} = F_{III} = F_a + F_L = 19,1 \text{ m}^2.$$

A főcsatornába iktatott záró- és ellenőrzőaknák közül csupán a leágazások környezetében lévő  $i = 6$  akna érdemel figyelmet, mert a csatorna első szakaszába iktatott aknáknak még alig van tükörlehajlás, a bennük tárolt potenciális energia tehát elhanyagolhatóan kicsiny.

$i F_A = 13,2 \text{ m}^2$  tükörfelülettel és  $y_A = 0,420 \text{ m}$  közepes tükörsüllyedéssel, a csatornarendszerben tárolt *potenciális energia* kezdőértéke :

$$E_{y_0} = 9200 \text{ mkg.}$$

Az energetikailag egyenértékű egymedencés tárolórendszer  $F^*$  víztükörfelületét a legtávolabbi szivattyúakna vízállására vonatkoztattam, vagyis a hűtővíz-csatornarendszernek teljes ( $h_0 = y_{III} = 0,536 \text{ m}$ ) veszteségmagasságát vettem a számítás alapjául.

Ezzel :

$$F^* = F_{III} + F_{II} \left( \frac{y_{II}}{y_{III}} \right)^2 + F_I \left( \frac{y_I}{y_{III}} \right)^2 + i F_A \left( \frac{y_A}{y_{III}} \right)^2.$$

Ez az egyenértékű medencekeresztmetszet a potenciális energiából is számítható :

$$F^* = \frac{2E_{y_0}}{\gamma y_{III}^2}.$$

Az adott esetben :  $F^* = 64,2 \text{ m}^2$ .

Az energetikailag egyenértékű lengőrendszer vázlatrajzát a 6. ábra alsó képe mutatja.

Jellemzői : az  $l^* = 400 \text{ m}$  hosszúságú és  $f_0 = 3,42 \text{ m}^2$  keresztmetszetű csatorna és az  $F^* = 64,2 \text{ m}^2$  aknakeresztmetszet.

A kezdőállapot jellemzői :  $V_0 = 5 \text{ m}^3/\text{mp}$ , vízáram,  $c_0 = 1,46 \text{ m}/\text{mp}$  áramlási sebesség és a víztükör leszállásának kezdőértékét meghatározó

$$y_0 = h'_0 = (1 + \zeta) \frac{c_0^2}{2g} = 0,536 \text{ m}$$

veszteségmagasság.

A helyettesítő csatorna veszteségtényezője tehát (a kilépési veszteség hozzászámításával) :

$$1 + \zeta = \frac{2g h'_0}{c_0^2} = 4,91.$$



### 6. A víztükör legnagyobb kilengései áramkimaradás esetén

A 6. ábra a csatornarendszer egyenletes üzemállapotára vonatkozott. Áramkimaradás esetén a szivattyúk vízszállítása megszűnik, a csatornából érkező vízáram tehát lefolyás hiányában a szivattyúaknak víztükrét csakhamar a nyugalmi szint fölé emeli.

a) Ha *nincsen csillapítás*, akkor a víztükör-emelkedés legnagyobb  $Y$  magassága egyszerű energetikai szemlélettel: az energia megmaradásának feltételéből határozható meg.

A csillapítatlan rendszer munkaképessége az üzemállapot megzavarásának pillanatában:

$$E = E_{c0} + E_{y0}$$

volt. A víztükör emelkedése közben ez a munkaképesség az  $y = 0$  magasságú nyugalmi szinten teljes egészében *lendületté* alakult át, majd a nyugalmi szint fölött  $Y$  magasságban *potenciális energiává* alakult vissza.

Ezen a szinten a víztükör megáll, mert lendületével együtt a sebességét is elvesztette.

A víztükör  $e$  legnagyobb kilendülése a potenciális energia egyenletéből:

$$Y = \sqrt{\frac{2E}{F^* \gamma}}$$

Az adott esetben,

$$E = 149\,000 + 9200 = 158\,200 \text{ mkg}$$

és  $F^* = 64,2 \text{ m}^2$  helyettesítéssel:

$$Y = \sqrt{\frac{2 \cdot 158\,200}{64,2 \cdot 1000}} = 2,22 \text{ m.}$$

A potenciális energiának az  $y$  kilengés függvényében parabolikus változását szemléltető *energiaábrából* az  $Y$  kilengés nagysága szerkesztéssel is kiadódik. (V. ö.: a 6. ábra alsó képével.)

A víztükör ilyen mértékű kilengéseivel a *gépházpadló szintje fölé emelkedik*.

Lehetnek esetek, amikor az ellenőrző számítás megnyugtató adatokat szolgáltat. Ilyenkor szabatosabb vizsgálatra már szükség nincsen, mert a csillapítás a kilengéseket minden esetre kisebbíti.

De még ilyenkor is ki kell számítanunk a lengés ütemét (a lengés szögsebességét), hogy a jelenség lefolyásának *időtartamáról* is tájékozódhassunk.

Csillapítatlan lengések esetében a víztükörnek sebesség-út-diagrammjából leszarmaztatott *vektor-diagramm* (vagy kördiagramm) ad tájékoztatást a lengési folyamatról.

A 6. ábra alsó képe az  $\alpha$  (önlengési) szögsebességgel forgó  $Y$  vektor diagrammját mutatja.

Az  $Y$  vektor végpontjának  $v = Y\alpha$  kerületi sebessége a féllengés idejét határozza meg, a  $t = 0$  időpontban felrajzolt  $Y$  vektor  $\varphi_0$  fázisszöge pedig azt a  $t_0 = \varphi_0/\alpha$  időtartamot is méri, amellyel az első féllengés ideje megrövidült.

Az  $m = l^*f \gamma/g$  tömegű folyadékoszlop legnagyobb sebessége, a lendület legnagyobb értékéből:

$$(c) = \sqrt{\frac{2E}{m}}$$

Az adott esetben,  $E_* = 158\,200$  mkg és  $m = 400 \cdot 3,42 \cdot 1000 : 9,81 = 140\,000$  kg mp<sup>2</sup>/m értékkel:

$$(c) = \sqrt{\frac{2 \cdot 158\,200}{140\,000}} = 1,50 \text{ m mp.}$$

a víztükör legnagyobb emelkedési sebessége pedig,  $F^*/f = 64,2 : 3,42 = 18,8$  áttétellel:

$$(\dot{y}) = Y\alpha = c_0 f / F^* = 1,5 : 18,8 = 0,08 \text{ m mp.}$$

A lengés szögsebessége tehát:

$$\alpha = \frac{(\dot{y})}{Y} = \frac{0,08}{2,22} = 0,036 \text{ mp.}$$

a féllengés ideje pedig:

$$T_{1/2} = \frac{\pi}{\alpha} = 87 \text{ mp.}$$

Ugyanerre az eredményre vezet az egyaknás csillapítatlan lengőrendszer differenciálegyenletéből lezármaztatott képlet is. Eszerint:

$$\alpha = \sqrt{\frac{fg}{F^*l^*}} = \sqrt{\frac{9,81}{18,8 \cdot 400}} = 0,036 \text{ mp.}$$

b) Az egyaknás csatornarendszer lengései a sebesség négyzetével csillapodnak. A négyzetesen csillapodó lengések közismert differenciálegyenlete:

$$\ddot{y} - \frac{m}{2} \dot{y}^2 + \alpha^2 y = 0,$$

ahol  $\alpha$  a csillapítatlan lengés szögsebessége és

$$m = \frac{F^*(1 + \zeta)}{fl^*}$$

a csillapítási együttható.

Ennek reciprok értéke : a *kilengési korlát* ( $Y_\infty = 1/m$ ), amely fölé a víztükör semmi esetre nem emelkedhetik, bármekkora volt is induláskor a rendszer munkaképessége.

Az adott esetben a kilengési korlát,  $1 + \zeta = 4,91$  értékkel :

$$Y_\infty = \frac{400}{18,8 \cdot 4,91} = 4,32 \text{ m.}$$

Vannak esetek, amikor a kilengési korlát sem lépi túl a víztükör megengedhető emelkedési magasságát. Ilyenkor a vizsgálat folytatásának nincsen gyakorlati jelentősége. Az adott esetben azonban szabatosabb számítással kell az első (negatív) kilengés ( $Y_1$ ) várható értékét meghatározni.

A leggyorsabban ad eredményt a szerzőnek a »Gyakorlati Áramlástan« című könyvében ismertetett eljárása, amely a feladat megoldását egyetlen *alapgörbe* szerkesztésére vezeti vissza.

Az alapgörbe egyenlete :

$$u = e^x - x - 1,$$

ahol, az első féllengésre érvényes

$$A = m y_0$$

állandóval, a független változó :

$$x = m y - A,$$

a veszteségmagasság mérőhosszúsága pedig :

$$m h' = A - u.$$

A legnagyobb (negatív) kilengés helyén a lengőrendszer sebessége zérus, azaz :

$$h' = 0, \text{ és } u = A, \text{ ha } y = -Y_1 \text{ és } m x_1 = -(m Y_1 - A).$$

Ha az  $A$  állandó jóval kisebb az egységénél, akkor az  $e^x$  függvény sorbajejtésével és a négyzetesnél magasabb hatványú tagok elhagyásával, rendezés után, alábbi közelítő eredményhez jutunk :

$$m Y_1 = \sqrt{2A} - A.$$

Az adott esetben,  $A = m y_0 = 0,536 : 4,32 = 0,124$  értékkel :

$$m Y_1 = \sqrt{0,248} - 0,124 = 0,374$$

s ezzel :  $Y_1 = 0,374 \cdot 4,32 = 1,52$  méter.

A vizsgált esetben a víztükörnek ilyen mértékű felemelkedése sem engedhető meg, mert a gépház padló szintje mindössze 800 mm-rel magasabb a víztükör nyugalmi szintjénél. Áramkimaradás esetében tehát a gépház elárasztása

el nem kerülhető, ha másképpen nem gondoskodunk az ilyenkor keletkező »árhullám« levezetéséről.

### 7. A víztükör emelkedésének korlátozása átbukással

Az ellenőrző számítások arra az eredményre vezettek, hogy az adott esetben a szivattyúakna víztükrének felemelkedése jóval nagyobb lehet a megengedettnél. Áramkimaradás esetében tehát számolnunk kell a gépház elárasztásával is.

Ilyenkor a víztükör emelkedését *átbukással* kell korlátozni, oly módon, hogy a szivattyúaknák válaszfalain — mintegy 100 mm-es magasságban a nyugalmi szint fölött — a hűtővíz átbukására alkalmas nyílásokat kell készíteni az akna melegvízoldala felé. Ugyanilyen átbukónyílások készíthetők az ellenőrző- és záróaknák közfalain is.

Az átbukóélek együttes hosszúsága legyen akkora, hogy az átbukó vízszög a gátkorona fölött áttört nyílásokon keresztülférjen.

Az adott esetben a válaszfalakon a szivattyúakna mennyezetéig 400 mm magas nyílások voltak készíthetők, az átbukóél hosszúsága pedig aknánként 4 m, együttesen tehát  $b = 12$  m volt.

Az átbukás  $h$  magassága, a teljes  $V = 5$  m<sup>3</sup>/mp hűtővízhozam esetén, a teljes átbukásra érvényes közismert összefüggésből,  $\mu = 0,6$  tényezővel:

$$h = \left( \frac{V}{0,67 \mu b \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,383 \text{ m.}$$

Az átbukó víz tehát még éppen nem érinti a szivattyúaknák mennyezetét. A biztonságot lényegesen fokozzák az ellenőrző- és záróaknák közfalain készült átbukónyílások is. Áramkimaradás esetében ugyanis a hidegvízcsatorna víztükrének emelkedését ezek a nyílások is a megengedett mértékre korlátozzák.

Az átbukó vízáramot ilyenkor a melegvízcsatornák vezetik le a gyűjtőmedencébe.

### Összefoglalás

Tanulmányomban néhány áramlástani kérdés tárgyalásával igyekeztem rávilágítani a nagyteljesítményű csatornahálózatok tervezése és üzemeltetése kapcsán felmerülő feladatok újszerűségére. E feladatok maradéktalan elvégzéséhez a tudományos elméleti és kísérleti kutatások eredményeinek felhasználására is szükség van. Néhány ilyen eredmény ismertetésére szorítkozik ez a tanulmány.





# KÜLÖNBÖZŐ FIZIKAI TÉNYEZŐK HATÁSA A MAGAS HŐMÉRSÉKLETŰ BELSŐ TÜZELÉSŰ KEMENCÉK HŐÁTADÁSI VISZONYAIRA

LADOMÉRY ISTVÁN

[Beérkezett 1952 július 21-én]

## Jelzések

$F$	a fürdő felülete
$h$	a kemence magassága
$q_1(0)$	a boltozatra irányuló sugárzás intenzitása a boltozatnál
$q_2(0)$	a boltozatról kiinduló sugárzás intenzitása
$q_1(h)$	a fürdő (betét) felületéről kiinduló sugárzás intenzitása
$q_2(h)$	a fürdőre irányuló sugárzás intenzitása a fürdő felületén
$q(h)$	$q_2(h) - q_1(h)$
$q_B$	a boltozat felületi hőmérsékletének megfelelő hőmérsékletű fekete test sugárzási intenzitása*
$q_F$	a fürdő, illetve betét felületi hőmérsékletének megfelelő hőmérsékletű fekete test sugárzási intenzitása
$q_k$	$q_1(0) - q_2(0)$
$q_L$	a láng valódi hőmérsékletének megfelelő hőmérsékletű fekete test sugárzási intenzitása
$Q_1$	az óránként elégetett tüzelőanyag fűtőértéke
$Q_2$	a kemencéből a regenerátorba óránként belépő gáz melegtartalma
$Q_3$	a regenerátorból óránként kilépő gáz melegtartalma
$Q_4$	a kemence óránkénti falvesztesége
$Q_5$	a kemence és a regenerátor összes óránkénti falvesztesége
$R_B$	a boltozat reflexiótényezője
$R_F$	a fürdő reflexiótényezője
$\varepsilon$	a láng emissziótényezője
$\eta$	a regenerátor hatásfoka.

\*  $q_B = \sigma T_B^4$ , ahol  $\sigma$  a Stefan—Boltzmann állandó,  $T_B$  a boltozat abszolút hőmérséklete. Az írásmód egyszerűsítése érdekében a levezetésekben és a diagrammokban is mindenütt a  $q$  értékekkel dolgoztunk az abszolút hőmérséklet helyett. A  $q$  és  $T$  összefüggését egyébként az 1. ábra tünteti fel.

## 1. Bevezetés

Belső tüzelésű, magas hőmérsékletű kemencék (elsősorban acél- és üvegyári Martin-kemencék) helyes üzemeltetése elsőrendű népgazdasági érdek. Az üzem minél biztosabb alapra való helyezése tehát igen fontos.

Jelenleg ez az üzem jórészt a hosszú tapasztalattal rendelkező üzemi szakemberek, elsősorban az olvasztárok gyakorlati megfigyeléseinek, igen gyakran valósággal tudatalatti tapasztalattársításain alapszik. Annak ellenére, hogy az eredmények jók, ez a helyzet mégsem tökéletes, de a fejlődést is hátráltatja,

mert a tapasztalatok megszerzése, de még átadása is hosszú ideig tart, míg a műszer, szabályozó automata esetleg aránylag könnyen előállítható.

Ma is mérnek az üzemekben számos tényezőt, ahhoz azonban, hogy az üzem műszerre alapozott lehessen, nélkülözhetetlen, hogy az egyes műszerrel mérhető vagy a kemence építéskor figyelembevehető fizikai tényezőknek a hőátadásra gyakorolt hatását legalábbis minőségileg ismerjük. Ismereteink e tekintetben még nem kielégítőek. A nagyüzemi eredmények annyira függenek az olvasztárok ügyességétől, hogy az ezekből leszűrt összefüggések ellentmondók. Ez a körülmény vezetett egyes kísérletezőket arra [1], hogy kisebbmértetű és a valóságos üzemi körülményektől eltérő üzemű (viszonylag alacsony hőmérsékletű) kemencemodellben végezzenek kísérleteket. Kétséges azonban, hogy az így kapott eredmények éppen a legfontosabb sugárzásos hőátadás tekintetében átvihetők-e a teljes méretű kemencékre.

Az ilyen magas hőmérsékletű kemencékben végbemenő hőátadás szempontjából legfontosabb sugárzásos hőátadás, amint látni fogjuk, igen sok, csak nagy elhanyagolással figyelembe vehető tényezőtől függ. Igen egyszerűsített — lényegében az alábbi számításokkal egyező — de aránylag kevésbé variált feltételek figyelembevételével errenézve már végeztek számításokat *Ribaud* [2] és *Thring* [3]. *Ribaud* a fűrdő és boltozat teljesen fekete sugárzását feltételezve, számította a hőátadást adott abszorpció-, illetve emisszióképességű és hőmérsékletű világító láng esetére és arra az — egyébként az alábbiakkal is egyező — eredményre jutott, hogy a gyakorlatban előforduló hőmérsékleti viszonyok között legfeljebb 0,5—0,6 emisszióképességig érdemes karburálni. *Thring* eredeti közleményéhez nem sikerült hozzájutni, csupán egy diagramját ismerjük az *Iron and Coal Trade Review*-ben [3] megjelent összefoglaló cikkéből. Ebből az látszik, hogy szintén csak a boltozat, a salak és a láng hőmérsékletét véve figyelembe, számította ki kisebb (0,2, 0,3, 0,4) emisszióképesség figyelembevételével a sugárzásos hőátadást. Ebből a diagrammból az alábbi eredmények nagy részét le lehet vezetni; *Thring* azonban cikkében ezekre nem mutatott rá, hanem csupán a túlkarburálás szükségtelen és a magas láng hőmérséklet szükséges voltát hangsúlyozta.

Indokoltnak látszik tehát a szóbanforgó számításokat valamivel szélesebb alapokon elvégezni, s így megkeresni az egyes változók variálása útján az összefüggéseket a különböző mérhető vagy beépíthető tényezők és a kemencében végbemenő hőátadás között.

Ismeretes, hogy a hőátadás ezekben a kemencékben túlnyomórészt sugárzás útján megy végbe, míg a konvekciós hőátadás legfeljebb néhány százalék. Így tehát az utóbbit nyugodtan elhanyagolhatjuk, illetőleg jelentőségét csak ott vesszük kvalitatíve figyelembe, ahol hasonló nagyságrendű értékről van szó (falveszteség és  $q_k$  viszonya).

A sugárzásos hőátadást befolyásoló tényezők közül minden esetre igen fontos jelentősége kell hogy legyen a karburált, tehát látható fénnel világító,

vagy a karburálatlan, s így az infravörös színképtartományban sugárzó láng emissziós tényezőjének. Tudjuk, hogy jól világító láng felületegysége többszörösét sugározza annak az energiának, amelyet az ugyanolyan hőmérsékletű, nem világító láng, illetve füstgáz (főként  $\text{CO}_2$  és  $\text{H}_2\text{O}$  tartalmának következtében) felületegységenként kisugároz [4, 5]. Az üzemben mégis arra a paradoxnak látszó tapasztalatra jutottak, hogy nem világító, vagy csak éppen hogy látható lánggal is lehetett acélgyári kemencét üzemben tartani, amikor is az olvasztási idő a nem világító láng esetében nem volt nagyságrendben különböző a jól karburált lánggal működtetett kemence olvasztási idejétől [6]. Nyilvánvaló tehát, hogy a hőátadásban más tényezőknek a láng emisszióképességének hatását ellensúlyozó jelentősége van.

A betétre, illetve fűrdőre irányuló sugárzó hőátadás nem számítható ki egyszerűen a véges méretű láng-, illetve sugárzó füstgáztömeg sugárzásából. A valóságban az történik, hogy a betét, illetve a fűrdő felületéről kilép bizonyos intenzitású sugárzás; ez a lángon áthaladva részben elnyelődik, de ugyanakkor hozzáadódik a láng sugárzása, az abszorpciótényezőnek megfelelő arányban. Ez az így megerősödött sugárzás a kemence falazatán, főként boltozatán részben visszaverődik, részben elnyelődik, majd a konvekciós hőátadással csökkentett falveszteséget leszámítva, visszasugárzik. Ez a sugárzás a lángon újból áthaladva az elnyelés következtében intenzitásában csökkenne, de a láng sugárzása révén a valóságban az elnyeléses veszteségen túlmenően erősödik. A fűrdő felületét érő sugárzás ismét részben visszaverődik, részben elnyelődik, az elnyelt energia egy része azonban a fűrdő felülete emissziótényezőjének és a fűrdő hőmérsékletének megfelelő mértékben visszasugárzódik; a se vissza nem vert, se vissza nem sugárzott energia az, ami a fűrdőnek átadódott. A boltozatról történő visszacsugárzás természetesen a boltozat hőmérsékletének és a boltozat emisszióképességének felel meg; más részről a visszasugárzott energiát a boltozaton elnyelt sugárzás és a falveszteség különbsége határozza meg. Így tehát a sugárzási egyensúly a boltozat felületi hőmérsékletét is meghatározza, melyet természetesen nem lehet határtalanul növelni.

A betétre, illetve fűrdőre történő hőátadás eszerint a láng hőmérsékletén és emisszióképességén kívül a fűrdő, illetve betét változó hőmérsékletétől, a boltozat megengedhető maximális hőmérsékletétől, a fűrdő, illetve betét, valamint a boltozat reflexiótényezőjétől, a láng alakjától, végül a falveszteségtől függhet egyéb kisebb befolyású tényezőkön kívül (oldalfalak, ajtók veszteségei, reflexiótényezője, szórás stb.).

A felsorolt tényezőkre vonatkozó ismereteink egyelőre nem elegendők arra, hogy azokat számításoknál exakt módon figyelembe vehessük.

Így különösen nehézséget okoz a láng alakja, hőmérséklete és emisszióképessége. Aránylag legtöbbet tudunk a nem világító lángok emissziójáról [4].

Ismert hőmérsékletű, összetételű és kiterjedésű, infravörösén sugárzó gáztér emisszió-, illetve abszorpcióképessége az irodalmi adatok alapján elég

pontosan kiszámítható. Mivel azonban a hőmérséklet és összetétel a lángban sem helyileg, sem időbelileg nem állandó, a számítás csak átlagos lehet, tekintve, hogy a hőmérséklet és összetétel függvényére nézve semmi biztosat nem tudunk megjósolni.

Sokkal nagyobb a nehézség a világító (karburált) lángokat illetően, bár ezekre vonatkozólag is bőven van irodalmi adat [5]. Ismeretes, hogy az ilyen világító láng emisszióképessége a hullámhossz növekedésével csökken [7, 8, 9], vagyis a hőátadás szempontjából tekintetbe jövő összesített abszorpció, illetve emissziótényező a hőmérséklettől és az áteső sugárzás színképi eloszlásától is függ. Ennek a körülménynek az exakt figyelembevételével (nem tekintve, hogy az abszorpciótényező és a hullámhossz összefüggését pontosan nem is ismerjük) [9], rendkívüli nehézséget okozna, mert a sugárzás színképi összetétele, melyben ismételtlen reflektált, különböző hőmérsékletű és különböző színképi eloszlással sugárzó testekből eredő sugárzások vannak együtt, a lángon való áthaladása közben is változik. Így tehát itt is átlagértéket vagyunk kénytelenek figyelembe venni.

Bőven vannak adatok a lángok hőmérsékleteloszlására nézve is [10], melyekből kitűnik, hogy a láng hőmérsékleteloszlása, fajlagos sugárzóképesége az égő alakján kívül egyéb, az üzem során változó tényezőtől is függ, úgyhogy megint csak átlagértékek használatáról lehet szó. Ugyanígy egyszerűsíteni kell a számítást a láng változó méreteinek ugyancsak átlagértékekkel való helyettesítésével is.

Megemlítendő, hogy a lángra vonatkozó ismeretek kiegészítésére holland, francia és angol szakértők közös munkájával Angliában egy nagyméretű, külön erre épült kemencében kísérletek folytak. Ami azonban erről eddig nyilvánossá vált, az [11, 12] olaj és más folyékony tüzelőanyagok eltüzelésére vonatkozik, úgyhogy a hazai viszonylatban elsőrendűen fontos gáztüzelésű kemencék üzemében nem sok segítséget nyújthat, s amellet a kísérletek a dolgok természetével járó nagy nehézségek miatt csak a kezdet kezdetén vannak. E kísérletek mellett az említett bizottság a láng sugárzásának kiszámítására vonatkozólag is vett fel programponctot, de erről még nem jelent meg közlemény, úgyhogy ez nem segíthet az alábbi számításokban.

Ha azonban jobban megfontoljuk, az a körülmény, hogy a láng hőmérsékletének és fajlagos emisszióképességének csak valamilyen átlagértékével számolhatunk, a számítások kvalitatív helyességét aligha befolyásolja, mert ezek a tényezők, tekintve, hogy minden egyes felületelem besugárzásában minden egyes lángrészcseke részt vesz, ténylegesen összhatásukban érvényesülnek, úgy, hogy kellő átlagértékkel való helyettesítésük valószínűleg nem teszi használhatatlanná a számítás eredményét.

Az egyéb tényezők közül a reflexióképeségekre *Naeser és Pepperhof* [13] közöltek adatokat 1400 °C-ig terjedő hőmérsékletre; így tehát legalábbis nagyságrendre ismerjük azt, hogy milyen reflexióképeségekkel kell számolni. Ebből

a közleményből tudjuk, hogy a kövek és a salak korántsem »szürkék«, hanem reflexióképességük a színképi összetétellel változik. Itt is kénytelenek vagyunk azonban a láng abszorpcióképességével kapcsolatban elmondottak folytán átlagértékekkel számolni. Egyébként az alábbi számtáblázatokban különböző reflexióképességeket veszünk figyelembe, minek alapján a reflexióképességek ismerete körüli hibák befolyása megbecsülhető.

A konvekciós hőátadással csökkentett falveszteségek csak becsülhetők. Ezen tényező befolyásának megismerésére a számpéldákban 0-tól a gyakorlati érték többszörösét is meghaladó értékig menő falveszteséget veszünk figyelembe.

A boltozat-, illetve falazat megengedhető hőmérséklete gazdasági megfontolásoktól függ. Ha a falazat és boltozat aránylag hosszú élettartamára törekszünk, úgy e hőmérsékletnek nyilván a legmelegebb helyen sem szabad meghaladnia az ú. n. »csepp-pontot« (Tropfpunkt), vagyis azt a hőmérsékletet, amelyen a kő felülete már csepegni kezd [14]. Ha azonban erőltetett üzemre van szükség, úgy legalábbis időlegesen valamivel, de nem sokkal e fölé a hőmérséklet fölé is mehetünk, aminek az eredménye, hogy a boltozat ekkor időegység alatt jobban pusztul, mint a kíméletes üzemkor, de ugyanakkor a hőátadás, amint látni fogjuk, jelentékenyen emelkedhetik. Nincs kizárva tehát, hogy az egy-egy olvasztásra eső üzemidő ennek következtében annyira megrövidül, hogy az egy falazással kitartható olvasztások száma az erőltetett üzemben is csak alig vagy talán semmit sem csökken. Természetesen nem lehet a boltozat hőmérsékletét olyan magasra növelni, hogy a boltozat szilárdsága a megengedhető minimális érték alá süllyedjen. Azt, hogy milyen magas boltozathőmérséklet engedhető meg, kísérlettel lehet csak eldönteni. A számpéldákban kétféle boltozathőmérsékletet veszünk figyelembe. A boltozat hőmérséklete természetesen szintén nem állandó, sem helyileg, sem időbelileg. Az eltérések itt valószínűleg nem olyan nagyok, mint a lángban, mert a boltozat minden pontját a láng egésze sugározza be a mögötte lévő fürdővel együtt és a váltás következtében a boltozat pontjainak relatív helyzete is változik, úgyhogy a boltozaton egy bizonyos átlagosodás megy végbe. Ezért itt is átlagos hőmérséklettel számolunk.

A hőátadás exakt számítását az is megnehezíti, hogy a világítólag általában a fürdő és boltozat közötti térnek csak egyik részét tölti ki, vagyis a boltozatról nézett félgömbnek csak egyik része van a láng fölött, míg a fennmaradó térszög a többi falrész felé irányul. Így tehát exakt számításakor a helyileg és időbelileg is eltérő hőmérsékletű falrészek közötti kölcsönös sugárzást is figyelembe kellene venni. Ennek a rendkívül bonyolult és a fenti elhanyagolások után céltalanul pontos számításnak elkerülésére az alábbiakban a boltozat átlagos hőmérsékletét vesszük figyelembe, a többi falrészről pedig feltételezzük, hogy azok a fürdő felől rájuk eső energiát továbbadják a boltozatnak. Ez az utóbbi feltevés a számítást rendkívül megkönnyíti, megengedhetőnek is látszik, mert az amúgyis kicsiny százalékot kitevő falveszteséget legalábbis részben fedezi a nagyságrendben ugyanakkora konvekciós hőátadás [2].



A fenti közelítő feltevések mellett tehát a fürdő és a boltozat között helyetfoglaló láng kölcsönös sugárzását úgy lehet számítani, mintha a lángnak megfelelő sugárzóképeségű, végtelen vízszintes kiterjedésű, sík felületekkel határolt sugárzó tér ugyancsak végtelen vízszintes kiterjedésű sík felületek között foglalna helyet. Az alábbiakban tehát egy egyenletesen vastag, végig egyenlő hőmérsékletű és fajlagos emisszióképességű, sík felületekkel határolt lángtérnek párhuzamos sík felületekkel való kölcsönös sugárzását számítjuk ki. Emellett feltételezzük még, hogy úgy a lángtér, mint a határoló felületek emisszió, illetve abszorpcióképessége hőmérsékletüktől és a rájuk eső sugárzás színképeleszlásától függetlenül állandó. Az így kapott eredmények érvényesek akkor is, ha a fenti feltétel nincs ugyan teljesen kielégítve, de a hőmérsékleti viszonyok olyanok, illetve a sugárzás olyan mértékben kevert, hogy a sugárzás színképi energiaeloszlása a különböző helyeken annyira közelálló, hogy a fenti feltételektől való eltérés okozta hiba gyakorlatilag elhanyagolható.

Az alábbi számítások tehát a dolog természetének megfelelően nagymértékű egyszerűsítések alkalmazásával jöttek létre. Mindamelllett az átlagértékben figyelembe vett egyes fontos tényezők jelentősége tekintetében a levezetésekben nincs elhanyagolás; ezért feltehető, hogy az eredmények kvalitatíve helyesek. Természetesen ezt a kérdést csak kísérleti úton lehet eldönteni.

## II. A sugárzásos hőtadás

Tételezzük fel, hogy végtelen vízszintes kiterjedésű,  $\varepsilon$  emisszió- és abszorpcióképeségű láng foglal helyet sík felületű boltozat és fürdőfelszín között. A láng, a boltozat és a fürdő hőmérsékletének megfelelő hőmérsékletű fekete test sugárzási intenzitása rendre  $q_L$ ,  $q_B$  és  $q_F$ . A  $q$  értékek és a hőmérséklet közötti összefüggést az 1. ábra szemlélteti. A fürdő és a boltozat közötti térben két irányú sugárzás megy végbe. A fürdő felől a boltozat felé irányuló sugárzást 1 indexszel jelöljük, míg az ellentétes irányút 2 indexszel. A sugárzási intenzitás általában a boltozattól való távolság függvénye, számításainkhoz azonban csak a boltozatnál és a fürdő felületénél jelentkező értékekre van szükség. A boltozatnál a sugárzási intenzitás értéke  $q_1(0)$  és  $q_2(0)$ , míg a fürdő felületnél  $q_1(h)$ , illetve  $q_2(h)$ , ahol  $h$  a fürdő távolsága a boltozattól.

Amint erről már szó volt, a fürdőről kiinduló sugárzás  $\varepsilon \cdot q_1(h)$  részét a láng elnyeli, ami mellett az így fennmaradó  $(1 - \varepsilon) \cdot q_1(h)$  sugárzáshoz hozzáadódik a láng sugárzása  $\varepsilon \cdot q_L$ . Így tehát

$$q_1(0) = (1 - \varepsilon) \cdot q_1(h) + \varepsilon \cdot q_L \quad (1)$$

Innen :

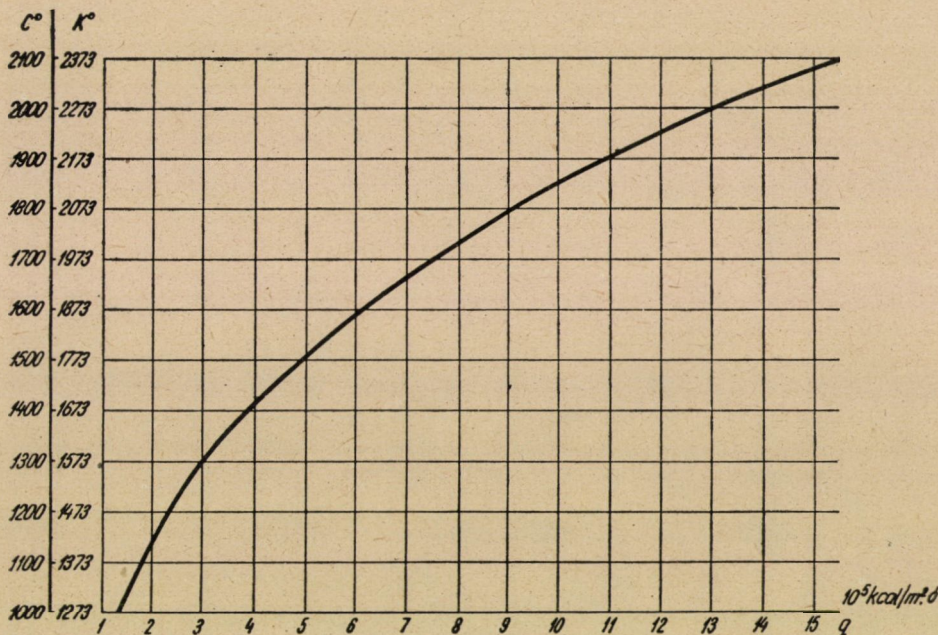
$$q_1(h) = \frac{q_1(0) - \varepsilon \cdot q_L}{1 - \varepsilon} \quad (2)$$

A másik irányban a boltozatról kiinduló  $q_2(0)$  sugárzás  $\varepsilon \cdot q_2(0)$  része nyelődik el, a fennmaradó  $(1 - \varepsilon) \cdot q_2(0)$  sugárzáshoz pedig hozzáadódik a láng sugárzása  $\varepsilon \cdot q_L$ . Így tehát

$$q_2(h) = (1 - \varepsilon) \cdot q_2(0) + \varepsilon q_L \quad (3)$$

A fűrdőre óránként, felületegységenként átadódó melegmennyiség tehát:

$$q(h) = q_2(h) - q_1(h)$$



1. ábra

vagyis

$$q(h) = (1 - \varepsilon) \cdot q_2(0) + \varepsilon \cdot q_L - \frac{q_1(0) - \varepsilon \cdot q_L}{1 - \varepsilon} = \frac{(1 - \varepsilon)^2 \cdot q_2(0) + (1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon \cdot q_L - q_1(0) + \varepsilon \cdot q_L}{1 - \varepsilon} \quad (4)$$

A boltozatot érő és a boltozatot elhagyó sugárzás különbsége

$$q_1(0) - q_2(0) = q_k \quad (5)$$

Ez a  $q_k$  nem azonos a falvesztéssel, hanem a falvesztés és a falra nem sugárzás útján átadódó melegmennyiség különbsége. A falvesztés a konvekcióval átadódó melegmennyiség teljes egészében fedezheti. Ilyenkor a  $q_k = 0$ . Még nagyobb konvekciós hőátadáskor  $q_k$  negatív is lehet, vagyis a visszasugárzó sugárzáshoz a konvekcióval átadott meleg egy része hozzáadódik.

$q_2(0)$  egyrészt a  $q_1(0)$  visszaverődött  $R_B$ .  $q_1(0)$  részéből, másrészt a boltozatról kisugárzott  $(1 - R_B) \cdot q_B$  sugárzásból tevődik össze.

Tehát

$$q_2(0) = R_B \cdot q_1(0) + (1 - R_B) \cdot q_B \quad (6)$$

Az (5) és (6) egyenletek alapján

$$\begin{aligned} q_1(0) &= q_B + \frac{q_k}{1 - R_B} \text{ és} \\ q_2(0) &= q_B + \frac{R_B q_k}{1 - R_B}. \end{aligned} \quad (7)$$

A (4), (5) és (7) egyenletek figyelembevételével tehát

$$\begin{aligned} q(h) &= \frac{(2\varepsilon - \varepsilon^2) \cdot [q_L - q_1(0)] - (1 - \varepsilon)^2 \cdot q_k}{1 - \varepsilon} \\ &= \left( q_L - q_B - \frac{q_k}{1 - R_B} \right) \cdot \frac{2 - \varepsilon}{1 - \varepsilon} \cdot \varepsilon - (1 - \varepsilon) \cdot q_k. \end{aligned} \quad (8)$$

A (7) egyenletek szerint tehát a boltozatot érő és elhagyó sugárzási intenzitás, azonos boltozat-hőmérséklet mellett, független a láng hőmérsékletétől és emissziójától, vagyis a kemence sugárzási viszonyát meghatározó adatokat úgy kell beállítani, hogy a boltozatot érő sugárzás ilyen értékű legyen, másképpen a boltozat hőmérséklete nem lesz a kívánt értékű.

Látjuk, hogy a (8) egyenlet szerint a  $q_B$  és  $\varepsilon$  állandó értékei mellett a  $q(h)$  lineáris függvénye a  $q_L$ -nek.

Az emissziótényező és az egyéb tényezők közötti összefüggést a fürdő felületén uralkodó viszonyokra felírható egyenlet alapján kaphatjuk meg.

A fürdőről kiinduló  $q_1(h)$  sugárzás egyrészt a  $q_2(h)$  sugárzás visszavert  $R_F \cdot q_2(h)$  részéből, másrészt a fürdő felszínéről kisugárzott  $(1 - R_F) \cdot q_F$  sugárzásból tevődik össze.

Tehát :

$$q_1(h) = R_F \cdot q_2(h) + (1 - R_F) \cdot q_F \quad (9)$$

A  $q_1(h)$  és  $q_2(h)$  értékét a (9) egyenletbe a 2. és 3. alapján behelyettesítve, a következő egyenletet kapjuk :

$$\frac{q_1(0) - \varepsilon \cdot q_L}{1 - \varepsilon} = R_F (1 - \varepsilon) \cdot q_2(0) + R_F \cdot \varepsilon \cdot q_L + (1 - R_F) \cdot q_F. \quad (10)$$

A (10) egyenlet jobb- és baloldalát  $(1 - \varepsilon)$  tényezővel átszorozva a következő egyenletet kapjuk :

$$q_1(0) - \varepsilon \cdot q_L = R_F \cdot (1 - \varepsilon)^2 \cdot q_2(0) + R_F \cdot (1 - \varepsilon) \cdot \varepsilon \cdot q_L + (1 - R_F) \cdot (1 - \varepsilon) \cdot q_F. \quad (11)$$

A (11) egyenletből látjuk, hogy ha az  $\varepsilon = 1$ , úgy

$$q_L = q_1(0) = q_B + \frac{q_k}{1 - R_B}. \quad (12)$$

A  $q_L$ -nek ez az értéke határozza meg azt a legalacsonyabb lánghőmérsékletet, amellyel mellett a boltozat még az előírt hőfokra felhevül.

A  $q(h)$ -nak  $\varepsilon = 1$  mellett kiadódó határértéke a (8) egyenlet alapján :

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 1} q(h) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 1} \frac{q_L - q_1(0)}{1 - \varepsilon}.$$

A jobboldalt álló limest a (10) egyenlet alapján számíthatjuk ki.

A (10) egyenlet baloldalát ugyanis átalakítva a következő alakot kapjuk :

$$\frac{q_1(0) - \varepsilon q_L}{1 - \varepsilon} = \frac{q_1(0) - q_L}{1 - \varepsilon} + q_L. \quad (13)$$

Ha ezt a (10) egyenletbe behelyettesítjük, az egyenletet megfelelően rendezzük és az  $(1 - \varepsilon)$ -nal szorzott tagot elhagyjuk és az  $\varepsilon = 1$  értéket behelyettesítjük, a

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 1} q(h) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 1} \frac{q_L - q_1(0)}{1 - \varepsilon} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 1} (1 - R_F)(q_L - q_F) = (1 - R_F)[q_1(0) - q_F] \quad (14)$$

egyenletet kapjuk.

A (12) egyenlet szerinti  $q_L$  értéknek megfelelőnél alacsonyabb lánghőmérsékleteken a boltozat már  $\varepsilon = 1$  esetén sem melegsik fel az előírt  $q_B$  értéknek megfelelő hőmérsékletre. Ezeken az alacsonyabb lánghőmérsékleteken  $\varepsilon = 1$  mellett a

$$q(h) = (1 - R_F) \cdot (q_L - q_F) \quad (15)$$

összefüggés érvényes.

A (12) egyenlettel meghatározottnál magasabb lánghőmérsékleteken az  $\varepsilon$  értékét a (11) másodfokú egyenlet határozza meg. A (11) egyenletet  $\varepsilon$  szerint rendezve, a következőt kapjuk :

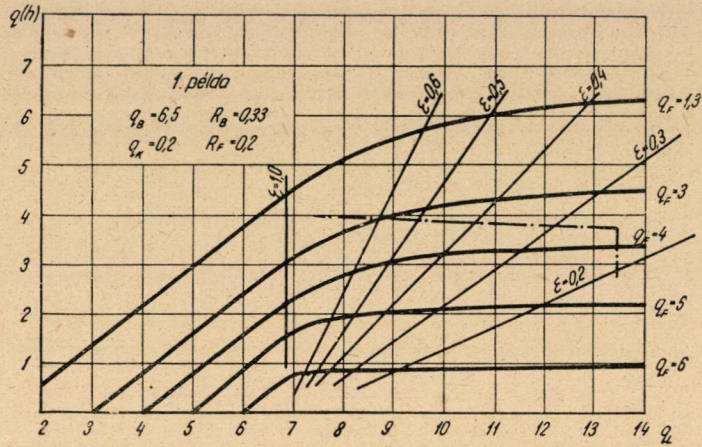
$$\varepsilon^2 \cdot R_F \cdot [q_L - q_2(0)] - \varepsilon \cdot [(1 - R_F) \cdot q_L - (1 - R_F) \cdot q_F - 2 \cdot R_F \cdot q_2(0)] + (1 - R_F) \cdot [q_2(0) - q_F] + q_k = 0 \quad (16)$$

$R_F, q_L, q_B, q_F, q_k$  értékei alapján ebből  $\varepsilon$  kiszámítható. Az  $\varepsilon$  értékének ismeretében a  $q(h)$  értékét a (8) egyenlet alapján számítjuk ki. Az ezen az alapon az alábbi számpéldákban kiszámított  $q(h)$  értékét a  $q_L$  függvényében különböző egyéb adatok mellett a 2—13. ábrák görbéi tüntetik fel.

Azt, hogy azonos boltozati és fürdőhőmérséklet, de különböző lánghőmérséklet mellett az üzem mennyivel megy gyorsabban, a kapott  $q(h)$  értékek



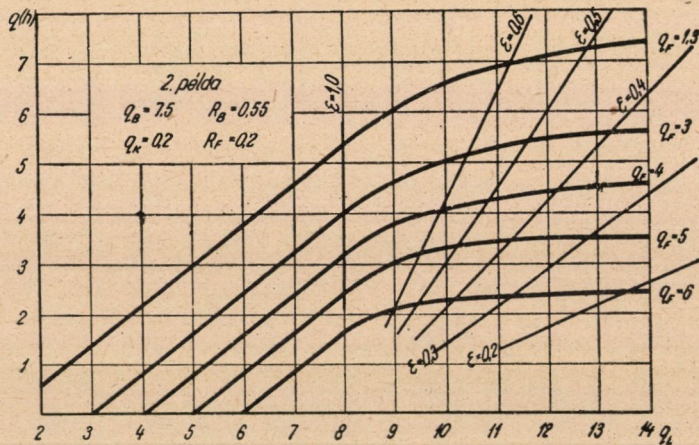
hányadosa határozza meg. Célszerű ezért a  $q(h)$  értékeket a (14) képlet szerint kapott  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 1} q(h)$  értékre vonatkoztatni. Annak megismerése végett, hogy ez a hányados milyen tényezőktől függ, a (10) egyenletet az (5) egyenlet figyelembe-



2. ábra

vételével úgy alakítjuk át, hogy abból a  $q(h)$ -nak a (14) egyenlet szerinti határértékét megkapjuk :

$$\frac{q_1(0) - \varepsilon \cdot q_L}{1 - \varepsilon} = R_F \cdot q_1(0) - R_F \cdot q_k - R_F \cdot \varepsilon \cdot q_1(0) + R_F \cdot \varepsilon \cdot q_k + R_F \cdot \varepsilon \cdot q_L + (1 - R_F) \cdot q_F. \quad (17)$$

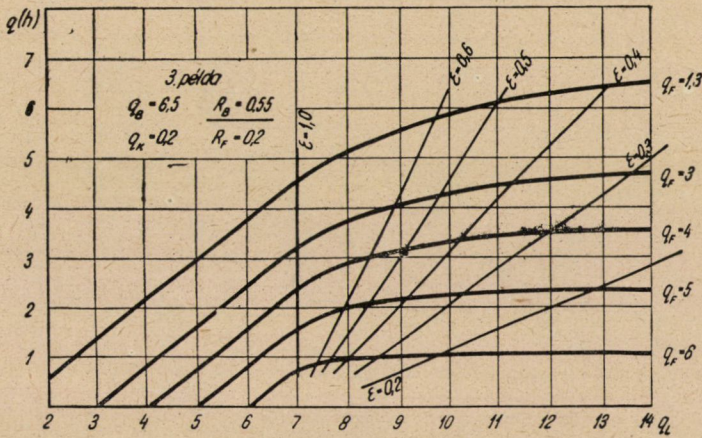


3. ábra



A (17) egyenletet megfelelően átrendezve,

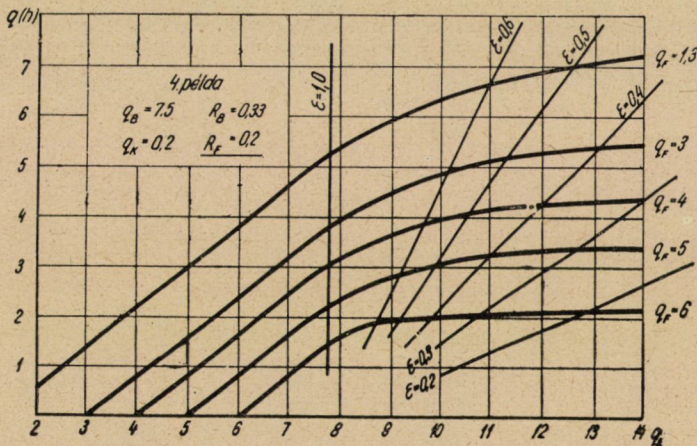
$$(1 - R_F) \cdot [q_1(0) - q_F] = \frac{R_F \cdot \varepsilon \cdot (1 - \varepsilon) + \varepsilon}{1 - \varepsilon} \cdot [q_L - q_1(0)] - R_F \cdot (1 - \varepsilon) \cdot q_k \quad (18)$$



4. ábra

A (8) egyenlet alapján kiszámított  $q(h)$  és a (18) egyenlet alapján kiszámított  $(1 - R_F) \cdot [q_1(0) - q_F]$  értékek hányadosa az aránylag csekély, s így első közelítésképpen elhanyagolható  $q_k$ -t tartalmazó tagok befolyását nem tekintve,

$$\frac{q(h)}{\lim_{\varepsilon \rightarrow 1} q(h)} \approx \frac{2 - \varepsilon}{R_F \cdot (1 - \varepsilon) + 1} \cong 1. \quad (19)$$

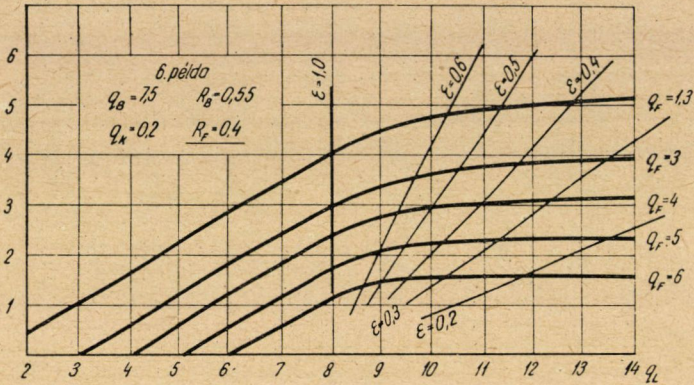


5. ábra



Másként :

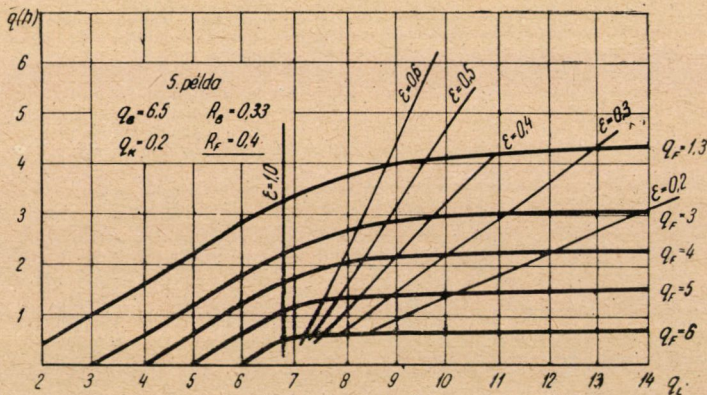
$$q(h) \approx \frac{2 - \varepsilon}{R_F(1 - \varepsilon) + 1} \cdot (1 - R_F) [q_1(0) - q_F]. \quad (20)$$



6. ábra

A (19) képletből látható, hogy a  $\frac{q(h)}{\lim_{\varepsilon \rightarrow 1} q(h)}$  hányadosa annál nagyobb, minél kisebb  $\varepsilon$ . Azt is látjuk, hogy  $\varepsilon$  csökkentésével elérhető százalékos növekedés a gyakorlatilag csak  $R_F$  és  $\varepsilon$  értékétől függ, tehát  $\varepsilon$  azonos mérvű csökkentésével gyakorlatilag ugyanolyan üzemgyorsítást érhetünk el mindenféle  $q_F$  mellett, vagyis az üzem minden szakaszában.

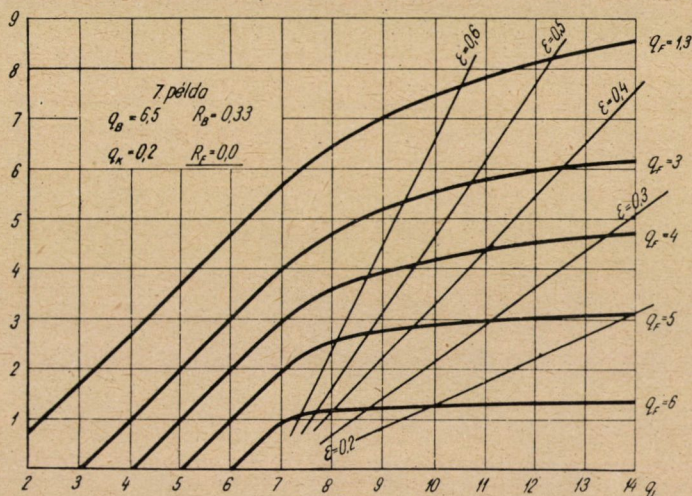
A  $\frac{q(h)}{\lim_{\varepsilon \rightarrow 1} q(h)}$  kiszámított értékét és a (19) közelítő képlet görbéjét a  $R_F = 0,2$  mellett a 14. ábra tünteti fel. Látható, hogy a (19) közelítő képlet a pontosabban



7. ábra

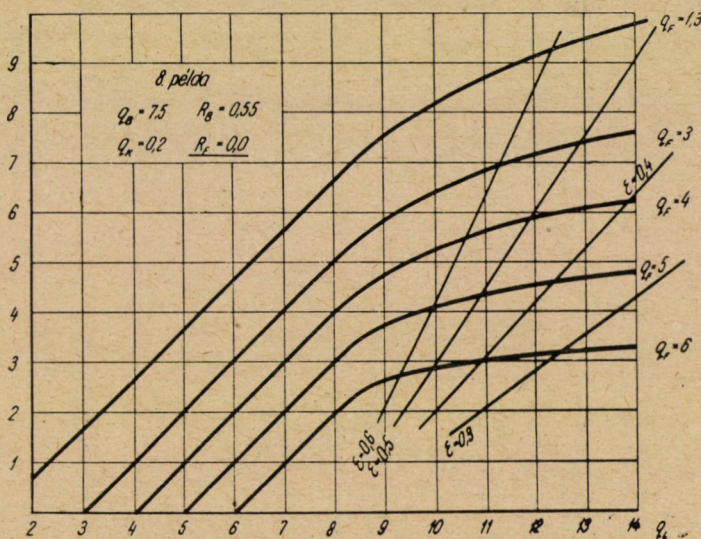


számítottánál kissé nagyobb értéket ad. A legnagyobb az eltérés, ha a fürdő hőmérséklete csaknem megközelíti a boltozat hőmérsékletét.



8. ábra

A hőátadás szélső határát természetesen a kemencébe bevezethető melegmennyiség és a kemence hatásfoka határozza meg. Ha  $Q_1$  a kemencében óránként elégethető tüzelőanyag fűtőértéke,  $Q_2$  a kemencét elhagyó,  $Q_3$  a regenerátort vagy rekuperátort elhagyó füstgáz melegtartalma,  $Q_4$  a kemence falvesztése,

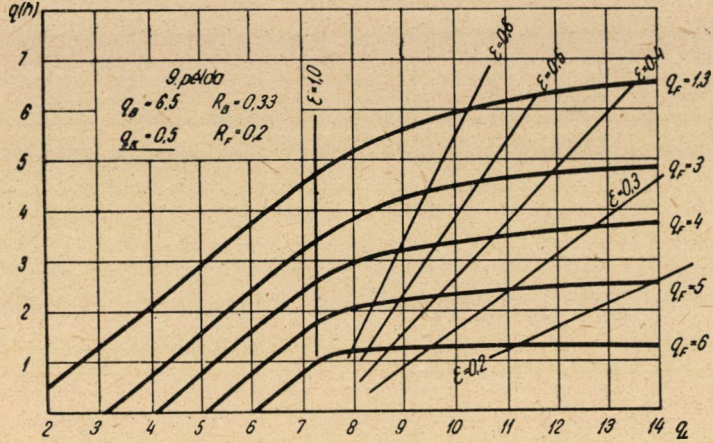


9. ábra



$\eta$  a regenerátor, illetve rekuperátor hatásfoka, a fűrdőre átadódó hőmennyiség pedig  $F \cdot q(h)$ , akkor

$$F \cdot q(h) = Q_1 + \eta \cdot (Q_2 - Q_3) - Q_3 - Q_4 \quad (21)$$

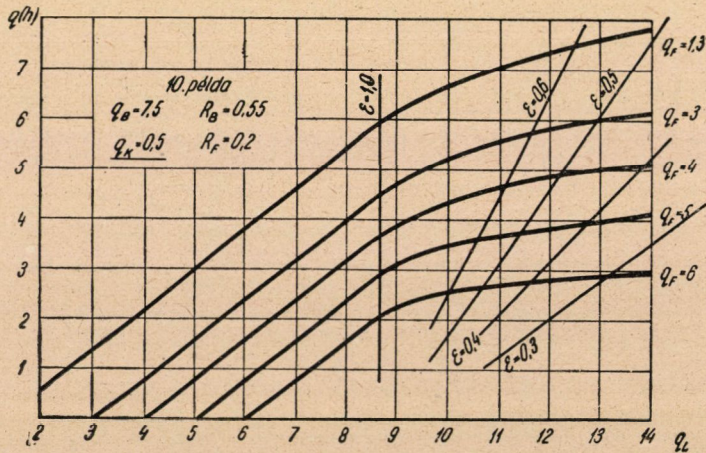


10. ábra

Ha pedig a kemence és regenerátor, illetve rekuperátor összes veszteségét  $Q_5$ -tel jelöljük, úgy

$$F \cdot q(h) = Q_1 - Q_3 - Q_5 \quad (22)$$

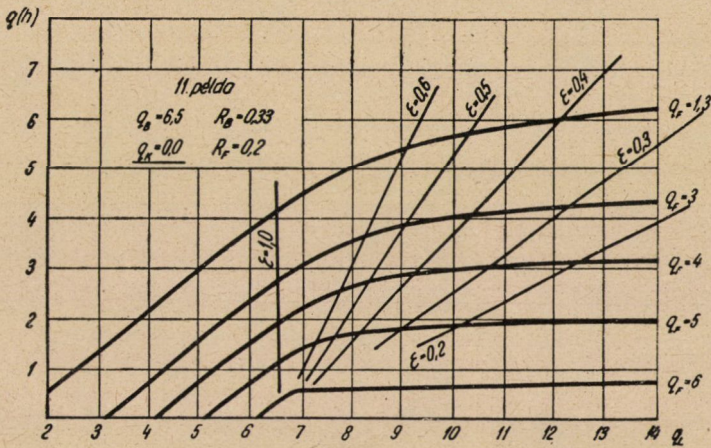
A  $q(h)$  értéke tehát meg van határozva. Adott láng-, fűrdő- és boltzathőmérséklet mellett a (8) és (16) egyenletek alapján kiszámítható  $q(h)$  adja a maximumot.



11. ábra

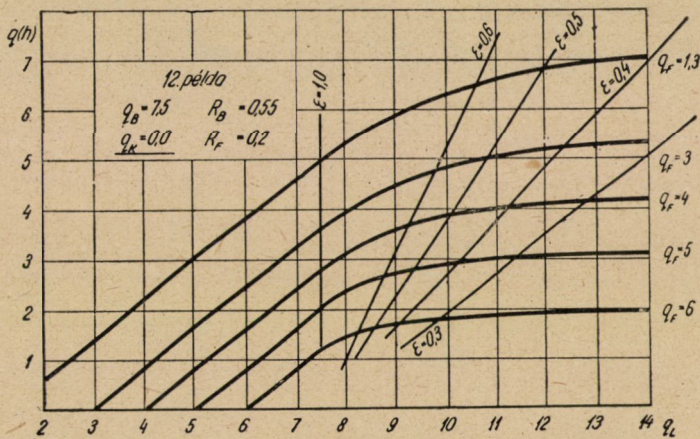


Ugyanekkora hőátadást nem az említett egyenletek szerinti viszonyok között csak magasabb láng hőmérséklet mellett lehet elérni (lásd az ábrákat). Magasabb láng hőmérséklet, de azonos hőátadás mellett viszont  $Q_2$  és ennek következtében  $Q_3$  is növekszik, vagyis a kemence hatásfoka csökken.



12. ábra

Így tehát a (16) egyenletnek megfelelő  $\epsilon$  betartása biztosítja adott hőátadás mellett a legjobb hatásfokot. Az  $\epsilon$  helyes értékének betartása azonban nem az  $\epsilon$  mérésével vagy hasonló, gyakorlatilag megvalósíthatatlan feladattal jár, hanem egyszerűen a boltozat hőmérsékletének mérésével és a karburálóanyag adagolásának szabályozásával.

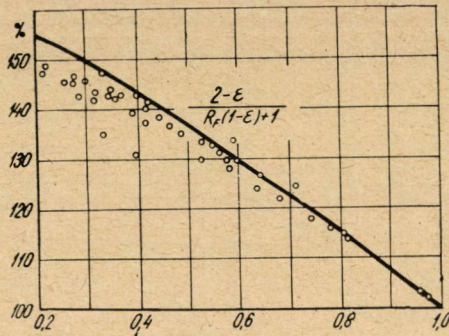


13. ábra



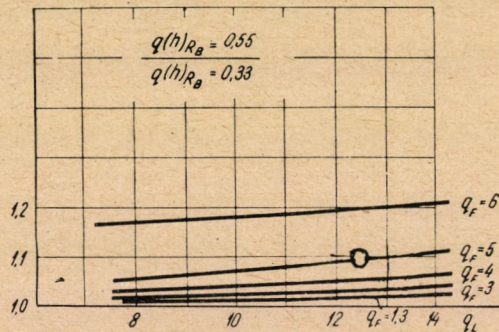
## III. Számpéldák

Az alábbiakban a (16) képlet alapján számított  $\varepsilon$  értékek felhasználásával, a változók különféle variálása mellett, a (8) és (16) képlet alapján, tizenkét számpéldában kiszámítottuk a hőátadást, valamint az alkalmazható emissziótényezőt, különböző fürdő- és láng-hőmérsékletek mellett. Ezenkívül feltüntetjük az 1-nél kisebb  $\varepsilon$  értékek mellett elérhető hőátadást is az  $\varepsilon=1$  mellett elérhető hőátadás százalékában. A  $q$  értékeknél egységként a  $10^5$  kcal/m<sup>2</sup>óra egységet használtuk, amivel elkerülhetjük a nagyszámú nullák használatát, mert a sugárzási intenzitások nagyságrendje általában  $10^5$ – $10^9$  kcal/m<sup>2</sup> óra. A számpéldák eredményeit a 2–19. ábrákon tüntettük fel. A 2–13. ábrákon abszcissa a láng-hőmérsékletnek megfelelő  $q_L$ , amely 1050–



14. ábra

2040 C° hőmérsékletkörzetnek felel meg. A görbék gyakorlatilag érdekes része a  $q_L=6$ ,  $q_L=14$  között, tehát amikor a láng-hőmérséklet nagyjából 1600 és 2000 C° között van. A görbékben az ordináta a fürdőre irányuló hőátadás  $q(h)$ , ugyancsak az említett  $10^5$  kcal/m<sup>2</sup> egységekben. A görbék paramétere a  $q_F$ , 1,3, 3, 4, 5, 6 értékkel, tehát az egyes görbék rendre kerekén 1000,



15. ábra

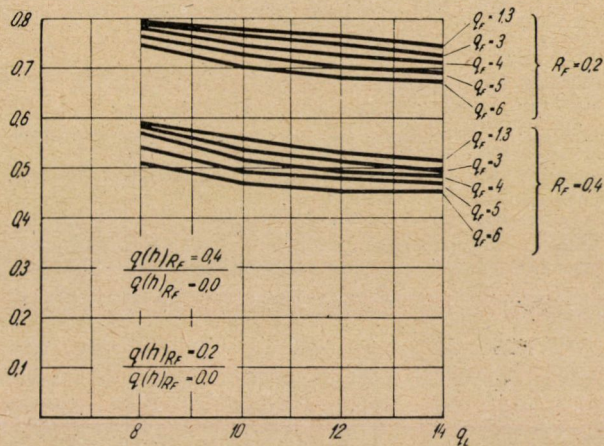
1300, 1400, 1500, 1600 C° fürdőhőmérséklethez tartoznak. A görbeseregekhez a (8) egyenlet alapján berajzoltuk az egyenlő  $\varepsilon$ -ok trajektóriáit is. Az  $\varepsilon=1$  függőleges vonalától balra eső »nekiindulási« terület az, ahol a láng hőmérséklete már nem elegendő arra, hogy a boltozatot az ábrán feltüntetett, a számpéldában alapul vett értékre hevítse.

A 14–19. ábrák görbéi azt mutatják, hogy a hőátadás mennyire függ az egyéb, bizonytalan, változtatható, változó, beállítható, vagy a kemence szerkesztésekor figyelembe vehető tényezőktől, nevezetesen az  $R_B$ ,  $R_F$ ,  $q_k$ ,  $\varepsilon$  és  $q_B$  tényezőktől.

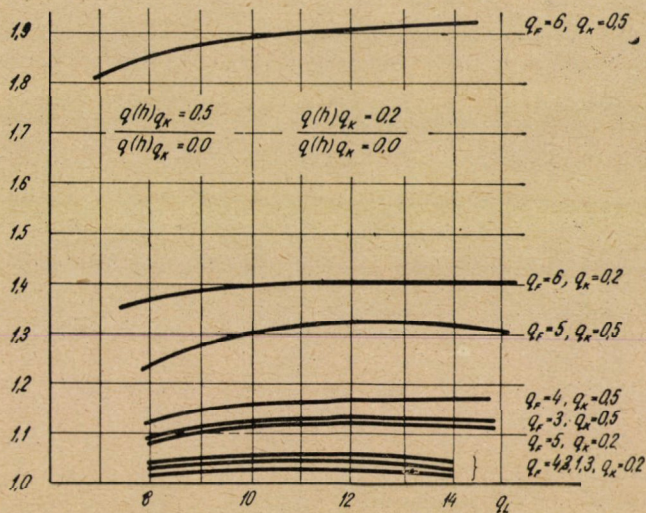
A 14. ábra a  $q(h)$  viszonylagos növekedését mutatja  $\varepsilon$  függvényében  $R_F=0.2$  mellett.  $q_k=0$  mellett a pontok egybeesnek a (19) képlet szerinti görbével, máskor valamivel alatta helyezkednek el. Az eltérés akkor tekintélyesebb, amikor a  $q_F$  annyira megközelíti a  $q_B$ -t, hogy különbségük hasonló nagyságrendű mint a  $q_k$ .



Az  $R_B$  értékére a számpéldákban Naeser és Pepperhoff szilika és króm-magnezit téglára vonatkozó (13) adatait használtuk fel. Tekintve, hogy a sugárzás a kemencében kevert sugárzás, a világító lángsugárzásra vonatkozó és az össz-sugárzásra vonatkozó reflexiótényező középértékét vettük. A variálást azonban itt is folytattuk, mert az egyéb adatok azonos értékben tartása mellett  $R_B$  kétféle (0,33 és 0,55) értékével számoltunk. Ilyen az  $R_B$  variálása szempontjából



16. ábra



17. ábra

összetartozó számpéldák az 1. és 3., illetve a 2. és 4. példa. Az 1. és 3. példa alapján kapott  $q(h)$  értékek hányadosát a  $q_L$  függvényében,  $q_F$  mint paraméter mellett a 15. ábra tünteti fel. Látható, hogy az  $R_B$  a hőátadásban csak akkor jelentős, ha  $q_F$  a  $q_B$  értéket nagyon megközelíti. Ilyenkor a jobban reflektáló boltozatat előnyös.

Az  $R_F$  gyakorlati változtatására nem igen van mód, az üzem során azonban ez a tényező valószínűleg jelentősen változik, mert amíg az anyag nem ömlött meg, a felület az üregek miatt jóval feketébb, mint amennyire fekete az aránylag sima Martin-salakdarab, amikor pedig meg-

ömlik, reflexióis tényezője ismét megváltozik. Hogy ennek a hőátadásra gyakorolt hatását becsülhessük, számításokat végeztünk  $\epsilon$  tényező 0,4 és 0,0 értékeivel is, átlagos 0,2 mellett. Az összetartozó ilyen példák az 1, 5, 7 és 2, 6, 8 példák. A 16. ábra az 1, 5, 7 példák szerint kapott  $q(h)$  értékek viszonyát tünteti fel  $q_L$  függvényében,  $q_F$  paraméter mellett, ahol a 0,8-hoz konvergáló görbék 0,2-nek vett  $R_F$  mellett kapott  $q(h)$  és a teljesen fekete fűrdőre irányuló hőátadás hányadosát, míg a 0,6-hoz konvergáló görbék a 0,4-nek vett  $R_F$  mellett kapott hányadosot szemléltetik.

A  $q_k$  bizonyos esetekben (amikor a konvekciós hőátadás a falon átáramló melegmennyiséggel éppen egyensúlyban van) el is tűnhet (2), viszont módunkban van azt növelni is. A példákban a  $q_k$ -ra vonatkozóan 0,0, 0,2 és 0,5 értékkel számoltunk. Az összetartozó példák 1. 9 és 11. illetve a 2, 10 és 12. Az átadódó melegmennyiségek hányadosait a  $q_k=0$  esetre vonatkoztatva, az 1, 9 és 11. példák alapján a 17. ábra tünteti fel  $q_L$  függvényében,  $q_F$  paraméter mellett.

A boltozathőmérséklet hatását az 1, és 4, illetve a 2 és 3. példa illusztrálja. A 18. ábra a 2. és 3. példa alapján ennek kiegészítéseképpen a  $q_B=7,5$ , vagyis kb. 1700 C° és  $q_B=6,5$ , azaz kb. 1630 C° boltozathőmérséklet mellett elérhető  $q(h)$ -k hányadosát tünteti fel  $q_L$  függvényében.

A boltozathőmérséklet növelésével egyáltalában elérhető hőátadásnövekedést a 19. ábra mutatja, ahol a  $q_L=12$  mellett a valamely  $q_B$  mellett elérhető  $q(h)$  és a  $q_B=6,5$  mellett elérhető  $q(h)$  hányadosa a 7. példa szerinti viszonyok között van,  $q_B$  függvényében, feltüntetve  $q_F$  mint paraméter mellett. Az elérhető emelkedés-maximumot az adja meg, hogy a  $q_B=q_L$  környezetében a (15) képlet irányadó. A görbe maximumait ezen alapon számítottuk ki.

### 1. példa

	$q_B=6,5$	$q_k=0,2$	$R_B=0,33$	$R_F=0,2$		
$q_F=6$	$q_L$	6,8	8	10	12	14
	$\epsilon$	1	0,328	0,153	0,085	0,072
	$q(h)$	0,64	0,85	0,9	0,9	0,9
	%	100	135	140	140	140
$q_F=5$	$\epsilon$	1	0,525	0,287	0,193	0,145
	$q(h)$	1,44	1,87	2,05	2,1	2,13
	%	100	130	143	146	148
$q_F=4$	$\epsilon$	1	0,635	0,386	0,275	0,212
	$q(h)$	2,24	2,78	3,11	3,27	3,30
	%	100	124	139	146	148
$q_F=3$	$\epsilon$	1	0,706	0,465	0,348	0,275
	$q(h)$	3,04	3,66	4,18	4,38	4,45
	%	100	121	137	144	146
$q_F=1,3$	$\epsilon$	1	0,779	0,56	0,435	0,35
	$q(h)$	4,4	5,11	5,76	6,18	6,3
	%	100	116	131	140	143

### 2. példa

	$q_B=7,5$	$q_k=0,2$	$R_B=0,55$	$R_F=0,2$		
$q_F=6$	$q_L$	7,945	8	10	12	14
	$\epsilon$	1	0,972	0,408	0,253	0,187
	$q(h)$	1,55	1,6	2,14	2,26	2,36
	%	100	103	137	146	152
$q_F=5$	$\epsilon$	1	0,977	0,528	0,343	0,253
	$q(h)$	2,35	2,4	3,212	3,35	3,45
	%	100	102	134	143	147
$q_F=4$	$\epsilon$	1	0,982	0,596	0,412	0,314
	$q(h)$	3,15	3,2	4,02	4,4	4,55
	%	100	102	133	140	144
$q_F=3$	$\epsilon$	1	0,985	0,643	0,468	0,369
	$q(h)$	3,95	4,0	5,0	5,4	5,65
	%	100	102	127	137	143
$q_F=1,3$	$\epsilon$	1	0,989	0,71	0,548	0,44
	$q(h)$	5,31	5,36	6,45	7,03	7,32
	%	100	101	125	133	138

3. példa. Mint az 1. példa, de  $R_B=0,55$

$q_F=6$	$q_i$	6,95	8	10	12	14
	$\varepsilon$	1	0,397	0,18	0,115	0,09
	$q(h)$	0,76	0,99	1,05	1,07	1,09
	%	100	131	138	141	144
$q_F=5$	$\varepsilon$	1	0,58	0,313	0,213	0,166
	$q(h)$	1,55	1,98	2,20	2,30	2,36
	%	100	128	142	148	152
	$\varepsilon$	1	0,679	0,412	0,295	0,225
$q_F=4$	$q(h)$	2,35	2,87	3,29	3,44	3,51
	%	100	122	140	146	149
	$\varepsilon$	1	0,74	0,485	0,355	0,28
	$q(h)$	3,15	3,73	4,26	4,48	4,63
$q_F=3$	%	100	118	135	142	147
	$\varepsilon$	1	0,805	0,576	0,448	0,363
	$q(h)$	4,5	5,14	5,83	6,24	6,45
	%	100	114	130	138	143

4. példa. Mint a 2. példa, de  $R_B=0,33$

$q_F=6$	$q_L$	7,8	8	10	12	14
	$\varepsilon$	1	0,883	0,363	0,232	0,166
	$q(h)$	1,44	1,65	1,93	2,90	2,14
	%	100	114	134	146	148
$q_F=5$	$\varepsilon$	1	0,909	0,482	0,32	0,242
	$q(h)$	2,24	2,38	3,09	3,15	3,34
	%	100	106	137	141	149
	$\varepsilon$	1	0,938	0,566	0,386	0,305
$q_F=4$	$q(h)$	3,05	3,18	3,96	4,2	4,44
	%	100	104	130	138	145
	$\varepsilon$	1	0,95	0,618	0,453	0,355
	$q(h)$	3,85	4,02	4,86	5,27	5,5
$q_F=3$	%	100	105	127	137	143
	$\varepsilon$	1	0,961	0,688	0,533	0,432
	$q(h)$	5,2	5,35	6,335	6,91	7,23
	%	100	103	122	133	139

5. példa. Mint az 1. példa, de  $R_F=0,4$

$q_F=6$	$q_l$	6,8	8	10	12	14
	$\varepsilon$	1	0,259	0,115	0,075	0,056
	$q(h)$	0,48	0,58	0,60	0,60	0,61
	%	100	121	125	125	126
$q_F=5$	$\varepsilon$	1	0,425	0,212	0,14	0,106
	$q(h)$	1,08	1,33	1,42	1,42	1,44
	%	100	123	129	131	133
	$\varepsilon$	1	0,55	0,295	0,206	0,152
$q_F=4$	$q(h)$	1,68	2,02	2,15	2,21	2,23
	%	100	120	128	132	135
	$\varepsilon$	1	0,625	0,367	0,259	0,2
	$q(h)$	2,28	2,69	2,91	3,01	3,03
$q_F=3$	%	100	118	128	132	133
	$\varepsilon$	1	0,711	0,462	0,336	0,265
	$q(h)$	3,3	3,78	4,13	4,26	4,35
	%	100	114	125	129	132

6. példa. Mint a 2. példa, de  $R_F=0,4$ 

$q_F=6$	$q_L$	7,94	10	12	14
	$\varepsilon$	1	0,32	0,187	0,135
	$q(h)$	1,08	1,56	1,56	1,56
	%	100	144	144	144
$q_F=5$	$\varepsilon$	1	0,416	0,26	0,187
	$q(h)$	1,76	2,21	2,29	2,34
	%	100	126	130	133
$q_F=4$	$\varepsilon$	1	0,492	0,32	0,236
	$q(h)$	2,36	2,91	3,07	3,13
	%	100	123	130	133
$q_F=3$	$\varepsilon$	1	0,544	0,376	0,28
	$q(h)$	2,95	3,6	3,8	3,9
	%	100	122	129	132
$q_F=1,3$	$\varepsilon$	1	0,621	0,448	0,346
	$q(h)$	3,98	4,75	5,0	5,17
	%	100	119	125	130

7. példa. Mint az 1. példa, de  $R_F=0,0$ 

$q_F=6$	$q_L$	6,8	8	10	12	14
	$\varepsilon$	1	0,4	0,20	0,13	0,1
	$q(h)$	0,8	1,16	1,29	1,33	1,35
	%	100	145	161	166	168
$q_F=5$	$\varepsilon$	1	0,6	0,36	0,257	0,2
	$q(h)$	1,8	2,46	2,83	1,98	3,1
	%	100	137	157	165	172
$q_F=4$	$\varepsilon$	1	0,7	0,467	0,35	0,28
	$q(h)$	2,8	3,58	4,18	4,49	4,67
	%	100	128	150	160	167
$q_F=3$	$\varepsilon$	1	0,76	0,542	0,422	0,345
	$q(h)$	3,8	4,66	5,45	5,88	6,16
	%	100	123	144	155	162
$q_F=1,3$	$\varepsilon$	1	0,82	0,632	0,515	0,432
	$q(h)$	5,5	6,45	7,45	8,08	8,52
	%	100	117	136	147	155

8. példa. Mint a 2. példa, de  $R_F=0,0$ 

$q_F=6$	$q_L$	7,94	10	12	14
	$\varepsilon$	1	0,485	0,324	0,243
	$q(h)$	1,9	2,84	3,13	3,25
	%	100	146	162	168
$q_F=5$	$\varepsilon$	1	0,59	0,42	0,327
	$q(h)$	2,94	4,07	4,53	4,79
	%	100	137	154	163
$q_F=4$	$\varepsilon$	1	0,656	0,493	0,395
	$q(h)$	3,94	5,23	5,84	6,21
	%	100	133	148	158
$q_F=3$	$\varepsilon$	1	0,706	0,549	0,449
	$q(h)$	4,94	6,4	7,08	7,55
	%	100	130	144	153
$q_F=1,3$	$\varepsilon$	1	0,753	0,62	0,522
	$q(h)$	6,64	8,17	9,08	9,71
	%	100	123	137	147



9. példa. Mint az 1. példa, de  $q_k=0,5$

$q_F=6$	$q_L$	7,25	8	10	12	14
	$\varepsilon$	1	0,558	0,253	0,16	0,123
	$q(h)$	1-	1,16	1,15	1,26	1,28
	%	100	116	125	126	128
$q_F=5$	$\varepsilon$	1	0,696	0,375	0,26	0,194
	$q(h)$	1,8	2,11	2,31	2,5	2,52
	%	100	112	128	139	141
	$q_F=4$	$\varepsilon$	1	0,768	0,465	0,335
$q_F=3$	$q(h)$	2,6	2,96	3,41	3,58	3,68
	%	100	114	131	138	141
	$\varepsilon$	1	0,813	0,538	0,395	0,315
	$q(h)$	3,4	3,82	4,5	4,66	4,81
$q_F=1,3$	%	100	112	132	137	141
	$\varepsilon$	1	0,86	0,617	0,48	0,383
	$q(h)$	4,75	5,22	5,98	6,28	6,48
	%	100	112	126	134	137

10. példa. Mint a 2. példa, de  $q_k=0,5$

$q_F=6$	$q_L$	8,61	10	12	14
	$\varepsilon$	1	0,591	0,363	0,264
	$q(h)$	2,09	2,575	2,82	2,93
	%	100	123	135	141
$q_F=5$	$\varepsilon$	1	0,677	0,441	0,328
	$q(h)$	2,89	3,5	3,87	4,15
	%	100	121	134	143
	$q_F=4$	$\varepsilon$	1	0,721	0,504
$q_F=3$	$q(h)$	3,7	4,39	4,88	5,11
	%	100	118	132	138
	$\varepsilon$	1	0,759	0,554	0,434
	$q(h)$	4,48	5,23	5,82	6,15
$q_F=1,3$	%	100	117	130	137
	$\varepsilon$	1	0,805	0,62	0,5
	$q(h)$	5,85	6,69	7,38	7,8
	%	100	114	126	133

11. példa. Mint az 1. példa, de  $q_k=0$

$q_F=6$	$q_L$	6,5	8	10	12	14
	$\varepsilon$	1	0,187	0,087	0,055	0,038
	$q(h)$	0,4	0,62	0,64	0,66	0,66
	%	100	155	160	165	165
$q_F=5$	$\varepsilon$	1	0,418	0,23	0,158	1,22
	$q(h)$	1,2	1,71	1,84	1,875	1,93
	%	100	142	153	156	161
	$q_F=4$	$\varepsilon$	1	0,548	0,338	0,242
$q_F=3$	$q(h)$	2	2,66	2,95	3,11	3,13
	%	100	133	147	155	156
	$\varepsilon$	1	0,635	0,426	0,31	0,248
	$q(h)$	2,8	3,55	4,00	4,18	4,3
$q_F=1,3$	%	100	127	143	150	153
	$\varepsilon$	1	0,724	0,519	0,408	0,333
	$q(h)$	4,15	5,03	5,62	5,98	6,23
	%	100	122	136	144	150

12. példa. Mint a 2. példa, de  $q_k=0$

$q_F=6$	$q_L$	7,5	8	10	12	14
	$\varepsilon$	1	0,693	0,295	0,186	0,13
	$q(h)$	1,2	1,48	1,78	1,87	1,91
	%	100	123	148	156	159
$q_F=5$	$\varepsilon$	1	0,795	0,418	0,28	0,212
	$q(h)$	2	2,34	2,84	3,01	3,08
	%	100	117	142	150	154
$q_F=4$	$\varepsilon$	1	0,845	0,505	0,355	0,275
	$q(h)$	2,8	3,14	3,81	4,10	4,22
	%	100	112	136	146	151
$q_F=3$	$\varepsilon$	1	0,876	0,572	0,418	0,328
	$q(h)$	3,6	3,95	4,74	5,11	5,32
	%	100	110	132	142	148
$q_F=1,3$	$\varepsilon$	1	0,907	0,65	0,503	0,405
	$q(h)$	4,96	5,32	6,27	6,81	7,06
	%	100	107	126	137	142

#### IV. Értékelés

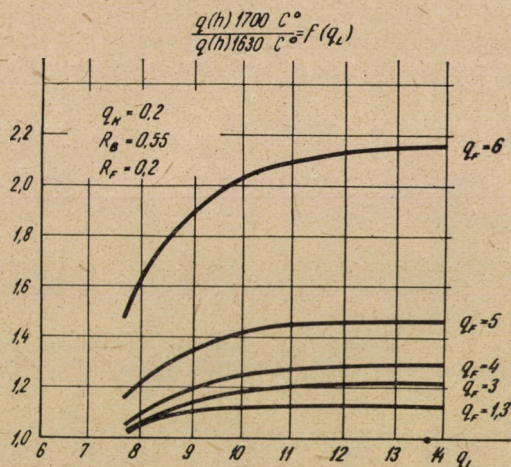
A számpéldákra vonatkozó táblázatokból és a hozzájuk tartozó görbékből mindenekelőtt azt látjuk, hogy a fürdőre irányuló hőátadás azonos fürdőhőmérsékleten a  $q_L$  értékével mindenkor együtt növekszik. A növekedés azon a területen a leghirtelenebb, ahol a  $q_L$  még nem érte el azt az értéket, amely mellett a boltozat a kívánt hőmérsékletre felhevül. Ez a lánghőmérséklet nagyjából a boltozat kívánt hőmérsékletével egyenlő, a  $q_k$  pozitív értékei mellett ennél valamivel nagyobb. E határhőmérséklettől kezdve a növekedés már lassúbb, de azért a lehetséges lánghőmérséklet-tartományban az alsó határértékhez viszonyítottan igen tekintélyes és kb. 30—50%-ra rúg. A számpéldákba beírt százalékos emelkedés figyelembevételével azt látjuk, hogy a gyakorlatilag elérhető növekedést a magas fürdőhőmérsékletek mellett már alacsonyabb lánghőmérsékletnél is elérjük. Mivel az alacsonyabb fürdőhőmérsékletek mellett az optimális hőátadás eléréséhez magasabb lánghőmérsékletre van szükség, ezért — amíg a kemence aránylag hideg — igen fontos az igen nagymértékű tüzelőanyag-betáplálás és az is, hogy a kemence és a beépített égő alkalmas legyen a szóbanforgó igen nagy hőátadáshoz szükséges tüzelőanyag-tömegek elégetésére.

Paradoxnak látszó az  $\varepsilon$  befolyása a sugárzásos hőátadásra. Amint azt már a (19) képlet jelezte, a sugárzásos hőátadás annál eredményesebb, minél kisebb  $\varepsilon$ . Ennek a jelenségnek természetesen az az oka, hogy kisebb  $\varepsilon$  mellett nagyobb  $q_L$  alkalmazható. A 14. ábra szerint  $\varepsilon$  csökkentésének üzemgyorsító befolyása gyakorlatilag független az egyéb tényezőktől, ha a  $q_k = 0$ , úgy a (19) képlet már nem közelítés, hanem a hatást a levezetés pontosságának határain belül már pontosan adja meg.

Állandó  $\varepsilon$  mellett a hőátadás viszonylagos növekedése gyakorlatilag állandó, úgyhogy a 2—13. ábrákon az állandó  $\varepsilon$ -ok trajektóriái egyszersmind az azonos üzemsebességet is jelzik.

A fenti számítások és számpéldák a nem-karburáló és karburáló álláspontok régi vitáját a nem-karburáló álláspont javára látszanak eldönteni. Ámde a gyakorlatban a kemencében ténylegesen közölhető melegmennyiséget a (21) és (22) képlet szerint a kemencében elégethető gázmennyiség szabja meg. Az azonos maximális gázmennyiség mellett átadható energia kissé függ a láng-hőmérséklettől, mégpedig a (22) képlet szerint a láng-hőmérséklet növekedésével csökken, mert a láng-hőmérséklet emelkedésével (nagyjából állandó hőátadás mellett) a regenerátorból kilépő füstgáz hőmérséklete is emelkedik.

Ennek a tényezőnek jelentőségét a 3. ábra diagrammja kapcsán világítjuk meg. Tegyük fel, hogy a kemence égője annyi gázt tud elégetni, hogy alacsony



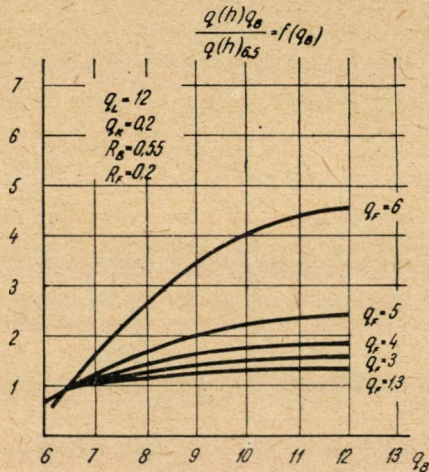
18. ábra

fürdőhőmérsékleten a fürdő felületének minden egyes négyzetméterére nagyjából 400 000 kcal/óra meleg adódhatik át. Mivel ez a hőátadás a láng-hőmérséklet növekedésével kissé csökken, a hőátadás felső határát az 1. ábrán az eredményvonal kissé lejtő szakasza jelzi. Látjuk, hogy a  $q_F = 1,3$  görbét ez a vonal a nekiindulási szakaszon metszi. Ha a kemencéből a legjobb hatásfokot akarjuk kihozni, akkor igen erős karburálásra van szükség, amely a lángot csaknem teljesen sugárzóvá teszi, emellett a láng-hőmérséklet aránylag alacsony. Amikor a fürdő hőmérséklete emelkedik, a görbék szerint már mindinkább kisebb mértékű karburálásra (kisebb  $\varepsilon$ -ra), mindinkább magas láng-hőmérsékletre van szükség. A láng-hőmérséklet gyakorlatilag elérhető határánál már nem haladhatunk tovább a kissé lejtős vonalon, hanem a karburálás mellett most már a gázmennyiséget is csökkentve, a boltozat hőmérsékletének állandó értékén kell eljutnunk a karburálás nélküli állapothoz. A diagrammban tehát nagyjából függőleges vonal mentén haladunk. Ezután a karburálás nélküli állapotban csökkentjük tovább a gázmennyiséget és egy állandó  $\varepsilon$ -vonal, pl.  $\varepsilon = 0,2$  mentén



jutunk el a legmagasabb fürdőhőmérsékletig. Ettől kezdve célszerű állandó  $q_F$  mellett csökkenteni a hőátadást a fürdőhőmérséklet fenntartásához éppen szükséges értékre. Ez a művelet újból erősebb karburálással járhat.

Fenti számítások tehát olyan üzemet indokolnak, melynél a karburálás nem állandó, hanem az üzem során változik. A karburálás azonban nem nehezen mérhető adattól függ, hanem azt az üzemidő első szakaszában, vagyis amíg a maximális lánghőmérsékletet el nem érjük, állandó, majd ezután fokozatosan csökkentett gázmennyiséggel, a karburáló anyag mennyiségét úgy szabályozzuk, hogy a boltozat hőmérséklete állandóan az előírt értéken legyen. Az üzem végén esetleg indokoltnak mutatkozó karburálás-növelés is automatikusan kiadódik,



19. ábra

ha most már a boltozat és a fürdő hőmérséklete van egyidejűleg állandó értéken a gázmennyiség és a karburálás egyidejű szabályozásával.

Ha ezzel szemben a szokásos módon dolgozunk, vagyis úgy, hogy állandó karburálással  $\varepsilon$  értékét nagyjából állandó, pl. 0,5 értéken tartjuk, úgy az üzem a kissé lejtős eredményvonal és az  $\varepsilon = 0,5$ , trajektória metszéspontján indul el. Amíg tehát a fürdő hőmérséklete nem emelkedik ennek a pontnak megfelelő értékre (az ábrán kb.  $q_F = 3$ , 1300 °C), addig a megfelelő optimális görbék alatt dolgozunk, indokolatlanul magas lánghőmérséklet mellett. Innen kezdve azután, ha a boltozat túlhevülését el akarjuk kerülni, úgy a gázmennyiséget és a  $q(h)$  értékét csökkenteni kell, holott pl. éppen az a szakasz az, amikor a legtöbb melegre van szükség (olvadás). Az előzőekben ismertetett eljárásnál ezzel szemben a karburálás csökkentésével elérhetjük, hogy az egész olvasztási idő alatt maximális gázmennyiséggel dolgozhatunk és azután is egészen addig, amíg a lánghőmérsékletet növelni tudjuk. Így ebben a szakaszban időt nyerünk a lánghőmérséklet növelésével járó esetleges hatásfokromlás mellett. A hőátadás kevésbé

emelkedik, mint a sugárzó láng melegtartalma. Ugyanez a helyzet az üzem további folyamán is.

A változó karburálásos üzem tehát a fentiek szerint alkalmasnak látszik az üzemidő megrövidítésére. Hogy hógazdasági szempontból milyen elbírálás alá esik, inkább kísérlettel lehet csak eldönteni, mert amint láttuk, az üzem elején változó karburálással alacsonyabb lánghőmérsékleten dolgozhatunk, s így a hatásfok jobb, míg az üzem későbbi szakaszában a hatásfok esetleg rosszabb, mint az állandó karburálásos üzemnél. Ez a két hatás kiegyenlítheti egymást vagy pedig valamilyen irányú eltolódást okozhat.

A karburálás üzem közben történő változtatása nyilván jár bizonyos nehézségekkel, de mivel a kemencék teljesítményének fokozása fontos, célszerű lenne ezt az üzemet kísérletileg kipróbálni.

Igen jelentős a boltozati hőmérséklet. E tényező hatását a 2. és 3. példa alapján a 18. ábra szemlélteti. E két példában  $q_B$  kivételével valamennyi előre választott tényező azonos, így tehát a példák eredményének különbsége a  $q_B$  eltéréseiből ered.

A 18. ábrán látható görbék szerint nagyobb és kisebb  $q_B$  értékek esetén azonos lánghőmérsékleteteken elérhető hőátadások aránya annál nagyobb, minél magasabb a fürdő hőmérséklete, de még a fürdő alacsony hőmérsékletén is elég tekintélyes. Növekszik ez az arány a lánghőmérséklettel is.

Tekintve a (20) képletet, azonos  $\varepsilon$  értékek mellett a hőátadások aránya közelítőleg egyenlő a  $q_1(0) - q_F$  különbségek hányadosával.

Ez a hányados növekszik, ha a  $q_F$  növekszik. Így pl. a 2. és 3. példa szerint ha  $q_F = 6$ , úgy a hányados 2,05,  $q_F = 5$  mellett 1,52,  $q_F = 4$  mellett 1,33,  $q_F = 3$  mellett 1,25, végül  $q_F = 1,3$  mellett 1,18.

A boltozat hőmérsékletének kb. 70 C°-os emelésével tehát állandó lánghőmérséklet és állandó  $\varepsilon$  mellett igen számottevő hőátadásemelkedést lehet elérni. Így tehát különösen a fürdő legmagasabb hőmérsékleteinél kifizetődhetik az, ha a boltozatot ilyenkor rövid időre túlhevítjük, mert az ennek folytán elérhető üzemidőrovidülés esetleg kompenzálhatja azt, hogy a kemence fala ez alatt a rövidebb idő alatt erősebben pusztul.

A megengedhető boltozathőmérsékletnek a hőátadásra gyakorolt igen jelentékeny hatása indokoltá teheti drágább, de magasabb hőmérsékletet is elviselő falazóanyag alkalmazását. A hőátadásnak növekvő boltozathőmérsékleten a kb. 1630 C°-s ( $q_B = 6,5$ ) boltozathőmérséklet mellett elérhetőhöz viszonyított emelkedését állandó, kb. 1950 C° ( $q_L = 12$ ) lánghőmérsékleten a 19. ábra tünteti fel. Látható, hogy a hőátadás százalékos növekedése még jó darabon igen jelentékeny, a növekedés csak a lánghőmérsékletnek megfelelő boltozathőmérséklet környezetében válik lassabbá, illetőleg szűnik meg. Állandó  $\varepsilon$  mellett a növekedést végig a  $q_1(0) - q_F$  különbségek aránya szabja meg. Ennek a növekedésnek természetesen határt szab az, hogy a lánghőmérsékletet nem tudjuk már tovább fokozni, hogy a szöbanforgó  $\varepsilon$  érték mellett a kívánt boltozat-



hőmérsékletet egyáltalában elérhessük. Így tehát a kerámiai anyag minőségének javítása csak a lehetséges lánghőmérsékletnek megfelelő határokon belül jelentős a kemence üzemének gyorsítása szempontjából.

Az egyéb, a sugárzásos hőátadásban résztvevő tényezők jelentősége is érdekes.

Az igen magas fürdőhőmérsékletek kivételével aránylag alárendelt a boltozat reflexiótényezőjének ( $R_B$ ) a hőátadásra gyakorolt hatása. Ennek befolyását az 1. és 3. példa alapján a 15. ábra illusztrálja. Az  $R_B$  változásának csekély befolyása azzal függ össze, hogy — amint a fenti (7) egyenletből kitűnik — az  $R_B$  befolyása a sugárzásos hőátadásra csak a  $q_1(0)$  és  $q_2(0)$  értékeknek a  $q_k$  tényezővel szorzott tagján keresztül érvényesül. Minthogy pedig  $q_k$  a  $q_B$ -hez viszonyítva mindig igen csekély, az  $R_B$  számottevő befolyáshoz csak akkor juthatna, ha az egységet nagyon megközelítené, tekintettel arra, hogy az  $1 - R_B$  a szóbanforgó képletekben a nevezőben szerepel, illetőleg ha a  $q_1(0) - q_F$  értéke már kicsiny (20. képlet).

A fürdő, illetve betét reflexiótényezője evvel szemben teljes mértékben érvényesül. Állandó  $\varepsilon$  értékek mellett a (20) képlet szerint az egyébként azonos viszonyok között, de eltérő  $R_F$  értékek mellett elérhető hőátadások viszonya közelítőleg az  $1 - R_F$  értékek viszonyával egyenlő. A számpéldák közül az  $R_F$  0,2, 0,4 és 0,0 értéke mellett kiszámított 1., 3., és 7., illetve 2., 6. és 8. példákat felölöző példacsoportok illusztrálják az  $R_F$  befolyását a hőátadásra. A 16. ábra a különböző  $R_F$ , de azonos  $q_L$  és  $q_F$  értékek mellett kapott  $q(h)$  értékek és az  $R_F = 0,0$  esetben kapott  $q(h)$  értékek hányadosát tünteti fel a  $q_L$  függvényében az 1., 5. és 7. példa alapján.

Az  $R_F$  értékét, mint arról már a bevezetésben szó volt, számottevően befolyásolni nem tudjuk, de az az üzemidő alatt lényegesen változhatik és különösen az alacsony betéthőmérsékletek mellett számíthatunk kisebb  $R_F$  értékekre. Így tehát ilyenkor a hőátadás még nagyobb lehet annál, mint amelyet kb.  $R_F = 0,2$  alapján kiszámítottunk. Ez a körülmény is fokozottan szükségessé teheti az üzem kezdetén az erősebb karburálást.

Ugyancsak befolyásolja a hőátadást  $q_k$  értéke. Állandó  $\varepsilon$  mellett  $q_k$  befolyása a hőátadásra elsősorban a  $q_1(0) - q_F$  különbségek arányában érvényesül. Ha ez a különbség kicsiny, vagyis  $q_F$  nagy, a  $q_k$  növelése számottevő százalékos növekedést okozhat a hőátadásban. A  $q_k$  hatását a számpéldákban az 1., 9. és 11., illetve 2., 10. és 12. példák alkotta példacsoportok és az 1., 9. és 11. példák alapján készült 17. ábra szemlélteti. Ez a diagramm a különböző  $q_k$  értékek mellett kapott  $q(h)$  érték és a hasonló körülmények között, de  $q_k = 0$  mellett kapott  $q(h)$  érték hányadosát tünteti fel, a  $q_L$  függvényében. Látható, hogy magas fürdőhőmérsékletek mellett a boltozat erélyes hűtése gyorsíthatja az üzemet. A boltozat hűtése a (20) és (7) képletek szerint a hőátadás szempontjából egyenértékű avval, hogy magasabb boltozathőmérsékletet elviselő kerámiai anyagot alkalmazunk.

Fenti számítások alapján a kemencék teljesítményének fokozása érdekében a következő javaslatok tehetők :

a) Új kemencék építésénél olyan égőket és kemenceszerkezetet kell keresni, amelyekben az üzem elején, amikor a betét, illetve fürdő viszonylag még hideg, igen nagy mennyiségű tüzelőanyagot lehet elégetni. Másrészt olyan falazatot vagy legalábbis a boltozaton olyan falazatburkolatot célszerű alkalmazni, amely lehetőleg magas boltozathőmérsékletet tesz megengedhetővé.

b) A kemence üzemeltetésénél az üzemet úgy célszerű irányítani, hogy lehetőleg alacsony karburálással a maximális még megengedhető boltozathőmérsékletet érjük el. Ennek érdekében szükségesnek mutatkozhatik, hogy az üzem kezdetén, amikor a betét, illetve fürdő hőmérséklete alacsony, maximális gázbevezetéssel aránylag erős karburálást végezzünk, hogy a kívánt boltozathőmérsékletet elérjük. Ezután a fürdő hőmérsékletének emelkedése közben a karburálást fokozatosan csökkentjük, majd a gázbevezetést is mérsékeljük. Célszerű lehet a magas fürdőhőmérsékleteken a boltozathőmérsékleteket rövid időre az egyébként alkalmazott boltozathőmérsékletek fölé emelni.

Zárószóként még egyszer hangsúlyozzuk, hogy a fenti levezetések erős elhanyagolásokkal történtek meg, úgyhogy az eredményekből levont következtetések csak nagyon óvatosan végrehajtott kísérletekkel történt ellenőrzés után fogadhatók el.

#### IRODALOM

1. *Leckie, Hall és Cartlidge* : Journal of the Iron and Steel Institute, 1947. 392—422. old.
2. *Ribaud* : La transmission de la chaleur par rayonnement dans les fours industriels à flammes. Brüsszel. 1948. 10. old.
3. *Thring* : The Iron and Steel Institute Spec. Report 37, Iron and Coal Trades Review 1949. 1062. old.
4. *Mihjejev* : Osznovi tyeploperedaci 1949. 181—189. old.  
*Schack* : Der Industrielle Wärmeübergang, 1949. 165—167. old.  
*McAdams* : Heat Transmission, 1942. 64—73. old.  
*Ribaud* : id. mű, 1—7. old. és az ott megadott irodalom.
5. *Mihjejev* : id. mű 189—196. old.  
*Schack* : id. mű 198—205. old.  
*McAdams* : id. mű 73—84. old.  
*Ribaud* : id. mű 7—17. old.
6. *Comerford* : Chaleur et Industrie, 1951. 31—38.
7. *Nahorczy* : Bányászati és Kohászati Lapok 1951. 366 és köv. old.
8. *Schack* : Zeitschrift für technische Physik 1925. 530 és köv. old.
9. *Hottel és Broughton* : Industrial and Engineering Chemistry 1932. 166. és köv. old.
10. *Comerford* : id. helyen.
11. *Rummel* : több cikke az Archiv für das Eisenhüttenwesen X. és XI. évf.-ban.
12. *Thring* : Fuel, 1950. 173. és köv. old.
13. *Stein—Callenfels és Mayorcas* : Chaleur et Industrie, 1951. 59—70.
14. *Naeser és Pepperhoff* : Stahl und Eisen 1949. 325. és köv. old.
15. *Speith és Engels* : Stahl und Eisen, 1950. 861. és köv. old.
16. *Comerford* : id. helyen 33. old.

### Összefoglalás

Messzemenően egyszerűsített feltételek alapján levezetett, de valószínűleg legalábbis kvalitatíve helytálló képletek segítségével számított számpéldák és diagrammok összefüggésekre mutatnak rá, egyrészt a fürdőre, illetve betétre irányuló hőátadás, másrészt a lánghőmérséklet, a láng emissziótényezője, a boltozat és a fürdő hőmérséklete, illetőleg reflexiótényezője, továbbá a boltozat felületegységén átmenő falveszteség között.

Megállapítható, hogy a maximális hőátadás végett kívánatos minél magasabb boltozati hőmérséklettel dolgozni, minél magasabb lánghőmérséklet és minél kisebb láng-emissziótényező mellett. A boltozat reflexiótényezőjének jelentősége aránylag csekély, a fürdő reflexiótényezője ezzel szemben teljes mértékben érvényesül. A hőátadást kedvezően befolyásolhatja a boltozat falvesztesége, vagyis a boltozat hűtése. A legfontosabb tényező a boltozat hőmérséklete, ennek mérése és betartása döntő fontosságú. A lánghőmérséklet a bevezetett és elégett tüzelőanyagmennyiségből adódik ki, az egyéb tényezők figyelembevételével beálló hőátadásnak megfelelően.

# A MAGYAR KŐSZÉNBÁNYÁSZAT TÖRTÉNETE AZ 1759—1918. ÉVEKBEN

BÁN IMRE (1890—1944.)

[Beérkezett 1952. augusztus 11-én]

IN MEMORIAM EMERICI DR. BÁN

Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület 1942-ben, egy a hazai bányászat és kohászat minden területét felölelő, gyűjteményes munka kiadásával kívánta megünnepelni fennállásának félévszázados évfordulóját. A gazdag és változatos tartalmúnak ígérkező mű, melyet a bánya- és kohótechnika akkori legjelesebb művelői írtak és szerkesztettek, nem készült el, bár a soproni Röttig-Romwalter. — ma Győr-Sopronmegyei Nyomda Vállalat — nyomdájában csaknem teljesen ki volt szedve és az anyagi fedezet is meg volt a kiadásra. 1944-ben, a Sopront ért sorozatos bombatámadások során, a nyomda is súlyos sérüléseket szenvedett s a betűbeöntött mű nagy része, — sajnos a kéziratokkal együtt — megsemmisült.

Felszabadulásunk után, amikor a nyomda lelkes, új vezetői eltakarították a romokat, sikerült a borzalmas pusztításból kimenteni néhány megmaradt tanulmány szedését. Az átmenett technikai munkák időközben elvesztették aktualitásukat, teljes frissességében maradt azonban ránk *Dr. Bán Imre: A magyar kőszénbányászat története az 1759—1830. években*, című műve, melynek közzétételével nemcsak egy értékes technikatörténeti munkát kívánok megmenteni az enyészettől, de emlékezni és emlékeztetni kívánok a szerzőre is, kit munkája teljében ölt meg 1944-ben a beestelen nyilas banditizmus s kinek munkásságáról a tudományos világ és munkatársai, különös módon mindmáig teljesen megfélekedtek.

*Bán Imre* egyik nagy ígérete volt a hazai bányásztörténeti kutatómunkának, ki külföldi és hazai levéltári kutatásai alapján, meghecsülhetetlen értékű s teljesen új adatokkal gazdagította szénbányászatunk s azzal kapcsolatban iparunk fejlődéstörténetét. Életéről és munkásságáról a következőket jegyezhetjük föl:

*Dr. Bán Imre*, a Salgótarjáni Kőszénbánya Részvény-Társulat h. igazgatója, az Orsz. Magy. Bány. és Koh. Egyesület 1932-től 1941-ig volt ügyésze, Nagyváradon született 1890-ben. Középiskolai és jogi tanulmányait szülővárosában végezte. Jogi tanulmányai után köteles katonáévét szolgált, majd megszerezte a jogi doktorátust és ügyvédnek jegyeztette be magát, hogy az előírt gyakorlati évek birtokában ügyvédi vizsgát teheszen.

Az első világháborúban, mint tart. főhadnagy 28 hónapon át teljesített katonai szolgálatot, miközben egyszer megsebesült. Leszerelése után Budapestre jött, hogy folytassa félbenhagyott polgári foglalkozását.

1920-ban ügyvédi oklevelet szerzett, s a Nagybátony-Újlaki Egyesült Iparművek jogi osztályán vállalt munkát. Jogi felkészültségével csakhamar magára vonta más vállalatok figyelmét is, így hívta meg 1923-ban a Salgótarjáni Kőszénbánya R. T. jogi osztályának vezetésére. Itt hamarosan a vállalat h. igazgatója lett, s 1932-ben megbízták a társadalombiztosítási osztály vezetésével. E munkája mellett nem hanyagolta el kedvenc jogi témáját, a bányajogot sem s *Alliquander Ödön*nel és *Tassonyi Ernő*vel munkaközösségben 1931-ben résztvett a régóta hiányzó »Magyar Bányajog« című, 974 oldalas nagy mű megírásában, melyben a »Társadalombiztosítás« című fejezetet teljesen önállóan írta, de részes volt a könyv többi fejezeteinek megírásában is, valamint az elvi jelentőségű, felsőbírószáki döntvények összegyűjtésében és kiválogatásában.

1933-ban az Országos Levéltárban és a Sopron városi és vármegyei levéltárakban végzett kutatásai alapján megírta »*Adatok a magyar kőszénbányászat történetéhez a XVIII. században*« című tanulmányát, amelyet az Orsz. Magy. Bány. és Koh. Egyesület 1933. okt. 22-én tartott évi, rendes közgyűlésén mutatott be s 1934-ben közzétett a Bány. és Koh. Lapokban (LXVII. évf. 4—7. számok). Tanulmányában elsőnek tisztázta, hogy mi volt a kőszénnek a földtulajdonoshoz való viszonya 1788. jún. 20-a előtt és hogyan született meg — mindent elorvasztó feudális érdekek következtében — e napon Bécsben, az udvari kamarában az a torz rendelet, amely kimondta, hogy »akié a föld, azé a szén« s ezzel csaknem napjainkig gúzsbakötötte s a földesúri bányászat szűk keretei közé szorította szénbányászatunk fejlődését.

Felszabadulásunkig ugyanis hazánk volt a kontinens egyetlen állama, hol a szén a föld tartozéka volt, mely körülmény a külfölddel szemben súlyos hátrányt jelentett szénbányászataunkra s hosszú évtizedekig tartott, míg a földesúri bányászat szűk kereteit a későbbi nagyüzemi, tökevállalkozások szétfeszítették.

1934-ben új munkához fogott. Az Országos Levéltárban, a bécsi Haus-Hof- und Staatsarchivban, a Hofkammerarchivban, a Soproni Levéltárban s a Besztercebányai Bányakapitányság Irattárában végzett kutatásokat, melyek alapján megírta »*A brennbergi kőszénbányászat története 1759-től 1772-ig*« című tanulmányát, melyet 1936-ban a Bány. és Koh. Lapokban tett közzé. Mondott tanulmányai, az eredeti kútfők és okmányok jelentései alapján készített történetírás jeles példái, melyek új irányt jelentenek bányászattörténeti kutatómunkánk fejlődésében.

E bányajogi, társadalombiztosítási és technikatörténelmi tanulmányai fölkellették vállalatának, a Salgótarjáni Kőszénbánya R. T.-nak figyelmét s így kapott megbízást a vállalat 1943. évben esedékes 75 éves történetének megírására. Bán nagy kedvvel fogott a munkához és mert a Salgótarjáni Kőszénbánya R. T. a »Cs. Kir. Szab. Pest—Losonc—Besztercebányai Vasút és Szt. István Kőszénbánya Társulat« című vállalatból keletkezett és fejlődött tovább, úgy érezte, hogy ezzel a munkával párhuzamosan megírja a magyar vasutak történetét is. Hangyaszorgalommal feküdt neki a munkának, gyűjtötte az adatokat, bújtá a levél- és irattárakat, tanulmányozta az egykorú hírlapokat, stb. és készítette értékes jegyzeteit. Nagy munkája első részét el is készítette, »*A salgótarjáni szénvasút keletkezése*« címen, azt azonban megjelentetni már nem tudta.

1941-ben, amikor a hitlerista garázdálkodás vadul tombolt már hazánkban, származása miatt kitétek állásából és vissza kellett adnia a vállalat 75 éves történetének megírására vonatkozó megbízatását. E sajnálatos és szégyenteljes tényrt röviddel megelőzően azonban, 1940 augusztusában még előadást tartott a »Soproni szabad egyetem«-en, a bányamunkások 1940. évi szociális életéről, mely előadása a *Részler Gyula* szerkesztésében kiadott Magyar Közgazdasági Társaság Könyvtára XXIX. kötetében jelent meg »*Szénbányászok*« címen (p. 215—242.). Az ezt követő években *Bánnak* az aktív munkától teljesen vissza kellett vonulnia, üldöztetésben volt része, míg aztán 1944 végén — ma már meg nem állapítható körülmények között — életét befejezte.

Bán alantiakban közölt posthumus, befejezetlen munkája összefogó képét adja hazai szénbányászatunk első 70 esztendejének s különösen értékes adatokat közöl annak 18. századbeli, kezdeti idejéről, persze ma már több kiegészítésre és más értelmezésre szoruló módon. De becses a munka így is, mert híven tükrözi vissza azt a vergődést, mely szénbányászatunk megszületése után még hosszú évtizedeken át jellemezte, miközben hazánk Ausztria gyarmatává süllyedt s gazdaságilag tulajdonképpen felszabadulásunkig sem tudott talpraállni. Növeli a munka becseit, hogy sok új, eddig teljesen ismeretlen adattal szolgál bányászatunk történetéhez s ezzel ipari kultúránk kialakulásához.

Faller Jenő

## I. r é s z

### A KŐSZÉN MEGJELENÉSE A MAGYAR GAZDASÁGI ÉLETBEN (1759—1830)

Az 1759. esztendő határkő Magyarország gazdasági és művelődéstörténetében. Ekkor termeltek ugyanis hazánkban először iparszerűen kőszent. Sopron város bányájából a megnyitás évében csak néhány száz métermázsa kőszén került ki, ma országunk területén száznál több bányából származó, millió és millió mázsa kőszén mozgatja a magyar gazdasági életet. A Tegnapi és Ma között — ez közel kétszáz esztendőt jelent — ez ellenszenvvel fogadott tüzelőszer kémiai nyersanyaggá nemesedett, amely a legkülönbözőbb módon és a meseszerűség határán járó alakban szolgál bennünket.

\*

A magyar kőszénbányászat fejlődésének első korszakát a gőzhajónak a Dunán való megjelenése zárja le. Ez a hetven év nem egyéb, mint szakadat-



lan küzdelem széntelepek felfedezéséért, szénbányák megnyitásaért és a fogyasztók megszerzéséért. Kísérletek a kőszénbányászat technikájának kialakítására, a magyar szenek tudományos vizsgálata, a kőszén bányajogi helyzetének szabályozása, a szükséges munkaerő előteremtése mind egy-egy fontos lépés a haladás útján.

E fejezet a magyar kőszénbányászat történetének első korszakát igyekszik nagy vonásokban az olvasó elé tárni.

### Első szénbányáink

#### *A hazai széntelepek felfedezése*

Az ásvány- vagy kőszén, amelyet latinnyelvű irataink a 18. században, amikor hazánkban mint tüzelőanyag először felbukkant, egyszer *carbo fossilis seu subterraneus*, máskor *terra bitumenosa* vagy éppen *lapides ignem facile concipientes*: azaz könnyen tüzetfogó kövek elnevezéssel illetnek — ezek csak kiragadott nevek —, a Kárpátok hegykoszorúja körülvette területen természetes kibúvásokban már emberemlékezet óta ismeretes. Az Olt mentén elnyúló Erdővidéken a bronzkor embere oduját egészen a széntelepig beásta ugyan, de sem ő, sem utódai, még évezredekig nem tudták, hogy a különös föld, amelynek egy-egy darabja ételkészítéskor talán meg is gyulladt, valamikor át fogja alakítani a világ képét.

A kőszén, mint tüzelőanyag Angliából indult el a kontinensre és bár lassan haladt kelet felé, bizonyára nem tartott volna több mint félezer évig, amíg nálunk is meghonosodott, ha *Nagy Lajos* és *Mátyás* királyok ragyogó korszakára nem következik a török világ, amely az ország fejlődését politikai és gazdasági vonatkozásban egyaránt visszavetette. Közrehatott az is, hogy Magyarország hegyes-völgyes vidékein az erdőségek bőven adták a fát, az alföldeken pedig a karámokban összegyűjtött állati trágya, kukoricaacsutka meg szalma szolgált tüzelőül. Ásványi eredetű tüzelőanyagra nem volt szükség.

#### *Első írásos emlékek széntelepeinkről*

Kőszénbányászatunk első korszakában hazánkban rendszeres és tudatos kutatás kőszén után nem volt. Véletlenül bukkantak rá kőszénerekre, amelyek vízmosta árkokban, hegyszerkezeti elmozdulás következtében, természetes kibúvásokban kerültek a felszínre. Sötét színük szembeötlött. Csak a Mogyoróson lévő szarkási szénbánya létesült előzetes kutatás alapján.

*Carl Nützel* v. u. z. *Sanderspiel* budai bányapolgár azt állította ugyan, hogy 12 olyan jelet ismer, amelyek elárulják a föld felszíne alatt rejtőző széntelepeket, ámde a jeleket — nem árulta el. *Trangous János*, Kassa város főorvosa úgy vélekedett, hogy a kőszén olyan helyeken rejtőzik a föld mélyén, ahol a hó hamarabb olvad, ahol a földből kihúzott gyökerek nedvében érc van,

vagy ahol a levegő nagyon kénes szagú. E »geológiai ismeretek« ellenére is hazánkban a 18. század végén már sok széntelepről tudunk.

Az irodalomban *Csiba László* jezsuita atya említi először 1714. évben, hogy a dobsinai hegyekben és Trencsén vármegyében Zsolna vidékén kőszénet lehet találni. A dobsinai hegyek karbon paláiban valóban előfordul grafit és antracit és Trencsén vármegyében tényleg vannak az eocén üledékei között fornai faciesű széntelepek. *Bél Mátyás* szerint a Turóc vármegyei széntelepek már 1730 körül ismeretesebbek voltak, azokból azonban — bár a szén jóminőségű volt — nem fejtettek szenet, mert a lakosságnak elegendő fája volt. *Tichy József Menyhért* már 1735-ben használta a Késmárk vidékén előforduló paelogén korú kőszén. Van olyan monda is, hogy Szinóbányát régebben Szénóbányának hívták, mert közelében széntelepek voltak.

### *Mária Terézia intézkedései a szénbányászat érdekében*

*Mária Terézia* királynőnek köszönhetjük azt, hogy már a korszak elején nagyszámú széntelepről tudunk. *Mária Terézia* 1749. évben megbízta *bárá Imhof* bányakapitányt, a braunschweigi hercegség titkos tanácsosát, hogy vizsgálja meg a selmeci bányaművek helyzetét. *Imhof* jelentése szerint elegendő vízierő hiányában a »üzgépek« a selmeci bányaműveknél csak »szükséges rosszak«, (malum necessarium), mert a gépek nagyon sok fát fogyasztanak. Orvoslásul azt ajánlotta, hogy továbbra is kutassanak a vidéken kőszén után. *Mária Terézia* el is rendelte, hogy a már ismert széntelepeken kívül — pl. a Tanáhdhegy oldalán kibújó középmiocén barnaszén már bizonyára ismerték — újabb telepeket kell felkutatni és minden lehetőt megtenni, hogy ha Hollandiából szénbányászok jönnek, a gépeket fa helyett kőszénrel lehessen fűteni. A királyi leirat szerint törekedni kell, hogy a kőszén házi fűtésre, valamint kovács- és lakatosműhelyekben is felhasználják.

*Mária Terézia* királyi hatalmát olyan ügyek intézésére is kiterjesztette, amelyekről a megcsontosodott rendi alkotmány nem intézkedett. A királynő gazdasági célokra szolgáló rendelkezései közül — kőszénbányászatunk szempontjából — az 1766-ban kiadott rendelete a legjelentősebb, amelyben a királynő 100 arany jutalmat engedélyezett azoknak, akik fa helyett turfával olvasztanak ércet, míg addig nem ismert turfatelepek felfedezőinek 25 arany jutalom járt. A rendeletet 1768-ban újra kihirdették, 25 arany jutalom helyett azonban már 50 arany jutalom illette turfa- vagy kőszéntelep felfedezőjét. A rendeletet először a fában szegény vármegyékben kellett kihirdetni. Ez arra mutat, hogy a királynőt a Monarchiában mindinkább érezhető fahiány — ami városok, bányák és kohók közelében a faínségig fokozódott — indította a rendelet kiadására. A rendelet német mintára készült. Bizonyosága ennek a rendelethez csatolt, *Adam Wenzel Rombaldi von Hohenfels* nevű csehországi erdőmester leírása: hogyan történik a turfa szenítése a Harz-hegységben fekvő Wernigerode és

Wittgenstein grófságokban. A rendeletek folytán az 1766—1771. évek között 17 bejelentés érkezett a helytartótanácshoz.

Mai geológiai ismereteink segítségével megállapíthatjuk, hogy az említett évek között — a földtani képződés sorrendjében — ismeretessé vált: *Krifka Xavér Ferenc* lovaskapitány 1769. évi bejelentése alapján a pécsi alsó liaszkorú feketeszén; *Szentiványi Lóránd* szolgabíró 1770. évi bejelentése alapján a csorbai eocén fornai barnaszén; a szucsáni sóhivatal 1768. évi bejelentése alapján a környékbeli paleogén szén; Pest város néhány magát megnevezni nem akaró lakosának 1768. évi bejelentése alapján a somoskői. *Matusek Vencel* bádogos ugyanazon évi bejelentése alapján a salgótarjáni miocén korú barnaszén; *Szemniczky György*, *Hrabovszky János*, *Valkó Márton* 1766., illetve *Konecsni János* 1769. évi bejelentése alapján a bukoveci, továbbá Bars vármegye összességének 1766. évi bejelentései alapján a verőcei középmiocén korú barnaszén és végül a turesányi prefektus 1768. évi bejelentése alapján az árva megyei usztyai pontusi lignit.

### A salgótarjáni szénmedence

A bejelentések sorsáról a salgótarjáni szénmedencére vonatkozó bejelentés tájékoztat bennünket a legrészletesebben.

A kőszent Salgótarján, Kazár, Pálfalva és Zagyvaróna határában kibúvásokból már ősidők óta ismerték, de azok létezéséről az első közlés csak 1767-ben jelent meg a *Pressburger Zeitungban*. A Nagyszombathból keltezett tudósítás szerint 1776 nyarán a jeszenicei *Jankovits László* tulajdonát képező Salgóhegyen a kénés kigőzölgésekben bővelkedő talaj magától meggyulladt és két hónapig égett. Az imitt-amott előtörő lángokat a földművesek ételeik megfőzésére használták. Az égett föld négy ölnyi hosszúságban, két ölnyi szélességben és két láb vastagságban kőszenné lett, amely tűzben nagy lánggal és kénés szaggal égett. A tudósítást *Klein Mihály* pozsonyi evangélikus lelkész az 1778-ban Pozsonyban és Lipcsében megjelent »*Sammlung merkwürdigen Naturseihenheiten des Königreichs Ungarn*« című munkájában átvette. A szén-telepek létezéséről magyar nyelven első ízben *Tanárky Mihály* adott hírt, aki *Klein* munkáját »Magyarország természeti ritkaságai« címen 1814-ben adta ki. *Dr. August Friedrich Büsching* »*Neue Erdbeschreibung*«-ja nyomán *Beudant* is megemlékezik a tüneményről. ». . . Északon már messziről észrevesszük a Salgóhegyet, melynek kúpos tömege elszigetelten emelkedik az egész környezet fölé. *Büsching* szerint 1767 nyarán ezen a hegyen látták meggyulladni és két hónapon át égni a kénés gázokkal borított földet. Nem akarom kétségbevonni ennek a tűznek valódiságát, pedig senkit sem találtam, aki azt mondta volna, hogy tud a dologról; annyi azonban bizonyos, hogy ha megtörtént, annak okát nem kénés gázokban kell keresni, mert bár ez a magaslát igen valószínűleg vulkanikus eredetű, természete nem engedi meg eme éghető anyag jelenlétének feltételezését. . .«, írja *Beudant*.

Az első közlések a szénelőfordulásban csak kuriózitást láttak; gazdasági jelentőségére *Matusek Vencel* pesti kádármester 1768-ban történt bejelentése nyomán terelődött a figyelem.

*Matusek Vencel* és sógora, *Fischer Antal* kádármesterek 1766-ban *iff. br. Péterffy* tarjáni erdejében mesterségük üzéséhez szükséges fát válogattak. *Matusek* az odavaló munkásoktól hallotta, hogy a favágás helyétől kb. kétezer lépésnyire van egy hegy, amely állandóan füstölög. Odavezetette magát s megállapította, hogy a hegyben szénrétegek égneek. A szénkibúvás hosszát tíz, szélességét három öltre becsülte, abból a tényből azonban, hogy a hegyről lefutó patak vize egészen sárga és kénzagú volt, arra következtetett, hogy a hegy, amely a *Péterffy*-féle erdővel határos *Jankovits* birtokon feküdt, szénből van. *Matusek* felfedezését jelentette Pest város tanácsának és igényt tartott az 50 arany jutalomra. A m. kir. udvari kamara azonban a jutalom kiadása előtt meg akart győződni a felfedezés értékéről, és ezért a tanácstól bővebb jelentést és szénmintát kért. A tanács a szénmintát meg is küldötte a kamarának, egyben jelentette, hogy a kádármesterek a szén használhatóságáról nem tudnak véleményt nyilvánítani. Erre, úgy vélik, csak azok illetékesek, akik már használtak szenet. A tanács azt javasolta a kamarának, hogy pozsonyi iparosok állapítsák meg, vajjon lehet-e a szénnel tüzelni. A kamara azonban maga akart a szén használhatóságáról meggyőződni és mivel a kiküldött szén mennyisége erre nem volt elegendő, újabb szénmintát kért és kapott, amelyet *Morgenbesser Ferenc* alsóausztriai bányabíróval vizsgáltatott meg.

*Morgenbesser* a szenet, amelyet tűzzel és vízzel vizsgált meg, nem találta használhatónak. Megemlítette azonban, hogy miután az szétmállóban lévő kibúvásból származik, nem lehet a leletről végleges ítéletet mondani. Ha a kibúvás terjedelmét illetően előadott adatok a valóságnak megfelelnek — hangsúlyozta a szakvélemény —, úgy a találat helyén bőséges széntelepnek kell lennie, amelyet érdemes feltárni. A feltárás kőbányászat módjára, faácsolat nélkül — tehát olesón — történhetne, mert ha a beküldött minta széteső is, a tapasztalat azt mutatja, hogy ilyenfajta szenek a mélységben jobb minőségűek és kevésbé szétmálók szoktak lenni. *Matusek* viszont a szén használhatatlanságát a széntelepben állandóan dúló tüzekre vezette vissza. *Morgenbesser* az értékesítés lehetőségét is felvetette a jelentésben, mert véleménye szerint jutalomra csak gyakorlatilag értékesíthető széntelep felfedezője tarthat igényt. Hogy e kérdést elbírálhassa, felvilágosítást kért, milyen távolságra van a felfedezett széntelep Pesttől, hányszor fordulhatna meg a fuvar Pest és a széntelep között egy nap alatt, hány kiló szenet lehetne egy négylovas kocsival egyszerre elszállítani és végül mennyit tenne ki a szállítás költsége. A városi tanács felhívására *Matusek* bejelentette, hogy a széntelep 15 mérföldnyire van Pest városától és így az utat a fuvaros egy nap alatt nem tudja megjárni, a fuvarbéreket pedig nem ismeri.

1769. májusában a kamara közölte a városi tanáccsal, hogy *Matuseket* nem jutalmazhatja meg, mert a felfedezett széntelepet gyakorlatilag nem lehet értékesíteni. Ez a helyzet majd hét-nyolc évtizedig nem változott, pedig a szénmedencéről, felfedezése után ismételten szó esett. II. József császár 1782-ben seregszemlét tartott birodalmának széntelepei és szénbányái felett. Nógrád megye a somosújfalui széntelepekről tett bejelentést. A jelentés szerint a széntelep már tizenegy év óta ismeretes, a szenet azonban nem használják, mert a környéken elegendő másfajta tüzelőanyag van. A medencéről 1817-ben *Zipser András Krisztián* és 1819-ben *Magda Pál* is megemlékezett. A keszthelyi *Georgikon* ásványgyűjteményében 1823-ban egy Karancsesziből származó szénmintát találtunk.

### *Egyéb széntelepek*

A már említett 1782. évi összeírás során Árva, Bars, Bereg, Borsod, Nógrád, Nyitra, Sopron, Trencsén, Varasd és Zala vármegyék, valamint Bártfa, Breznóbánya, Késmárk, Pécs, Sopron, Szabadka, Szeben, Székesfehérvár, Sziszek és Temesvár városok jelentették, hogy területükön turfa, illetve szén található. E két névsort kiegészíti az a két összeírás, amely Magyarország széntelepeiről és szénbányáiról Ferdinánd trónörökös személyes tájékoztatására 1810. és 1819. években készült. Az egykorú irodalom is számos széntelepről emlékezik meg. *Riepl* tanár szerint 1820-ban Magyarországon 99 széntelepet ismertek.

\*

Az 1714—1830. években vízvájta árkokban és egyébütt található szénkibúvásokból Magyarországon sok helyen ástak szenet. Néha még fizetni sem kellett érte. Az alkalmi munkahelyek egyik-másikából csak hosszabb-rövidebb ideig használt fejtőhely keletkezett, egynémelyike azonban bányaművé fejlődött. A korszak végén már majdnem minden ma ismert szénmedencében voltak bányaművek, de jelentőséghez csak a Sopron, Baranya, Tolna, Esztergom és Komárom megyékben keletkezett bányák — a sorrend időrendet is jelent — jutottak. Ezek a bányák vagy városok — Sopron, Bécs, Pécs — közelében feküdtek, vagy a Duna útján városokkal és népesebb községekkel, mint pl.

Pesttel, Budával, Komárommal, Győrrel, Bajával, Péterváradral, Apatinnal összeköttetésbe kerülhettek.

„*Steinkohlenbau am brennenden Berg*” (1759)

Sopron város kétezeréves történeti múltja, a városon átvezető, a keletet a nyugattal összekötő út, az iparilag fejlettebb Ausztria közelsége, ahol a kőszén szerepe a gazdasági életben kibontakozóban volt, indokolja részben, hogy miért keletkezett az első magyar szénbánya e város határában. A bánya története — mondhatnók minden vonatkozásban — tiszta és őszinte képet ad kőszén-bányászatunk hősi korának küzdelmeiről.

A soproni medencében lévő széntelep létezéséről egy *Rieder* nevű, Németországból (aus Schwaben) származó szegkovács tette az első bejelentést 1756-ban Sopron város tanácsához. *Rieder*, miután műhelyében meggyőződött a város erdejében, Wandorf község határában talált szén használhatóságáról, kérte a várost, hogy az előfordulást szakértővel vizsgáltsa meg. A kutatás, amelyet *Bayer István* borostyánkői kénkovandbányász folytatott, jó eredménnyel végződött, mire a város 1759 áprilisában megkezdte a bányászatot. Hét hónap alatt a bányából mintegy 460 q szenet termeltek ki. A szén árát a város az üzem megindulásakor 40 krajcárban szabta meg. A szenet azonban ezen az áron nem lehetett eladni, mire a város azt 30 krajcárba mérsékelte. De a szén semmi áron sem talált vevőre és így a város a bányauzemet beszüntette.

A bányászatot 1763-ban a pénz- és bányauági kamara kísérelte meg életrekelteni.

Bár a vizsgálat, melyet a kamara megbízásából a már ismert *Morgenbesser* végzett, jó eredménnyel járt, a bánya újrainyítására mégsem került sor, mert a tanács *Morgenbesser* javaslatát — hogy a város, vagy annak polgársága a szénbánya üzembentartására bányatársaságot alapítson — elutasította. Amint az indokolás mondotta, a városnak, a polgárságnak sem kedve, sem pénze nincs a bányászat folytatására. Ha azonban a kamara hajlandó szakértőt a város rendelkezésére bocsátani — mondotta a tanács —, úgy a város kész a bányauzemet újból megindítani és igyekezni fog azt, ha másért nem, azért üzemben tartani, hogy téglá- és mészetekben fa helyett kőszénmel tüzelhessen.

Mivel a tanács 1765-ig semmit sem tett a bánya üzembhelyezése érdekében, a kamara javaslatára *Mária Terézia* elrendelte, hogy a város a bányászatot kezdje meg, mert a közérdek kívánja, »hogy a természetnek ezt az ajándékát, különösen azon a vidéken, ahol a fahiány nagyon is érezhető, művelés nélkül ne hagyják«.

Az esetleges akadályok elhárítása céljából a m. kir. udv. Kamara *Kallóczy Mihály* kamarai tanácsost küldte ki. Melléje rendelt két belga szakértőt, *Felcher*-t és fiát, hogy a szén minőségét, a települési viszonyokat, a bányászat módját és a szén forgalombahozatalának lehetőségét megvizsgálják. A bányauzem azonban továbbra is szünetelt, mert a szakértők Karinthiában foglalatostkodtak, *Kallóczy* pedig azonosította magát a tanács kérelmével, hogy a királynő mentse fel a várost a bánya üzembentartása alól, mert abból a városra csak kár háramlana.

1768-ban *Terstyánszky Dániel* felsőmagyarországi bányapolgár a bakabányai bányabírószágtól nyert jogosítvány alapján a város beleegeyzése nélkül



kezdett bányászni. A város azonban, földtulajdonosi minőségében eltiltotta a munkától, mire *Terstyánszky* a bányahatóságnál keresett sérelmére orvoslást. Az ügy *Mária Terézia* elé került, aki súlyos választás elé állította a várost: vagy folytatja a bányászatot, vagy tűrnie kell, hogy *Terstyánszky* bányásson. A városi tanács, hogy jogát megvédje, tíz hónapig üzemben tartotta a bányát. Ekkor a város kérelmére kiküldött szakértő — *Mayer Mihály* göttweigi bányász —, mivel az üzemet nem találta gazdaságosnak, annak felhagyását javasolta. A javaslathoz a királynő is hozzájárult.

1768-ban *Zoller Xavér Ferenc* soproni órás kezdett bányászni, de az üzemmet ő is hamarosan beszüntette, mert bár az iparosok szívesen vásárolták a szenet, az üzem mégsem volt gazdaságos.

1787-ben *Boros József* alispán jelentése folytán — hogy erre mi adott okot, nem tudjuk — *gr. Győry Ferenc*, a megye adminisztrátora utasította a tanácsot, hogy tegyen jelentést a köszénelőfordulásról. A tanács által kiküldött bizottság azt javasolta, hogy a város engedélyezze a bányászatot, akár *Zollernek*, akár másnak, már csak azért is, hogy a város okuljon, hogyan kell az üzemet vezetni és mit kérjen annakidején bér címén a vállalkozóktól. *Győry* elfogadta a javaslatot és parancsára a város az alábbi hirdetményt bocsátotta ki:

»Nachdem in hiesigen Stadt Waldungen Stein Kohlen erfunden worden, also wird dem Publico zu Wiessen gemacht, dass wenn sich jemand entschliessen wollte auf eigene Kosten und Gefahr die Grabung sothaner Stein Kohlen, unter denen bekanntmachenden Bedingnissen zu unternehmen, der selbe sich bey hiesigen Burgmeister Amt melden solle. Ödenburg in Senatu 30.-Augusti 1787«

A bányászati engedélyt *Schneider Vencel* borostyánkői kénkovandbányász szerezte meg három évre, de az üzemet, melyet kezdetben a soproni iparosok számlájára folytatott, pénzhiány miatt kénytelen volt *Falkenhayn Jenő grófnak* átadni, aki *Steiger Antal Dávid* bányagondnokot és *gr. Wrbna-t* — valószínűleg azonos *gr. Wrbna Freudenthal Rudolf* bányatanácsossal — vette maga mellé. De ez az üzem is anyagi zavarokkal küzdött és rövid működés után megszűnt.

*Steiger* azonban nem hagyta abba a küzdelmet és 1791 október havában ő és társai: *Paus Hussar* kereskedő, *Markus Engel*, a gróf Fries-féle selyemgyár igazgatója, *Josef de Roy* polgármester, *Franz Johann Maurer* tanácsúr — mindnyájan bécsújhelyi lakosok — 12 évre bérbevették a bányauzemet, évi 40 forint bérért. A bérbeadásról Sopron vármegye jegyzőkönyve emígyen emlékezik meg:

»Nemes szabad királyi Sopron városa d. d. 27-e október 1791 jelenti, hogy Ezen Városnak jószágán a szurkos szénynék alkalmas száma ásatik<sup>1</sup> és az ásások helyén egy mázsa 12 x-ért adatik el és hogy a szénynék e belivel, a kovások, lakatosok és másféle tűz mellett munkálkodó mivészek sokkal többre mehetnek, mintsem a fából égetetett közönséges szén által, kevesebb költséggel; azért a mivések nagyobb alkalmatossága végett mindpedig avégre is,

hogy annak eladása könnyebbíthetessék, kéri a nemes vármegyét, hogy ezen kiküldendő tudósítás által az egész közönségnek hírévé adattassék».

A vállalkozók 1793-ban *Bernhard Edler v. Tschoffen* bécsi nagykereskedő, *Josef Reiter* k. k. Hofagent és *Franz Herbeck* személyében új társakat vettek maguk mellé és megalakították a Wienerisch-Neustädter Steinkohlengewerkschaft céget, amely beszüntetett bányaművek üzembehelyezését tűzte ki célul. A brennbergi bányamű üzembehelyezéséhez fűzött remények azonban nem váltak valóra, mert hiányoztak a szakértő munkások, amikor pedig belga bányászok közreműködésével sikerült elegendő szenet termelni, azt nem lehetett eladni. Sopron és környéke maga kevés szenet fogyasztott és nem sikerült a kőszéntüzelést megkedveltetni a szomszédos osztrák terület lakosaival — elsősorban Bécs jött számításba — sem, pedig a társaság sok fáradságot és pénzt áldozott, hogy célját elérje. A lakosság azonban egyszerűen nem akart tudni az új tüzelőanyagról. Végül is a társaság a szénárak csökkentésében látta az orvosságot. Miután a termelési költségeket nem lehetett, tehát a drága szállítási költségeket kellett csökkenteni. E célból a társaság *Tschoffen* javaslatára elhatározta, hogy Schott-Wienből Wienbe egy hajózható csatornát létesít, elágazással a brennbergi bánya felé.

A bécs—sopron—győri csatorna tervét a társaság 1794 novemberében terjesztette I. Ferenc elé, aki azt igen nagy érdeklődéssel fogadta. A Wiener Zeitung 1794 április 1-i száma közölte, hogy a császár a bányatársaságot különös védelemben részesíti, mert Sopron és Bécsújhely környékén nagy mennyiségben termelnek jóminőségű szenet, ami lehetővé teszi Bécsnek olcsó tüzelőanyaggal való ellátását és mert a csatorna megkönnyíti a szállítást Triest felé. E körülmény jelentőségét mutatja, hogy a bécs—semmering—triesti útvonalon naponta 40.000 ló volt fel- és lefelé mozgásban. A bányatársaság a terv elkészítésével *Maillard Sebestyén* mérnökkari ezredest bízta meg, aki többedmagával csatornaépítés tanulmányozása céljából Angliába utazott. *Maillard* visszatérte után a *Maire*-féle bécs—baden—bécsújhely—sopron—győri vonal megvalósítását javasolta, amihez az érdekeltek hozzá is járultak.

*F. I. Maire* belga mérnök 1780-ban Bécset akarta olyan csatornarendszer központjává tenni, mely a császárvárost minden európai tengerrel összeköttetésbe hozta volna. Az egyik csatorna Bécsből Badenen át Bécsújhelyre, onnan a Lajtán át a Fertő-tó érintésével a Rába és a Rábca bekapcsolásával a Dunához vezetett volna. A csatorna végpontjául *Maire* a Dráva, a Száva és a Kulpa összekapcsolása révén Porto Ré-t tűzte ki. *Maire* terve magas hegyeket vágott át, mély völgyeket temetett be, népes falvakat és városokat árasztott el vízzel — »...aber die Berge lassen sich durch Federstriche nicht versetzen, und aus Bächer schifftragende Wasserströme durch weinige Dindentropfen nicht erschaffen ...« — jegyzi meg a tervről *Schwartner*.

*Maillard* a csatorna építési költségét 2 millió forintba tette, amiből egy félmilliót a császár, egy félmilliót az időközben társasági taggá lett *gr. Apponyi*

*Antal, Tschoffen és Reiter* vállalt, míg a hiányzó 1 milliót részvények útján a közönség köréből kellett volna megszerezni. A társaság igen rossz pénzügyi viszonyok között kezdte meg a csatorna építését. A császár és a tagok által rendelkezésre bocsátott kisebb-nagyobb összegeket kutatási költségekre fordították, az 1 milliót pedig nem lehetett előteremteni. A kincstár ugyanis a részvények kibocsátását nem engedte meg, mert a közönség pénzét lottójáték útján hadügyi kiadások fedezésére maga kívánta megszerezni. 1797-ben azonban a nehézségek ellenére is megkezdődött az építkezés és 1803-ig — bár sok technikai, természeti és pénzügyi akadály merült fel — Sankt Marxig ki is épült a csatorna. A társaság pénzügyi helyzete 1802-ben annyira leromlott, hogy a kincstár kénytelen volt a vállalkozást átvenni. Ebben I. Ferenc pénzügyi érdekeltsége döntő szerepet játszott. A csatornán 1804-ben kb. 100 000, 1808-ban kb. 400 000 métermázsa szénét szállítottak Bécsbe.

A csatorna meghosszabbítását már 1800-ban elhatározták, de arra csak 1810-ben került a sor, pedig a kormányzat, az érdekeltek és a közvélemény egyaránt látta, hogy a csatorna csak töredéke egy nagy műnek, amely befejezés nélkül nem felelhet meg céljának. A csatornát Sopronig kellett volna meghosszabbítani, de csak a Pötschingig vezető rész építését kezdték meg. A csatorna két része 1814-ben egyesült egymással. Sopronig azonban a csatorna sohasem épült meg.

Ezt állítólag a császár által összehívott magyar urak akadályozták meg, akik azért ellenezték a meghosszabbítást, mert a csatorna elvonná malmaik elől a vizet. *I. Ferenc* személyesen igyekezett az akadályokat elhárítani, de hiába. Végül is elállt kedvenc tervétől. A találkozó résztvevő urak utóbb kifejezték készségüket az ügyben az uralkodónak szolgálni, de *I. Ferenc* már nem változtatta meg elhatározását. A kormányzatot sértette a külföld gúnyolódása, hogy a »Nagy« Ausztria nem tud egy csatornát Pötschingtől Sopronig megépíteni és ezért 1824-ben örömmel adta bérbe a kincstár a csatornát és bányát *gr. Fries* és társa bécsi bankháznak. A bérlőnek köteletségévé tették, hogy a csatornát 6 éven belül Sopronig meghosszabbítsa. A bankház azonban 1826-ban — mielőtt kötelezettségét teljesíthette volna — csődbe került. 1834-ben *Matthias Feldmüller* persenbengi hajózási vállalkozó, »der Donauadmiral« volt a vállalkozás bérlője. 1835-ben a *br. Sina* bankház vette bérbe a csatornát és a bányát. *Sinát* a bérbevételnél már vasútpolitikai szempontok vezették.

A csatorna — bár befejezetlen maradt — mégis jelentős hatással volt kőszénbányászatunk fejlődésére. 1802-től kezdve, mikor a csatorna és a bánya a kincstár tulajdonába ment át, a bányaművet szakértők vezették, akik az akkori viszonyokhoz mérten igen rendszeres bányaművelést folytattak.

#### *A Vác-verőcei bányászat (1768)*

A második magyar kőszénbányát *gr. Migazzi Kristóf* bécsi bíborosérsek, római birodalmi herceg, váci püspöki helytartó létesítette Nógrádverőcén 1768-ban. A kiaknázott szénét, hogy használatát megkedveltesse, a váci és a szomszédos községek kézművesei között ingyen kiosztotta, az ország városainak pedig csekély ár ellenében átvételre felajánlotta. Azonban ő sem kerülte el az úttörők sorsát. A városok a szénét nem akarták átvenni, mert nem tudtak vele mit kezdeni, az iparosok pedig még az ingyenszénét is visszautasították, miután a szén annyira »éretlen« volt, hogy nemcsak nem segítette őket, hanem egyenesen kárt okozott nekik munkájukban. A téglavetők is hasonló tapasztalatról számoltak be.

*Migazzival* egyidejűleg a már említett *Sanderspiel* bányászkodott Vác—Verőce határában. Működéséről 1771 végéig nem sokat tudunk. Valószínűleg

az uradalom tudta nélkül kezdett bányászni és mintegy 300 mázsa szenet termelt ki. Amikor az uradalom tudomást szerzett *Sanderspiel* tevékenységéről, megtiltotta a bányászatot, bár a selmeci bányabíróság 1771-ben kiállított »Schutzzeugniss«-a feljogosította őt a bányászatra.

A kőszénbányászat szempontjából *Sanderspiel* a kor legérdekesebb alakja. Működését nem az általa kihajtott néhány öl hosszú táró teszi érdekessé, hanem hogy 20 éven át hol nyílt, hol burkolt küzdelemben kénszerítette a hatóságokat és magánosokat a kőszénkérdéssel való foglalkozásra. A papirosháború folytatásához elég kitartása és tudása volt. Nem rajta múltott, hogy a küzdelem 1788-ban az ő vereségével végződött. Ő alapította az első magyar kőszénbánya társaságot és ő kísérelte meg első ízben a szénbányászatot helyi jellegéből kiemelni. A verőcei bányában termelt szenet hajón budai raktárába szállíttatta. A verőcei Duna-parton téglá- és mészégetőt létesített. Személyéről csak annyit tudunk, hogy Budán a Vizivárosban, az ú. n. Kupferschmidt-Hausban lakott. A hatóságokat a kérvények tömegével árasztotta el, amelyekben *Civis Montanus*, *Notarius*, *Advocat* és *Mitgewerker* címeket használja. Hogy joggal vagy sem, és ha joggal használta e címeket, mit jelentettek azok személyét illetően, nem tudjuk, de írásából egy széleslátókörű ember alakja bontakozik ki, aki *Mária Terézia* és *II. József* referenseinek látókörén túl, a kőszénben nem egyszerű tüzelőanyagot, hanem az egész gazdasági élet — elsősorban az ipar — előmozdítóját látta. Rámutatott a kőszénbányászat szociális hatására is. Ellenfelei annyira nem tudták követni gondolatvilágát, hogy eszelőnek bélyegezték, pedig csak fanatikusa volt igazságának. Amikor látta, hogy a hatóságok nem ismerik a kőszénhasználatának előnyeit, egyik beadványához leírást csatolt, hogyan lehet a szenet mész- és tégláégetésre, sörfőzésre és más célokra felhasználni, lepárolni stb. Hogy az érdeklődést felkeltse, a leíráshoz négy színes rajtot is mellékel. Több ízben pontos számításokat terjesztett a hatóságok elé, a kőszén használatával elérhető megtakarításról. Adatokkal szolgált, hogy távol és közel, Angliában és Franciaországban, Alsó- és Felső-Sziléziában milyen célra használják a kőszénét. A korabeli külföldi szénbányászatra vonatkozó adatai még ma is helytállóak. Írataiban sokszor hivatkozik *Tilby*, *Bünting*, *Vogel* és *Kirchero* munkáira. Egyetlen jutalma az a 100 arany volt, amelyet őt évig tartó kérvényezés után 1778-ban kézhezkapott.

#### A Déli-Mecsek bányái (1780)

A Pécs város határában fekvő Vasason már 1780-ban bányásztak kőszénét. A bányát 1787-ben a pesti egyetemi alaptól *Decker Ferenc* kovácsmester és *Hansenhand Simon* molnár vették bérbe hat évre évi 30 forint bérösszegért, 1794-ben azonban már az uradalom tartotta üzemben, hogy a belőle folyó jövedelem és annak alapján újabb bérbeadáskor a bérösszeg megállapítható legyen. Az üzem sok nehézséggel küzdött. Pl. 1801-ben közel 2000 métermázsa szenet termelt, de csak 180-at tudott eladni, mert a főfogyasztókként számbavehető pesti iparosoknak még kétéves szerződésük volt *dr. Krhoval*, a váraljai bánya bérlőjével, aki a szén mázsáját 42 krajcárért árulta, míg a vasasi kőszén egy mázsája 51 krajcárba került. A pesti kereskedők hajlandók voltak a szenet ezen az áron is megvenni, ha vám nélkül vihetik be Pestre, a helybeli téglá- és szénégetők azonban csak 39 krajcárt ígértek a szén mázsájáért. A huzavona vége az lett, hogy a kitermelt szén legnagyobb részét elsodorta az árvíz. A bányában 1790-ben már táróművelés volt. 1808-ban, amikor a selmeczányai akadémiát végzett *Johann Peter Edler von Berks* az akkor létesített pécsi cs. k. kőszénbányaigazgatóság vezetését átvette, már hat táró volt üzemben. *Berks* 1840-ig vezette a vasasi bányászatot, 1816-tól a magánbányászat irányításában is tevékeny része volt.

*Papanek György* »Descriptio Comitatus Baraniensis« című munkája szerint Hosszúhetényben már 1783-ban ástak kőszénét (lapides carbonati).

A pécsi szőlőkben sok helyen kibújt a szén a külszínre, de az előfordulásokat eleinte nem igen méltatták figyelemre, sőt a kibúvások csökkentették a szőlő értékét, mert a kovácsok kijártak a szőlőkbe kőszemet ásni, amivel sok kárt okoztak. Később a polgárok maguk kezdtek földjeiken bányászni, ezek a »bányák« azonban minden esetben csak rövidéletűek voltak, mert a víz hamar elöntötte őket. Pécs városa a tulajdonát képező területeken 1788—1799. években maga termelt szenet, utóbb bérbeadta a bányát egy bányatársaságnak, amely az üzemet 1825-ig folytatta. Ettől kezdve 1836-ig szünetelt a bányászat.

A pécsi káptalan tulajdonát képező Somogy község határában 1803-ban kezdődött meg a széntermelés. 1808-ban a pécsi püspökség, a székesegyház, *gr. Bathányi János* és magánosok foglalkoztak a medencében széntermeléssel. *Berks* jelentéséből viszont az világlik ki, hogy 1830-ban a vasasi, a szabolcsi és 18 magánvállalkozó bányái voltak üzemben a Déli-Mecsekben.

#### *Az Északi-Mecsek bányái (1793)*

Váralján 1793-ban egy bányász kezdett szenet fejteni, »... de abban előmenetelt nem tett, mivel a kőszénnel való bánást akkor még nem tudták...« A névtelen úttörő után a pécsi püspökség engedélyével a már említett *dr. Krho György* bonyhádi orvos egy évig ellenszolgáltatás nélkül bányászkodott, melynek leforgása alatt meggyőződött az üzem gazdaságosságáról, mire szerződést kötött a földesúrral. A bérösszeg előbb 100, utóbb 150 forint volt egy évre. Mivel azonban »a kőszénből való haszon meg tsüggedett«, az árendát nem tudta fizetni, az uraság többé kontraktusra nem lépett vele, hanem arra kötelezte, hogy minden mázsa kőszén után 3 kr. bérösszeget fizessen. *Dr. Krho*, hogy a termelési költségeket csökkentse, a bányaművelés céljára gépeket szerkesztett. A bonyhádi chyrurgus után — így nevezi *Krhot* 1799. évben Tolna és Baranya vármegyékben járt *Kitaibel Pál* — 1803-tól a püspökség folytatott bányauzemet, de, mert »nem tapasztaltattott, hogy abból csak a költség is megfordult volna«, abbahagyta.

Megemlékezik *Kitaibel* a kárászi bányauzemeről is.

Amikor 1808-ban *Kitaibel Pál* másodszor járt a Mecsekben, már Mázán is volt szénbánya. *Kitaibel* megemlíti, hogy a szén puha szerkezetű, palás, gyakran van benne grauwake-szerű közbeágyazás. Mázán 1807-ben ugyancsak *dr. Krho* kezdett bányászni, de még kevesebb sikerrel, mint Váralján. Az 1808—1810. években ugyanis már *Johann Braun* és *Társai*, mázai lakosoknak volt »sok ingyen való munkája vele és kevés haszon«.

#### *Az esztergomi medence bányái (1804)*

Az esztergomi medence szénkincse 1797-ben vált ismeretessé. A bányászat bölcsője a Sárísáp községhez tartozó Annavölgyön volt, ahol a bányászatot



1804-ben vízmosságokban talált oligocén szénkibuvásokban a herceg *Metternich*-féle birtokon *gr. Sándor Móric* kezdte meg. *Kovács Pál*, esztergommegeyi főszolgabíró 1810. évben azt jelentette, hogy az esztergomi járásban »négy kőszénbányák találtak«. Mégpedig Dömösön, Sárísápon, Csolnokon és Tokodon. Dömösön és Sárísápon katonaság termelt szenet, amelyet Komáromba szállítottak, ahol is téglá- és mészégetésre és egyéb szükséges célokra használták. Csolnokon az uraság — a magyar katolikus vallásalap — saját jobbágyaival termeltetett szenet. Mivel azonban a szén mélyen a föld alatt volt, »kevés előmenetelt tettek«, de ennek ellenére a termelés »szorgalmasan« folyt. Egy másik változat szerint a budai polgárokból alakult társaság tartotta üzemben a bányát. *Alois Fischer* 1815-ben készített térképe mutatja, hogy a község Miklóshegy (Niklasberg) dűlőjében már létezett egy kb. 150 méter hosszú, Péter-Pál nevű táró, mélyítés alatt volt egy légvezetést szolgáló akna és állott néhány üzemi épület is.

A mogyorósbányai bányatelepeket 1828-ban kezdték művelni. Az a körülmény, hogy a bányászat feltáró pontjai mellett épült kastély kapuoszlopában elhelyezett márványtábla szerint azt 1828-ban *Weissenberger Gáspár* budai téglagyáros, a szarkási bánya későbbi bérlője építette, valószínűvé teszi, hogy a bányát *Weissenberger* létesítette.

*Kovács* jelentése szerint Tokodon is nagy bőségben találtak kőszén és bár a komáromi erőd parancsnoka által kiküldött tisztek azt jónak találták, bányászat mégis csak 1830-ban indult meg, annak a szerződésnek az alapján, amelyet *Brunner Antal* budai háztulajdonos kötött az esztergomi székeskáp-talannal.

Az 1759—1830. években az országban még számos helyen fejtettek szenet. Sok fejtés még helyi jelentőségre sem emelkedett, mert művelője egy kovács- vagy lakatosmester volt, aki csak saját céljára termelt számba nem jöhető szénmennyiséget. Példa erre a vrdniki »üzem«. Ezt a széntelepet, amely a monostor tulajdonát képező erdőben volt, a Csehországból származó *Handl Ignác* erdőfelügyelő fedezte fel 1781-ben. Egy kovácsmester egy évig termelt szenet a lelőhelyből. A termelés nagy nehézségbe ütközött, mert a széntelepet nehezen lehetett megközelíteni és mert az uradalomnak minden szenet fuvarozó igavonó állat után 17 kr.-t kellett fizetni. Rohnitzon, Lehotkán, Visegrádon, Bánkon, Gödön, Pomázon, Besztercebányán, Selmecebányán, Sóvárótt, Palmánán, Margitfalván és Kaproncán ugyancsak termeltek szenet.

A vasmegeyi máriafalvi, schreibersdorfi, ritzingi és neufeldi üzemeket *Jordan* — több-kevesebb — joggal már Steinkohlenbergwerk címmel tisztelte meg.

#### *A tatai, bánsági és borsodi bányák*

Zsemlye község határában lévő oligocén széntelepeket 1780-ban egy kovács fedezte fel. *Liczner* uradalmi mérnök vezetése mellett *Procl* fővájár még eb-

ben az évben telepítette a széntelepeket a mélységbe követő ereszkeszzerű kutató tárót. 1810-ben már két aknából termeltek szenet, a napi széntermelés azonban csak 25—30 métermázsát tett. A bányában talicskában szállították a szenet, a függőleges aknából kézzel hajtott vitla segítségével került a szén a külszínre. A szenet az uradalom használta fel téglá- és mészegetés céljára. A szén minőségéről és a bánya földtani viszonyairól részletes leírást kapunk *Jordan* művében.

*Báró Born* már 1774-ben említi a Néra-folyó völgyében levő széntelepet. A resicai széntelepekről az első írásbeli emlék 1788-ból való. A Stájerlak-aninai széntelepek felfedezéséért a Mariazellből bevándorolt *Hammer Miklós* favágó 1790-ben 50 arany jutalmat kapott a királyi hivataltól, ahova a »fekete követ« vitte. A szekuli széntelepekről 1819 óta tudunk. A dományi uradalom területén korábban üzemben volt négy széntermelő helyből 1782-ben már csak egyben termeltek szenet. A lakosság a szenet, melynek ára a bányánál kétökrös szeke-renként 20 kr. volt, lakottabb helyekre szállította. Az iparosok a távolság szerint 3—5 forintot is fizettek egy szekér szénért. Az 1810. évi összeírás Domány, Gerlistye, Resica és Steierdorf községek határában lévő szénbányákról emlékezik meg. *Esmark* szerint az almási barnaszéntelepeket már 1794-ben fejtették.

A bányászat fejlesztése érdekében egy udvari rendelet 1792-ben engedte, hogy a Bánságban kincstári területen magánosok is nyithassanak szénbányát. Gerlistye vidékén 1809-ben valóban már 9 magánvállalat termelt szenet. Az engedélyt 1821-ben visszavonta ugyan a kincstár, de 1828-tól ismét visszaadta a kedvezményt. A magánosok kezdetben minden mázsa kiaknázott szén után 2 krajcárt fizettek, később ezen felül bányamértékenként 50 frt-ot is kellett fizetniök. Az első adományozás 1803-ban történt a medencében. Bár Stájerlak-Aninán 1827 körül havonta már 2000—2500 métermázsá szén termeltek, a medence ebben a korszakban mégis csak helyi jelentőségű maradt. Az aninai szénből már e korszakban készítettek kokszot.

A több megye területére kiterjedő ú. n. »borsodi« szénmedence már 1730 körül ismeretes volt. Mivel fa bőven volt a vidéken, az első szénbánya csak 1786-ban létesült Sajókazán. 1810-ben Parasznyán, Diósgyőrött, Ebedecen és Felsőkosztolányban, 1822-ben Szilváson, Dédesen és Tapolcsányban is termeltek szenet.

### Gazdasági tényezők jelentősége kőszénbányászatunk keletkezésében és fejlődésében

#### *Széntermelésünk mennyisége az 1759—1830. években*

Az 1759—1830. években Magyarországon kitermelt 538 685 tonna szénből a brennbergi medence mintegy 260 000, az esztergomi mintegy 170 000, a pécsi mintegy 80 000 tonnát szolgáltatott. A brennbergi bányából 1792—1830.

években az alábbi szénmennyiségek kerültek forgalomba\*, s annak jelentős része, mint tudjuk, Ausztriába került.

Az egész korszak termelése is elenyésző ahhoz képest, hogy *Heron de Villefosse* szerint Anglia széntermelése 1820 körül 7,5 millió tonna volt évenként.

*Franz Reichetzer* cs. kir. bányatanácsos és udvari titkár *Werner Ábrahám* nyomán készült »Anleitung zur Geognosie, insbesondere zur Gebirgskunde« c. művében (Bécs, 1821), amelyben egyébként egy-két helyen Magyarországra is történik utalás, a következőkben állapította meg azokat a tényezőket, amelyekről egy szénbánya boldogulása függ: a fekéükozet vastagsága és tartóssága, tartóképesége, a mélység, amelyben a kőszénréteg fekszik, a kőzetek száraz vagy nedves állapota, a fa ára, az üzemanyagok ára, a munkabér, a lakosság száma, a környező vidék ipara, folyó közelsége, az utak állapota, a támogatás, amelyet a kőszénbánya az államtól a bányavám elengedése, vámmérséklés stb. útján élvez, a szén használatával szemben való előítélet, amely itt-ott még uralkodik. E tényezők némelyikének hatását egy-egy bányaműre már láttuk, vizsgáljuk meg most szénbányászatuskat a bányászat egészére közvetlenül kiható, lényeges tényezők szempontjából.

#### *A lakosság megoszlása*

Hazánkban a 18. század végéig úgyszólván teljesen hiányzott az a gazdag, művelt, kultúra után áhító és vállalkozó szellemű polgárság, amely tőlünk nyugatra vagy már megvolt, vagy fejlődőben volt, s amely más országokban a szénfogyasztás terén úttörő volt. Míg Franciaországban 1789-ben minden városi lakosra 9 falusi lakost számolhatunk, amely arány Poroszországban a 18. század hetedik évtizedében 1 : 3 volt, addig hazánkban e század végén minden városi lakosra 19 falusi lakos jutott.

#### *A kézműiparosok mint fogyasztók*

Az úttörők szerepét nálunk az iparosok vették át, bár ezek száma az összlakossághoz viszonyítva ugyancsak kicsiny volt és közülük sokan még földműveléssel is foglalkoztak. 1805-ben minden egyes kézművesre — ideértve, ahogy *Schwartner* mondja: a legszegényebb borbélyt és minden »Pfuscher« is — 90 vevő jutott. A 18. század folyamán állandóan növekvő fahiány a század végére megkértszerezte a faárakat, ami arra indította az iparosságot, hogy műhelyében fa helyett ásványi tüzelőanyagot igyekezzenek használni.

*Gróf Migazzi* kísérlete, hogy a szenet az iparosokkal megkedveltesse, 1768-ban kudarcra végződött, de *Szentiványi Lóránt* 1770. évi jelentése szerint a csorbai szenet a tapasztalt fegyverkovácsok olyan kitűnőnek találták, hogy nagyobb mennyiséget szerettek volna kapni belőle. A soproni lakatosok és kovácsok 1789-ben beadványukban kifejtették,

\* A kimutatás a kéziratból hiányzik (Faller J.).

hogy a brennbergi bányát üzemben kell tartani, mert annak szenét jól tudják műhelyükben használni. *Grabarius Lázár*, a pécsváradai uradalom prefektusa 1792-ben 50) pozsonyi mérő kösznetet — ahogy a szerződés nevezi „... gut autentische Steinkohle“-t — adott el *Schmidt Lőrinc* óbudai patkókovácsnak, míg 1500 mérőt a pesti patkókovácsok és lakatosmesterek céhe vásárolt meg. 1800-ban a pesti szegkovácsok évi 20), magyar lakatosok, sarkantyúsok évi 400, a kovácsok évi 1590—2000, a puskaművesek évi 250 mérő pécsi szénre tartottak igényt. 1807-ben a pesti kovácsok a budaiakkal egyetértésben arra vállalkoztak, hogy a pécsi szenet saját költségükön a fővárosba szállítják.

### *Az ipar, mint fogyasztó*

Kőszénbányászatunk első korszakában a szénnek mint hajtóerőnek még nincs jelentősége. Ezért a szénnek, mint tüzelőanyagnak megjelenése, Magyarország technikai fejlődésében nem jelenti azt a határkövet, mint pl. Angliában, amelynek a szénben lévő erőre alapozott ipara éppen a 18. és 19. századnak a magyar kőszénbányászat első korszakával érintett éveiben született meg. Egyébként is a kőszén későbbi legnagyobb fogyasztójáról: az iparról, Magyarországon a 18. században még alig, a mai értelemben vett gyáriparról pedig úgyszólván egyáltalában nem beszélhetünk.

*Mária Terézia* trónralépte és *I. Ferenc* halála közé eső korszak — bár azon belül is voltak súlyos háborúk — a multhoz képest békés korszak volt. A gyáripár egyik alapfeltétele: a nyersanyag kitűnő minőségben és kellő mennyiségben rendelkezésre állt, a munkáskéz olcsó volt, azonban ipari fellendülés helyett e három emberöltő alatt a magyar ipar tragédiája játszódott le és Magyarország Ausztria gyarmatává süllyedt, melynek főfeladatát Ausztriának élelmiszerekkel és ipari nyersanyaggal való ellátása képezte. *II. József* császár alatt a helyzet még rosszabbodott. Jellemzésül, megemlítjük, hogy pl. a textilipar fejlődéséhez nélkülözhetetlen festőanyagok behozatalát tiltotta. *I. Ferencnek* a politikában követett elve: „quieta non movere” a gazdasági életben is érvényesült és a gazdasági életben alapvető fontosságú változások helyett — amire pedig a Monarchiának multhatatlanul szüksége lett volna — az osztrák államférfiak „toldoztak és földoztak”.

A kép, amelyet Magyarország fabrikáiról és manufacturáiról egy 1771—1774. években történt összeírásból kapunk, ugyanolyan tragikusan hat, mint az a seregszemle, amelyet a század végén *Berzeviczy Gergely* tartott a magyar ipar felett. Az összeírás néhány üveghutát, közönséges papírt előállító malmot, két fayencegyárat, egy csontgyárat és egy kartonnyomót sorol fel. Nem sokkal kedvezőbb a kép a korszak végén sem. A korszakot gazdasági vonatkozásban egyébként is agrár gondolkodás jellemezte, miért is az ipari vállalkozási szellem rendkívül lassan bontakozott ki. Még a korszak végén is csak a kisiparból a gyáripár felé való áttunnellel találkozunk. A mezőgazdaság legértékesebb terményét: a gabonát, még mindig száraz- és vízimalmok őrlik lisztté, az ipart a pálinkafőzők, néhány szeszgyár, üveghuta és bőrgyár képviseli. A textilipar a bécsi vámrendszer miatt még mindig rendkívül kezdetleges állapotban van. Az ipari üzemek közül fogyasztót csak azok jelentettek, amelyek a szenet üstök melegítésére, téglá- és mészégetésre használták. Legfeljebb egy-egy üveghutát — aminő volt pl. a soproni — és néhány, timsót előállító üzemet lehet számításba venni. A kösznetet a vaskohászatban Csetneken kísérelték meg először használni 1789-ben. A háztüzelésre felhasznált szén mennyiségű volt. Mint kuriozitást említjük meg, hogy a 18. század végén Vasason a disznók italába kösznetet kevertek, hogy megvédjék őket a rossz víz káros hatásától.

### *Szállítási lehetőségek*

A kőszénhasználat elterjedésének alapfeltétele: a szenet a fogyasztóhoz eljuttatni.

Magyarország úthálózatát a vasutat megelőző időben a következőkben jellemezhetjük: az ország keleti fele rendkívül szegény volt utakban, kivéve a Székelyföldet; itt és a Szerémségben sűrű az úthálózat és a postajárás, a nyugati határt pedig 14 országút lépte át. Ez az úthálózat a kőszénbányászat

szempontjából azt jelentette, hogy a bánáti és a zsilvölgyi szénmedencéknek alig volt összeköttetésük észak felé, a borsodi medencének csak a széleit érintették utak, a brennbergi szenet Ausztria vonzotta, Magyarország szíve tehát csak a pécsi és esztergomi medencék szeneire számíthatott. A Székelyföld és a Szerémség fejlettebb úthálózata viszont a kőszénbányászat helyzetén nem javított, mert az útsűrűség a végek háborús veszélye, a hadikészültség, nem pedig gazdasági szükségszerűség következménye volt. Az utak közül csak a Pest—Győr—bécsi volt jól használható, a többi út Pesten túl elromlott. A napoleoni háborút követő években az ország egyes részein éhenhaltak az emberek, mert a gabonában bővelkedő vidékekről a terményt a szükséget szenvedőkhez nem lehetett elszállítani. *Hyeronimus Hecht*, akit az első Reisebuch szerzőjének lehet tekinteni, azt írja, hogy a Monarchia útjain való utazáshoz »...fürnämlich kristliche Geduld und eine gute Leibeskonstitution« szükséges. 1765-ben mintegy 50 kg szénnek Sopronból Bécsbe való szállítása 54 krajcárba került, vagyis négy krajcárral többre, mint amennyi a szén ára volt.

A szárazföldi szállítás drágasága arra ösztönözte a szénterületek vállalkozóit, hogy olcsóbb szállítási lehetőségeket igyekezzenek teremteni. A pécsi és az esztergomi szénmedence számára ott volt a Duna, a brennbergi medence számára azonban a vízi szállítás lehetőségét mesterségesen kellett megteremteni. Az 1793-ban felmerült ezirányú tervből, mint tudjuk, csak egy jelentéktelen rész valósult meg.

Természetesen a dunai szállítás sem volt tökéletes megoldás, mert télen a hideg, nyáron a szárazság sokszor akadályozta a hajózást. A vállalkozókat azonban sem a természeti, sem egyéb akadályok nem riasztották vissza attól, hogy a Duna adta lehetőségeket megkíséreljék kihasználni.

Azt az adás-vételi szerződést, amelyet a már említett *Grabarius Lázár* kötött *Schmidt Lőrincsel*, kiegészíti egy szállítási szerződés, amelyet a prefektus ugyanebben az évben *Jankovich Teofillal* kötött a kőszénnek a Dunán való szállítása tárgyában. A szállítás díja pozsonyi mérőnként\*) Pestre, Budára és Péterváradra 15 krajcár, Bajára 7 krajcár, Apatinba és Monostorra 10 krajcár volt. 1800-ban már 18 krajcárba került egy mérő szénnek Pestre való szállítása. Ebben az évben két tételben 4000 mérő szenet kellett *Jankovich Demeternek* augusztus és október hó közepén Pestre szállítania. Édes és ékes magyarsága miatt idézzük a szerződés egyik pontját:

»Ha hajóslegényeknek gondatlansági, tudatlansági, részegségi, vagy henyélési vagy pedig veszedelmes helyen kiállása avagy kötél és efféle szerszám szakadása és törése miát, vagy pedig hajójárásnak útjában levő tőkék és mal-mok vagy pedig eféle akadály mián hajósüledés (kitől Isten örözzön) avagy közönséges hajójárásnak útján kívül hajótörés történnék a contrahens *Teophil*

\* mintegy 60—65 kg.



*Jankovits* kötelezi magát kőszénben esendő mindennemű károokban pörlekedés nélkül megnevezett pécsváradi uraságnak utolsó fillérig való megtérítésére sőt ha törvénykezésre kelne a dolog, a törvénykezésre költségeknek és megfizetésére magát kötelezi.«

A borsodi medencét *Szontagh Ádám* csetneki táblabíró törekedett helyi jellegéből kiemelni. *Szontagh* 1822-ben oly értelmű javaslatot terjesztett a helytartó tanács elé, hogy a Sajót, amely *Bonfini* szerint *Mátyás* király idejében hajózható volt, tegyék ismét hajózhatóvá. Ezzel — mondotta — megnyílna a lehetőség a medence szénkincsét a tűzifában szűkölködő Alföldre szállítani.

Az előterjesztést a helytartótanács kivizsgálásra és véleménynyilvánításra Gömör és Borsod vármegye vezető tisztviselőiből alakított egyes bizottságra bízta. A bizottságnak a szén minőségéről, mennyiségéről, a szállításból származó haszonról és arról kellett meggyőződnie, hogy más termék szállítására is nyílnék-e lehetőség? A bizottság, *Szontagh* meghallgatása után, a terv megvalósítása ellen nyilatkozott. Állásfoglalását azzal indokolta, hogy a vállalkozás hasznosságának elbírálására nem elegendő a *Szontagh* által bemutatott többrendbeli szénadásvételi szerződés, mert a tapasztalat azt mutatja, hogy a szenet, melynek létezése Borsod megyében már nagyon régen köztudomású és amelynek használhatóságáról úgy a környékbeli lakosok, mint a miskolci iparosmesterek meggyőződtek, mégsem használják, mert bőven van fa. Hogy pedig a szenet a közeli vashámorok és üveghuták is használhassák, a szenet szárítással, melegítéssel, vagy hosszú ideig való állással elő kellene készíteni. A megállapításhoz azonban bölcsen hozzátette a bizottság, hogy a kérdés elbírálásánál arra is tekintettel kell lenni, vajjon nem lesz-e egyszer majd a vashámoroknak, vasínúveknek és az üveghutáknak elkerülhetetlenül szüksége a kőszénre. Azt is jelentette a bizottság, hogy a kőszéntelepek közelségében mészkő és kőszindely is található, de ezek bányászata és leszállítása nem könnyű dolog, mert a vállalkozóknak ez anyagok bányászhatása érdekében meg kellene egyezniök az érdekelt földtulajdonosokkal.

A bizottság úgy találta, hogy a Sajó hajózhatóvá tétele is nagy nehézségekbe ütközik, mert a Sajó medre rendkívül meredeken esik és a folyó sebességét csak a sok kanyar enyhíti. Ha a kanyarulatok eltűnnek és az esés meggyorsul, könnyen előállhat az az eset, hogy a málmok elől elfogy a víz és a rétek meg a kaszálók kiszáradnak. Gondolni kell arra is, hogy a Tisza maga is szabályozatlan és ha a Sajó vize nagy sebességgel belerohanna, a víz hirtelen megduzzadása tetemes károkat okozna a Tisza mellett fekvő községeknek. Kifogásolta a bizottság azt is, hogy *Szontagh* nem tesz javaslatot arra, ki fedezze a csatornaépítés költségeit? A vármegye szegény, lakosai még szegényebbek, tehát a pénzügyi fedezetről annak kell gondoskodnia, aki a vállalkozásból hasznot remél. A bizottság által feltett kérdésekre *Szontagh* nem adott kielégítő választ és így a terv csak szép emléke maradt a kornak.

### *A kőszén bányajogi helyzetének szabályozása*

Kőszénbányászatunk első korszakát át- meg átszövik hatósági intézkedések, amelyek azonban nem mindig használtak a kőszén ügyének. A bürokrácia az ügyek elintézését az egyik hatóságtól a másikhoz való tologatással gyakran még akkor is akadályozta, amikor segíteni akart. Az ipari és kereskedelmi tevékenységtől tartózkodó magyar nemesi osztályból kikerült tisztviselők nagy részének gazdasági vonatkozásban nem volt látóköre, de még a részletkérdések elintézéséhez sem rendelkeztek megfelelő gyakorlattal. Ilyen körülmények között érthető, hogy miért tartott 20 esztendeig olyan alapvető kérdésnek a szabályozása, aminő a kőszén bányajogi helyzete volt.

Amikor a kőszén iparszerű termelése Sopron város határában megkezdődött, a bányahatóságok a *Miksa*-féle bányarendtartást alkalmazták, amely

azonban a kőszén bányajogi helyzetét még nem szabályozta. A rendtartás 1753-ból való, amikor a Habsburg-Monarchiában még nem bányásztak kőszénen.

A kőszén bányajogi helyzetének kérdése már 1763-ban felmerült, amikor *Morgenbesser* Sopron város tanácsának ama álláspontját, hogy a városnak a kőszénbányászat folytatásához nincs szüksége bányajogi engedélyre, jogsértőnek találta és javasolta, hogy királyi parancsal kell a várost az engedély megszerzésére kényszeríteni, nehogy a bányajog szabályai erejükből veszítsenek. A kérdés 1768-ban szélesült vitává, amikor Sopron város megakadályozta *Terstyánszky Dánielt* a bányászat folytatásában. *Mária Terézia* nem tért ki azokra a bányászati jogokat rendező törvényekre, amelyekre a város hivatkozott. Rendeletében kimondotta: »...hogy ámbár a szén bányászatát a felderítési haszonvételjog mintegy járuléknak tekinti és véli...« és azt kívánta, hogy a város elsőbbségjoga érintetlen is maradjon, ugyanakkor közölte azonban elhatározását, hogy »...nem fogjuk tűrni, hogy ebben a munkában *Terstyánszky Dániel* akadályoztassék és zavartassék...« Ezt az ellentétet diplomáciai finomsággal hidalta át a hagyományos kompromisszum: kényszerintézkedésekre csak akkor kerül a sor, ha a város nem él a bányászat jogával. A város megindította a bányászatot és így az ellentét nem vezetett törésre.

A vita a bányavállalkozók és a földtulajdonosok között még két évtizeden át folyt. A vita során *Sanderspiel* a váci püspökséggel, *Mertinger János Kristóf* pozsonyi kertész, aki 1770-ben Detrekő határában akart szén bányászni, *gróf Pálffy Jánossal* került szembe.

A bányavállalkozók arra hivatkoztak, hogy az alsófokú bányahatóságok feljogosították őket a szén bányászására, a legfőbb bányahatóságnak tehát kötelessége őket megvédeni. Tekintettel kell lenni arra is, hogy a kőszénbányászat előmozdítása a közjót szolgálja, mert a kőszén használata segíteni fog a mindinkább érezhető fahiányon. *Sanderspiel* külföldi példák mellett arra is hivatkozott, hogy az osztrák örökös tartományokban, ahol ugyancsak *Mária Terézia* uralkodott 1758 óta a földtulajdonos beleegyezése nélkül bárki bányászhat szénen. Azt is felhozta érveléséül, hogy a szénből timsó készíthető, tehát a szén legalább is fele arányban a bányajog szabályai szerint is szabad ásvány.

A földtulajdonosok azzal érveltek, hogy a bányahatóságok engedélye veszélyezteti a nemesség jogait és szabadságát. Az emberi természettől idegen az, hogy »...ami az enyém, azt beleegyezésem és hozzájárulásom nélkül egy harmadiknak adják...« — mondta *gróf Pálffy*. A fában való szükségletet nem a fahiány, hanem a közvetítő kereskedelem és a drága szállítás okozza. A bányavállalkozók igénye azonban jogilag sem támasztható alá. Királyaink és törvényeink mindig megkülönböztették a nemesek bányáit a kincstár bányáitól. Amazokat a nemesség szabadon használhatta és gyümölcsöztethette. *Nagy Lajos, Zsigmond, Mátyás, Ulászló és I. Ferdinánd* királyok uralkodása alatt hozott törvények, ahol a földesúri jogokról bányászati vonatkozásban esik szó, kimondják, hogy a királyi jog alapján a királyi kincstárt a kibányászott érc után bányavám illeti, de a bányaművelés egyébként a földesúr joga. Kivétel a sóbányászat, melynek folytatása kizárólag a kincstárnak tartatik fenn. Ezen a helyzeten a *Miksa*-féle bánya-rendtartás sem változtatott, mert az nem országos törvény, miután sohasem cikkelyezték be. A földesurak ércbányáik ügyét eddig jól intézték, jobban, ahogy ezt egy idegen tehetné, miért kelljen éppen a szénbányászból folyó jövedelmet idegeneknek átengedni, holott ez az ásvány sem fém, ami után bányavám jár, sem só, ami a királyé.

A vitában a bányahatóságok a bányavállalkozók, a magyar kormányzések pedig a földesurak igaza mellett foglaltak állást. Az utóbbiak arra hivatkoztak, hogy a hazai törvények a bányavámköteles ércek között a kőszénen nem említik. Ez az ásvány még a legtágabb értelemben véve sem sorolható az ércek közé, és kőszén után eddig még sohasem fizettek bányavámot. Következésképpen a kőszénnek bányavám nélkül való művelése ugyanúgy megilleti a földbirtok-

kal megadómanyozottakat, mint az ingatlanjavak adományozásával járó egyéb jogok. Mivel a bányahatóságok jogköre csak azokra a bányákra terjedt ki, amelyek bányavám fizetésére kötelezettek, amikor harmadik személyeket kőszén bányászására feljogosítottak, hatáskörüket túllépték.

A kérdést alapvető fontosságánál fogva törvénynek kellett volna szabályoznia, de *Mária Terézia* 1764-től haláláig nem hívott össze országgyűlést és így a vitát csak *II. József* döntötte el 1788. június 20-án kelt rendeletével, amely kimondotta, hogy akié a föld, azé a benne rejlő kőszén bányászatának joga is. Indokul szolgált, hogy a magyar bányatörvényekben nincs olyan rendelkezés, amelynek alapján a kőszénbányászatot bányahatósági engedélyhez lehetne kötni. A kötöttség egyébként is csak terhet jelentene úgy a bányavállalkozóknak, mint a kincstárnak, mert a bányavállalkozóknak, hogy bányavámot tudjanak fizetni, elszámolásokat kellene vezetniük, a kincstár pedig a lakott helyektől rendszerint távoleső bányákban beszédett kőszén nehezen tudná értékesíteni. Egyébként is a beszédett bányavám csupán jelentéktelen mennyiségű lehet. Végeredményben tehát a bányavám akadályozná a szénbányászat kifejlődését, ez pedig — írja a referens *báró Born* — ellenkezik az uralkodó szándékával. Ha a kőszénbányászatot csak hatósági engedély alapján lehetne folytatni, úgy ezt a rendelkezést a logika szabályai szerint ki kellene terjeszteni pl. a turfa, a kő és a márga bányászatára is. Megnehezítette a másirányú állásfoglalást az a körülmény is, hogy a döntést megelőzően kiadott királyi rendelet kimondotta, hogy az opál bányahatósági engedély nélkül bányászható.

Az események nem igazolták az uralkodót, mert a kőszén megkötöttsége megnehezítette a kőszénbányászat kifejlődését. Az 1759—1788. években uralkodó jogbizonytalanságot, amely megakadályozta a vállalkozói szellem érvényesülését, eloszlatta ugyan a királyi rendelet, de egyúttal a szénbányászatot a földesúri bányászat szűk keretei közé szorította. Sokáig tartott, amíg a földtulajdonosok bérkövetelése találkozott a bányavállalkozók teljesítőképességével és így a földesúri szénbányászat szűk kereteit a tőkevállalkozások szétfeszítették.

### *Technika*

Az 1788-ban kelt rendelet a kőszénbányászat technikai fejlődését rendkívül károsan befolyásolta. A rendelkezés folytán a bányahatóságok a kőszénbányászatot a földtulajdonos, illetve a bányavállalkozók magánügyének tekintették s az üzemeket nem ellenőrizték. Ez arra vezetett, hogy a fejtés majd mindenütt a bányatelkek külszínén való rapszódikus kotorászt jelentett. A telepek művelését csak legkritkább esetben kezdték meg táróval és ha igen, az éles szegletek, amelyekben a kihajtott vágatok összefutottak, nemcsak nagy töréseket okoztak, amik költséges ácsolást tettek szükségessé, hanem a szén is összetört, mielőtt a külszínre került. Hogy ez minő pazarlást jelentett, legjobb példa rá Steierdorf, ahol csak a darabosszén hozamért fizették a munkásokat, akik ezért az aprószenet régi vágatokba dobták, ahol az menthetetlenül tönkrement. Az aprószenet Brennbergben is a helyszínen hagyták ugyan és a mélyebb

tereprészeket nem művelték, de a helyzet ott 1802 óta fokozatosan javult. *Moll* »Annalen der Berg- und Hüttenkunde«-ja már 1803-ban közölte a bányában kialakult fejtési rendszert. A vasasi bányák okszerű művelését *Berksnek* köszönhetjük. A hírneves selmechányai akadémián a szénbányászat művelését ekkor még nem tanították.

A csolnoki bányamű üzemviszonyairól fentebb már szoltunk. Brennborgben 1825-ben már a 31 méter mély Rudolf-aknából termeltek szenet. Az aknához 158 méter hosszban »Riesenstollen«-t hajtottak. Az aknából a szenet lőjzárgány emelte külszínre.

*Jordan* megemlíti, hogy Brennborg környékén fúrásokkal állapotították meg egy széntelep fekvését.

### Üzemvitel

A helytartótanács 1808-ban *Berks* számára kiadott németnyelvű »Instruktion«-ja tájékoztat bennünket a vasasi bánya üzemviteléről. *Berks* köteles volt a bányaműveket minden 14 napban bejárni és minden hó végén a felvigyázó személyzettel megbeszélni a munkáelosztást, valamint az anyag és szerszám beszerzésének, a kitermelendő szén mennyiségének, árának és elszállításának kérdését is. A bányaműről pontos térképet kellett készíteni, ezt állandóan kiegészíteni és a bánya jókarbantartásáról gondoskodni. *Alois Fischer* 1815-ben a csolnoki, 1820-ban az annavölgyi szénbányáról kitűnő térképet készített.

### Köszeneink vizsgálata

A magyar szenek minőség és használhatóság szempontjából való vizsgálata már a korszak elején megkezdődött.

1768-ban jelentkezett ugyanis a selmechányai főkamaragrófságnál egy társaság, amely kizárólagos használati jog biztosítása esetén hajlandó volt azt a titkos eljárást felfedni, amelynek segítségével a szén bűzét el lehetett venni és ezzel a szenet különböző célokra használhatóvá tenni. Bizonyosnak vehetjük, hogy a társaság külföldről vette az ötletét, hiszen *Daniel Stumpfelt* anhalti pénzverő mesternek már a 16. században volt egy találmánya, amely a szén bűzét elvette. Ilyen célt szolgáló eljárásról írt a német származású, osztrák alkalmazásban álló kémikus, *Dr. I. I. Becher* is, 1683-ban »Närrische Weisheit und weise Narrheit« c. könyvében és hogy az ötlet később is talált hívőkre, mutatja, hogy Sopron város 1787-ben a bánya bérbeadásánál azért részesítette előnyben *Zoller Xavér Ferencet*, mert állítólag ilyen titok tudója volt. 1805-ben *Partenschläger József* kért a helytartótanáctól privilégium exclusivumot, hogy a köszén pótlására szurkos gyepből az általa kitalált módszerrel szenet készíthessen. (Amikor a helytartótanács felszólította találmánya bemutatására, nem jelent meg!) *Sengerle Aloisius* hasonló tárgyú találmányát a pesti egyetem vizsgálta meg.

*Jaquin Miklós*, a selneci akadémia, később a bécsi egyetem tanára, rohnitzi szénnel végzett az eljárás ellenőrzése céljából kísérleteket, melyek eredményét »Extracta aus denen Schriftstellern« és egy »Pro memoria« című feljegyzés örökítik meg. Az elsőben arról számol be, hogyan történik a köszének kokszosítása külföldön, a másodikban leírja a rohnitzi szénnel végzett kísérleteit, amelyeket az említett társaság ajánlatának elbírálhatása céljából végzett a főkamaragrófság számára. A feljegyzésekből kitérően *Jaquin Henry Louis Duhamel de Monceau* egy 1760-ban megjelent »L'art du charbonier« című értekezése alapján dolgozott, amelyet 1772-ben *Johann Heinrich Goutlob von Justi* fordított németre és látott el megjegyzésekkel. *Jaquin* felhasználta *Karl Günther Ludowici* »Eröffnete Akademie der Kaufleute« című könyvét (Lipsee, 1752—1756) és *Lewis* angol technikus 1763-ban megjelent művét is német fordításban.

*Jaquin* szerint a szénből kiáramló bűz oka a szénben lévő túl nagy mennyiségű kén és földolaj. Ha a kén teljesen, a földolajat az égéshez szükséges mennyiség mértékéig kivonjuk, akkor a kérdést megoldottuk. A megoldás módja: a szenet zárt edényben elégetni, mert ha a szén lánggal ég, úgy az égéshez szükséges földolaj is elpusztul. Az eljárás akkor a leggazdaságosabb, ha az égetéshez a szénben feles mennyiségben lévő olajat használjuk fel. *Jaquin* a rohnitzi szenet nyílt kályhában meggyújtotta, aztán vízzel leöntötte. A szénnek most már nem volt bűze, de nem volt lángja sem és nem adott meleget. *Justi* előírása szerint megkísérelte a szenet máglyában széníteni, ez azonban nem sikerült. A *Ludowici* ajánlotta módszer: az agyaggal való

keverés sem vezetett eredményre, miért is végül megkísérelte a szénét lepárolni, ami kisebb mennyiségű külföldi szénnel már sikerült is neki.

A kísérletet két egymásra állított tégelyben 100 font szénnel végezte. A tégelyeket agyaggal tapasztotta össze, egy nyílást hagyott azonban, hogy a keletkező kátrányt felfoghassa. A kátrányszerés azért fontos — írja *Jaquin* —, mert ehhez az eljáráshoz idegen tüzelőanyag kell, ami megdrágítja az eljárást. Ezt ellensúlyozza, hogy a kátrányt el lehet adni a parasztnak. Nyolc óra múlva *Jaquin* jó kokszt szedett ki a tégelyekből, amellyel fa hozzáadása nélkül süthetett és főzhetett, anélkül, hogy a legkisebb bűzt érezte volna. Kokszolni lehet, mondja *Jaquin*, vaskályhákban és edényekben is mégpedig jó eredménnyel. Ezt nemcsak könyvek, hanem azon Nassauból származó kokszzarab is bizonyítja, amely természettudományi gyűjteményében van. Ámbár a kísérletek »zur weiteren Einleitung der Sache« történtek és nem is voltak eredménytelenekek, folytatására nem került sor.

Az a körülmény, hogy a 18. században a természettudományok egyes ágai még nem különültek el élesen egymástól, továbbá, hogy az orvos volt a hatóságokhoz legközelebb álló természettudományokban képzett személy, magyarázza meg, miért jutott az orvosoknak jelentős szerep közszenek vizsgálata körül. Az 1766—1768. és 1782. évi körrendeletekre adott válaszok között sok orvos által adott szakvéleményt találunk.

A legrészletesebb *Simpelius Xaver Ferenc*, Trencsén megye főorvosának 1770-ben adott szakvéleménye a felsőjárásban talált szénről. A szakvélemény ismerteti a külföldi szenek tulajdonságait is — könyvek alapján —, mert *Simpelius*, mint írja, sohasem látott külföldi szénét. Az antrax — írja *Simpelius* — többek véleménye szerint üledéke vagy anyja a valódi kőolajnak, amit bizonyít, hogy lepárlással a kőolajhoz mindenben hasonló olajat lehet belőle kapni. Legjobbnek a newcasteli szén tartják, amelyet a szakvélemény »igaznak« nevez. Fteleket és pecsenyéket is sütnék vele — innen a neve *Carbones* — sőt szobákat is fűtenek vele. Minthogy azonban bűzt áraszt és a tüdőre gyakran ártalmas, óvatosan kell vele bánni. Egy angol azt állítja, hogy a Londonban lakók nagy része köszéntüzelés miatt pusztul el tüdőbajban. Az angol szén hajón elkerül Brabanciába, ahol a kézművesek porrá zúzzák és pép alakjában használják műhelyükben. Kenyérsütés céljára vízzel és sárral összeverik és téglát készítenek belőle, amit a napon kiszáritanak.

A felsőjárású szén feketének mondható anyag. Amikor a földből kikerül, bitumenből és palából (lapidibus scisillibus) összetettnek látszik. Könnyen törik és porlad, kézben összetörve semmiféle szagot nem áraszt, íze nincsen. Ha szétporlasztott állapotban savakkal kezelik, nem ad meleget. Ha szerves savakkal vegyítik, állagában nem történik semmiféle változás. Vízben és borszeszben nem oldódik, ásványi savakban nagy sustorgás közepette igen. Égő szénre téve olaj ég ki belőle, szesz hozzáadása nélkül azonban olyan bűzös szagot áraszt, mintha ökor szarvát égetnénk.

*Patzier Mihály*, a bányászati akadémia későbbi tanára. 1787-ben a bars megyei szeneket analizálta.

1788-ban *Piller Máttyás*, a pesti egyetem tanára, a diósgyőri szénről adott véleményében azt a reményt fejezte ki, hogy a szén nemcsak téglá- és mészegetés és sörfőzés céljára, hanem fémek megmunkálásánál is használható lesz, hiszen Angliában is általában kőszén használják e célra. Nem biztos, hogy vasművekben is használható lesz-e — mondja tovább a szakvélemény — ólom olvasztására valószínűleg. Ha a megvizsgált szénnel kezelt vas nem lenne megfelelő, meg kellene kísérni, a szénét, ahogy azt a faszénnel teszik, preparálni.

1801-ben *Schönbauer Antal József* egyetemi tanár, az ugoceamegyei kiscserci szénről adott szakvéleményt a helytartótanácsnak.

A latin- és németnyelvű okiratok mellett jólesik olvasni két váci »jó hírű« magyarnyelvű bizonyítványát: hogyan viselkedik a verőcei szén »naturális«, illetve »preparált« állapotában. Csodálkozásukat fejezték ki afelett, hogy a boglyában kiégetett szén utóbb semmiféle meleget sem adott.

### *A tüzelőberendezéstik alkalmatlan volta köszéntüzelésre*

A kályhák és tűzhelyek köszéntüzelésre alkalmatlan volta is akadályozta a kőszén használatát. Egyrészt rontották a szén versenyképességét a fával szemben, másrészt a kiáramló füst és bűz növelte a szokatlan fűtőanyaggal



szemben amúgy is táplált előítéletet. A már említett bejelentések több helyen utalnak a szén bűze miatt elhangzott panaszokra. A helytartótanács 1782-ben köriratban közölte a hatósággal, hogy Sopronban többen megfulladtak a szén gázától.

### *A fa és szén versenye*

A dolog természetéből adódott, hogy a kőszénnek a fával való versenye azonnal megkezdődött, amint az újfajta tüzelőanyag megjelent a piacon. Ahol a fogyasztóknak nagy hőértékű tüzelőre volt szüksége — mint pl. a kovácsoknak és lakatosoknak —, ott a szén győzött. Számszerűleg a versenyt alig tudjuk követni. A szénárakat ugyanis teljesen a helyi viszonyok alakították ki és az árak egyébként is helyt bányatelep értendők. Az árakat a szárazföldi, illetőleg vízi szállítás költségei és vámok növelték. A pénzérték állandó változása is megnehezíti az összehasonlítást. Azt, amit a brennbergi szén áráról már elmondottunk, azzal egészíthetjük ki, hogy a 18. század végén egy mázsa\* szén ára helyt bányatelep 8—12—20 kr. között ingadozott. Az esztergommegyei annavölgyi szén ára 1817 és 1830 között 50 kg-kint konvenciósi értékben a következő volt helyt bányatelep :

1817: 16 kr.	1822: 16.8— 7.2 kr.	1827: 16 — 4.8 kr.
1818: 16 —12 „	1823: 20 — 2.2 „	1828: 17 — 4.8 „
1819: 12.8— 8 „	1824: 16 — 6 „	1829: 17 — 2.4 „
1820: 12 — 6.8 „	1825: 16 — 4.8 „	1830: 17,8— 2.4 „
1821: 24 — 7.2 „	1826: 16 — 4.8 „	

Általánosságban elmondhatjuk még, hogy a szénárak azonos súly mellett nagyobbak voltak, mint a faárak. Bár ez csak látszólagos volt, mégis hátrányosan befolyásolta a szén versenyt, mert a kalória szerinti értékelés még nem gyökeresedett meg a köztudatban.

Tájékoztatásul megemlítjük, hogy a 19. század első évtizedében egy öl keményfa 80, puhafa 60 konv. frt-ba került Pesten (1 öl keményfa = 54—60 mázsa ; 1 öl puhafa = 32—36 mázsa).

### *Munkáskérdés*

Kőszénbányászatunk kifejlődését nagy mértékben akadályozta a munkáshiány. A brennbergi kőszénbánya első munkásai soproni lakosok voltak ugyan, de *Terstyánszky Dániel* már egy stájerországi bányászt volt kénytelen szerződtetni, 1794-ben pedig Alsó-Ausztriából és Karinthiából származó »...kilentz rendes bányászok...« dolgoztak egy »Hutman« és egy »Vorweser« vezetése alatt

\* 50 kg.

a bányában. A Bánságban román bányamunkásokat találunk, a földesúri bányákban bérmunkások és jobbágyok dolgoztak. A Wienerisch-Neustädter Steinkohlenbergwerkschaft, mint tudjuk, hollandi bányászokat szerződtetett.

Munkáslétszámról alig van adatunk. *Townson* szerint a brennbergi bányában 1793-ban 12\* munkás dolgozott. A társpénztárnak 1796-ban 6, 1797-ben 25 tagja volt. *Schwartner* szerint 1809 körül 100—150 munkás kereste meg kenyérét a brennbergi bányában. Zsemlyén 1810-ben egy bányász igazgatása alatt 6 hévér termelt szenet.

A brennbergi bányamű mellett már 1796-ban működött társpénztár. A munkásság heti 3 dukát kereset mellett 3 krajcár járulékot fizetett és napi 15 krajcár táppénzt kapott betegség esetén. Az aránylag sok táppénzt az állandó munkásvándorlás tette lehetővé, ami az igények elvesztésével járt. Később a táppénz napi 5 krajcárra csökkent, de baleset következtében keresetképtelenné vált munkásoknak 20 krajcár táppénz járt. A bányatárspénztár első nyugbérese 1814-ben heti 26 krajcár nyugbért kapott, 1830 körül egy özvegy havi nyugbére 40 krajcár: egy gyermeké 6 krajcár volt. A vasasi társpénztárt *Berks* létesítette 1816-ban.

Az említett alsóausztriai és karinthiai bányászok gyermekektől és feleségeiktől jöttek Brennbergbe és a bánya előtt épített »...két házakban lakoznak«. Ez volt az első munkástelep a magyar szénbányászatban. Az 1800-as évek elején épültek a Gelbes Haus, a Rotes Haus és Grünes Haus. Azóta sokat változtatták már színüket, de nevük a mai napig is fennmaradt. *Beudant* 1818-ban Sárísápon is talált munkáslakásokat.

### *Felügyelő személyzet*

A vázolt munkaviszonyok mellett szükség volt külföldi vezetőkre, de találunk más bányászati ágakból áttanult honi vezetőket is. A brennbergi bányát — mint tudjuk — 1770-ben *Mayer Mihály* götweigi bányász vezette. *Berks* is osztrák származású volt. Az ismert magyar származású vezetők nevei is idegen hangzásúak. *Bayer István* és *Schneider Vencel* kénkovand bányászok voltak, mielőtt kőszénbányászattal kezdtek foglalkozni. Érdemesnek tartjuk megemlíteni, hogy *Berks* 1780-ban 1000 forint fizetést, 200 forint lakbért és 24 forint rajzeszközhez való hozzájárulást kapott. A fizetést természetbeni szolgáltatások egészítették ki. *Berksnek* egy évre 60 mázsa szén, némi fa, gabona és bor járt.

### Felvilágosító munka a szén használata érdekében

#### *Hatóságok és magánosok tevékenysége*

Az Erdélyi Földművelő Egyesület 1769-ben tartott ülésén bemutatták, hogyan kell turfával tüzelni, de a nedves anyaggal nem igen boldogultak. Az Egyesület 1770-ben megbízta *Filtsch Dániel* nagyszebeni evangélikus lelkészt,

hogy írjon népszerű ismertetést a kőszén használatáról. Az 1771-ben tartott nagygyűlésen *Frivaldssky János* jezsuita atya téglá- és golyóalakra formázott turfát mutatott be, amely jól égett és kielégítő meleget adott. Az Egyesület őt is felkérte egy népszerű ismertetés megírására, amely magyar és német nyelven jelent volna meg. 1770-ben az Erdélyi Kancellária az Egyesület révén akarta elérni, hogy azokon a vidékeken, ahol kőszén van, a lakosság azzal igyekezzék tüzelni. A leirat azzal is érvelt, hogy az osztrák örökös tartományokban már nemcsak ipari, hanem házitüzelési célokra is használtak kőszént.

Az 1782. évi összeírás kellően érzékelteti, hogy milyen nehéz volt a lakosság érdeklődését a kőszén használata iránt felkelteni. Az összeírásra az adott okot, hogy ámbár sokan tettek már javaslatot és több kísérlet is történt, hogyan lehetne a Monarchiában a kőszén használatát általánosabbá tenni, a javaslatok és kísérletek nem vezettek eredményre. Az összeírást kezdeményező udvari kamara a Monarchia politikai és katonai hatóságainak bevonásával meg akarta állapítani, hogy hol található a Monarchiában turfa, kőszén vagy lúp, hogyan és milyen célokra használják ezeket a tüzelőanyagokat, milyen használnál jár ezeknek az anyagoknak a bányászata a montanisztikumra és a közönségre és végül, milyen eredményeket lehet a kőszén-, illetve turfatermelés terén az üzemek tökéletesítése révén elérni. Ismerni akarta a kamara a szének minőségét is, mely célból mintákat kért. Jelenteni kellett továbbá azokat a magán- és hivatalos személyeket is, akik a kőszén népszerűsítése körül eredményesen munkálkodtak. A kamara a beérkezett adatokból leszűrt tapasztalatok alapján készült nyomtatványok útján oktatni akarta a közönséget, hogyan lehet kőszén- és turfatelepeket felkutatni, bányákat létesíteni és azokat gazdaságosan üzemben tartani. A nyomtatványoknak kellett volna a közönségnek a kőszén használatával szemben való előítéletét eloszlatniok, a gyakorlati életből vett példák segítségével és azoknak az uradalmaknak felsorolásával, amelyek a rendelet kiadásakor már szénét használtak. Utasítást tartalmazott volna a röplap arról is, hogy különböző célokra minő arányban kell a szénét a fával keverni.

A beérkezett 94 jelentésből 73 nemleges volt. általában azonos válasszal: nem bányásznak és nem használnak szénét. Pozsony és Szabolcs megyékben egyáltalán nem ismerték a szénét, s ahol volt széntelep, nem tudtak vele mit elkezdni. Idézzük példaként *Serfel Sámuel*. Lőcse város bírójának jelentését: »... a város területén bitumenes föld, amelyből szénét lehet égetni, tekintélyes mennyiségben található. Azonban ebből sem a közre, sem a magánosokra haszon nem származik, mert nincs itt senki, aki ezt a földet úgy elő tudná készíteni, hogy azt a rendelet óhajításának megfelelőleg használni lehessen és ne árrasszon az egészségre ártalmas bűzt.« Az igenlő bejelentések is olyan kevesetmondók voltak, hogy a kamara eredeti tervétől elállt és mindössze azt igyekezett a köztudatba belevinni, hogy mire lehet a szénét egyszerűbb módon felhasználni. — pl. kenyérsütéshez, kovácsműhelyekben — és milyen arányban lehet a szénét fával keverni. Egy 1788-ban kiadott körrendelet közölte is a keverési arányt.

1796-ban a helytartótanács az összes hatóságokkal közölte a magas rendelkezést, hogy a kőszén használatának terjesztése érdekében a szállítás a Monarchiában három éven át királyi vámoktól mentesen történhetik, csupán a magánosoknak járó vámokat kell megfizetni.

1800-ban a helytartótanács a nádor rendeletére a pécsváradai kőszén használatát igyekezett megszervezni, mert a fahiány nyilvánvaló volt.

Egy 1806-ban kiadott rendelkezés szerint a fával való takarékoskodás céljából a katonai épületekben a tűzhelyeket és kályhákat takarékosági berendezéssel kellett ellátni. A tapasztalat azt mutatta, hogy a berendezés költsége fával való tüzeléssel két év alatt, kőszénmel való tüzeléssel egy év alatt térült meg. A kőszénbeszerzés megkönnyítése érdekében a katonai hatóságok kötelesek voltak a bányahatóságokkal állandó érintkezést fenntartani. A budai katonai raktár 1821-től kezdve az esztergomi medence állandó vevői között volt.

1810-ben a helytartótanács minden hatóságnak előírta, hogy a fogyóban lévő fa helyett turfát és kőszénmel kell használni. A brennbergi, a pécsváradi és a steierdorf-bánati kőszénbányászati fejlesztését a kincstár kezdte meg.

\*

A kőszén használatának első arcélbeli harcosai azonban nemcsak a hatóságok voltak, hanem azok a tudósok, orvosok, egyházi férfiak, mérnökök, tanácsurak, szolgabírók, vállalkozók, kézművesek és egy-egy falusi bírósági is, akik a Kárpátoktól az Adriáig küzdöttek az új tüzelőanyag bevezetése érdekében. Úttörő munkájuk technikai szempontból sokszor kezdetleges volt, de értékében mindig jelentős. Idézzük *Sanderspiel* szavait: »...welche Nutzbarkeit auf einmal nicht abzunehmen, sondern successive die Art und die Gewohnheit eingeführt werden müsse bis der Landesmann den Gebrauch und Geruch angewöhne...« Munkásságuk értékét növeli a közérdeknek az az igaz szolgálata, amely — az elért eredményektől függetlenül — összekapcsolja a legkülönbözőbb foglalkozású úttörőket s amely szellemtől áthatva írta *Jacquin* 1768-ban, amikor az első kokszolási kísérletet végezte magyar szénmel: »...dass daraus dem Publico ein Nutzen entstünde...«

### *Kőszénbányászatunk irodalma*

Egy jezsuita atya, *Frivaldszky János*, akinek latinnyelvű *Mineralógia*-ja (1767) Erdély szénkincseit is ismerteti, nyitotta meg hosszú sorát azoknak az íróknak, akik 1759 után kőszéneinkkel és azok bányászatával foglalkoztak. *Dr. Born Ignác*, a pénz- és bányaiügyi kamara tanácsosa, a magyar geológiai tudomány ősatyja, a Néra völgyében lévő szénletelepekről emlékezett meg (1774). *Johann Ehrenreich von Fichtelnek* is köszönhetjük néhány szénletelep említését (1780). *Klein Mihály* nevét már ismerjük. Az *Almanach von Ungarn*-ban 1773-ban megjelent cikk szerint Rohnitzon, Vácott, Neudorfban és Lehotkán bányásztak Magyarországon kőszénmel. *B. F. Hermann* »Abriss der physicalischen Beschaffenheit der österreichischen Staaten« (Szt. Pétervár, 1782) a barsi és honti szénletelepekről emlékezik meg.

*Benkő Ferenc* 1784-ben lefordította magyarra *Abraham Gottlieb Werner*, freiburgi bányász-akadémiai tanárnak, aki a geológiát tudományá avatta. Göttingában 1782-ben megjelent ásványtanát, amelyet »a két Magyar Hazabeli példával megbővített«. A könyv szerint Magyarországon »Égő Materiát« lehet találni a vulkáni passzuson Hátszeg vidékén. Dánfalván, Csikban, Oláhköblösön és Súlyomtelkén. Kolosban — csupa erdélyi lelőhely. 1786-ban megírta az első önálló magyar ásványtant, amelyet 1791-ben *Zay Domokos* ugyancsak magyarnyelvű ásványtana követett.

1792-ben *Filtsch Dániel*, nagyszabású evangélikus lelkész, az Erdélyben felfedezett kőszénletelepek gazdasági jelentőségéről értekezett. *Sándor István* »Sokféle« című kiadványa (1791—1801) kőszénről is hozott ismertetést. *Berzeviczy Gergely* »De Comercio et Industria Hungariae« című műve felsorolja, hol található hazánkban kőszén. A »Magazin für Geografie« című lap »Neuer Kanal von Wien nach Raab und der damit verbundene Stein Kohlen Entreprise im Jahre 1796.« című cikke a *Maillard* által tervezett csatornát ismertette. 1793-ban jelent meg Londonban *Robert Townson*-nak, aki 1793-ban utazott Magyarországon, »Travels in Hungary« című munkája, amelyben megemlékezett a brennbergi szénbányáról és megjelölte helyét a könyvhöz csatolt színes geológiai térképen. 1798-ban a dán mineralógus *Jens Esmark* számolt be Magyarországon 1794-ben tett utazásáról és emlékezett meg a selmebányai, steierdorfi, dományi és karlstadi szénletelepekről és az Almáson folyó szénbányászatról. Ugyanebben az évben jelent meg *Martin Schwartner* statisztikája, amely adatokat tartalmaz kőszénbányászatunkról is. 1798-ban a Magyar Mercurius leírta a Mecek szénletelepeinek meggyulladását. *Carl Gottlieb*

*Windisch* és *Johann Mathias Korabinsky* művei ugyancsak közlik a magyarországi szénelőfordulásokat.

A 19. században meg kell emlékeznünk a két *Schönbauerről*: *József Antalról*, a pesti egyetem tanáráról és fiáról, *Vincéről*, *Bredetzky Sámuel* superintendensnek köszönhetjük a brennbergi bányászat részletes ismertetését (1802). *Skolka András* 1803-ban a »Zeitschrift vor und für Ungarn«-ban ismertette a mezőberényi turfaelőfordulást. Ugyanebben a folyóiratban *Berzevicy* leírta a magyarországi turfatelepeket. *Ehrenberg Freiherr von Moll* kiadásában megjelent »Annalen der Berg- und Hüttenkunde« című folyóiratról ismerjük meg a Brennbergben kialakult fejtési rendszert. A század elején *Kitabel Pál* a Mecsekben tett utazása során látott kőszénbányákat is leírta.

A »Vaterländische Blätter für den Österreichischen Kaiserstaat« (1808–1820) Szepes megyében található kőszén- és turfatelepekről, egy másik cikk Magyarország kőszénbányáiról értekezett. *Tanárky* könyvét (1814) már említettük. *Dr. Haberle Károly Konstantin*, a pesti egyetem botanikatanára »Beschreibung einer neuen Braunkohlengattung« cím alatt a sárisápi széntelepeket ismerteti. 1814-ben *Marcel de Serres* »Voyage dans l'Empire d'Autriche« szerint Magyarország nagyon szegénynek látszik kőszéntelepekben. 1818-ban jelent meg *Richard Bright* könyve Edinburghban »Travels from Vienna through Lower Hungary« címmel, amelyben adatokat találunk a brennbergi szénbányáról is. Az 1817. évnek köszönhetjük *Zipser* könyvét, amely ugyancsak felsorolja a nevezetesebb magyar széntelepeket. Említettük már *Magda Pál* nevét is. *C. Jordan*: »Die erleichterte Steinkohlensuchung etc.« című könyve (Wien, 1816) főleg a Brennberg körüli bányaművekkel foglalkozik.

1822-ben jelent meg *Kovács Mihály* orvosdoktor, egyetemi tanár könyve: »Lexicon Mineralogicum Triglottum Etymologicum latino-magyarico-germanicum« címmel. Az első rész az ásványok magyar- és németnyelvű megnevezése mellett azok leírását adja latin nyelven, míg a második résznek »Első szöfejtő Magyar Latin Ásványtár« a címe és egy magyar-, latin-, német-, francia-, olasz-, orosz-, svéd- és dánnyelvű ásványtani szótár. Az előszó felsorolja mindazokat a magyar és külföldi írókat (*Benkő Ferenc*, *Zay Domokos dr.*, *Franz Ambros Reuss*, *Mitterpacher Lajos* [1799], *Johann Georg Lenz* és *Wolny Ádám* [1804]), akik előtte szolgálták a magyar ásványtan ügyét. A kőszénre 16 kifejezést találunk a szótárban. *Jónás József* nevét sem hagyhatjuk megemlíttlenül.

A korszakot méltóan fejezi be *François Sulpice Beudant*, a párisi királyi ásványtani intézet aligazgatójának Párisban 1822-ben megjelent »Voyage minéralogique en Hongrie pendant l'année 1818« című műve. *Beudant* hazánk geológiai viszonyait olyan részletesen tárgyalta, mint előtte senki és ezért műve alapvető fontosságú. Könyvében részletesen leírja a sárisápi, vasasi és brennbergi széntelepek geológiai viszonyait is. A könyvet színes geológiai metszetek és Magyarország geológiai térképe egészítik ki.

*Kitabel Pál*, valamint a keszthelyi *Georgicon* ásványtani gyűjteményében már számos szénleletet találunk. A Magyar Nemzeti Múzeum ásványtani gyűjteménye 1822-ben 399 szénmintát tartalmazott, amelyek Bars-, Baranya-, Esztergom, Kolozs, Komárom, Nógrád, Nyitra, Krassó, Sopron, Pest-, Szepes, Szerém, Tolna, Ung, Varasd, Zágráb, Zemplén, Turóc, Trencsén megyékből és a katonai határvidékről származtak.





# ADALÉKOK A RUGALMAS KÖRHENGERHÉJ ELMÉLETÉHEZ

CSONKA PÁL

a műszaki tudományok doktora

[Beérkezett 1952. szeptember 8-án]

## Bevetés

A hajlításra igénybevett állandó vastagságú körhengerhéj problémájának megoldására *F. Dischinger* [1] olyan eljárást vezetett be, mely három nyolcadrendű szimultán parciális differenciálegyenlet integrálását teszi szükségessé. Ezen eljárással szemben *A. Aas Jacobsen* [2] iterációs oly eljárást dolgozott ki, mely három differenciálegyenlet helyett csak egyetlen egy nyolcadrendű parciális differenciálegyenlet integrálását kívánja. *A. Aas Jacobsen* ezen eljárása a klaszikus módszerrel szemben lényeges egyszerűsítést jelent ugyan, de eredményei az iteráció fokától függően csak közelítő pontosságúak.

Az alábbiakban bemutatjuk, hogy a szóbanforgó feladat az *A. Aas Jacobsen*-féle eljárás előnyeinek megtartása mellett zárt alakú, egyszerű képletekkel pontosan is megoldható. Ezzel az *Aas Jacobsen*-féle iteráció mellőzhető, ami a számítást egyszerűbbé és áttekinthetőbbé teszi.

## A feladat alapegyenletei

Feltesszük, hogy a vizsgált körhengerhéj falvastagsága állandó s a középfelület görbületi sugarához viszonyítva kisértékű. Feltesszük továbbá, hogy a héj anyaga homogén, izotróp, rugalmassági tényezője állandó, Poisson-féle tényezője pedig végtelen nagy. Vizsgálatainkat az alakváltozás kezdő szakaszára, tehát végtelen kis alakváltozások esetére korlátozzuk.

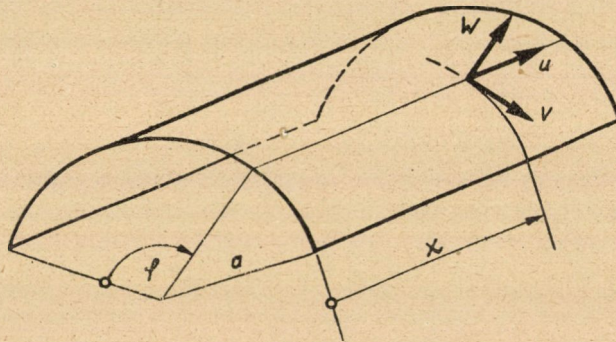
A héj alakjának, anyagi tulajdonságainak, feszültségi és alakváltozási viszonyainak, elmozdulási adatainak, továbbá a héjra ható külső erőknek jellemzésére a *K. Girkmann* [3] használta betűjeleket alkalmazzuk. Megállapodunk egyúttal abban is, hogy képleteink egyszerűbbé tétele végett az alkotó irányban vett differenciálásokat vesszőkkel, az ívirányú differenciálásokat pedig pontokkal jelöljük, mégpedig a következő értelemben :

$$f' \left( \frac{x}{a}, \varphi \right) \equiv -\frac{\partial f}{\partial \left( \frac{x}{a} \right)}, \quad f \left( \frac{x}{a}, \varphi \right) \equiv \frac{\partial f}{\partial \varphi}.$$

E jelölésekkel a körhengerháj *W. Flügge*-féle [4] differenciálegyenletei ekként írhatók:

$$\begin{aligned} 2u'' + (1+k)u'' + v'' + k(w'' - 2w''') + \frac{Xa^2}{D} &= 0, \\ u' + (1+3k)v'' + 2v'' + 2w' - 3kw'' + \frac{Ya^2}{D} &= 0, \\ k(u'' - 2u''') + 2v' - 3kv'' + 2w + \\ + 2k(w + 2w'' + w'''' + 2w''') + w'' &+ \frac{Za^2}{D} = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

A hégprobléma tárgyalását két lépésben szokás elvégezni. Először az (1) jelű *inhomogén alapegyenletek* egy partikuláris megoldását szokás megkeresni.



1. ábra

Ez a megoldás általában nem felel meg a feladat kezdeti feltételeinek. Ezért a számítás második lépéseként az említett partikuláris megoldást ki szokás egészíteni a terhelési tagok elhagyásával kapott ú. n. *homogén alapegyenletek* egy alkalmas oly megoldásával, mely a kezdeti feltételekhez való alkalmazkodást lehetővé teszi. Ehhez természetesen ismernünk kell a homogén alapegyenleteknek vagyis a

$$\begin{aligned} 2u'' + (1+k)u'' + v'' + k(w'' - 2w''') &= 0, \\ u' + (1+3k)v'' + 2v'' + 2w' - 3kw'' &= 0, \\ k(u'' - 2u''') + 2v' - 3kv'' + 2w + \\ + 2k(w + 2w'' + w'''' + 2w''') &+ w'' = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

egyenletrendszernek általános megoldását.

A homogén alapegyenletek bonyolult szerkezete a feladat adottságainak megfelelő megoldásrendszer megkeresését még igen egyszerű kezdeti feltételek esetén is rendkívül nehézkesé teszi. Lényegesen egyszerűbbé válnék azonban a feladat, ha sikerülne az  $u, v, w$  elmozdulásalkotókat, valamint a kezdeti feltéte-

leket valamely közös  $F, (x, \varphi)$  függvénnyel — feszültségfüggvénnyel — kifejezni. A következőkben be fogjuk mutatni, hogy ez az út járható, s aránylag egyszerű eredményre vezet.

### A feladat feszültségfüggvénye

Az elmozdulási függvények közt meglévő kapcsolat kiderítéséhez értékes támpontot nyújtanak A. Aas Jacobsen iterációs eljárásának K. Girkmann is közölte közelítő képletei. E képletek szerint

$$w = W(\varphi) \sin \lambda \frac{x}{a} \quad (3)$$

alakú elmozdulásfüggvény esetében az  $u$  és  $v$  elmozdulásalkotók közelítően a következőképpen fejezhetők ki:

$$\begin{aligned} u &= \frac{k}{\lambda^4} [-\lambda W^{(4)} + 2(-\lambda + \lambda^3) W^{(3)} + (-\lambda + 2\lambda^3 - \lambda^5) W^{(2)} + \lambda^5 W] \cos \lambda \frac{x}{a}, \\ v &= \frac{k}{\lambda^4} [W^{(4)} + 2(1 - 2\lambda^2) W^{(3)} + (1 - 6\lambda^2 + 5\lambda^4) W^{(2)} + \\ &\quad + (-2\lambda^2 + 2\lambda^4 - 2\lambda^6) W^{(1)}] \sin \lambda \frac{x}{a}. \end{aligned} \quad (4)$$

E képletek érvényességének feltétele, hogy a bennök előforduló  $W(\varphi)$  függvényre nézve

$$\begin{aligned} W^{(4)} + (2 - 4\lambda^2) W^{(3)} + (1 - 6\lambda^2 + 6\lambda^4) W^{(2)} + (-2\lambda^2 + 4\lambda^4 - 4\lambda^6) W^{(1)} + \\ + \left( \frac{\lambda^4}{k} + \lambda^8 \right) W = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

legyen. Ez esetben is azonban a (3) és (4) képletekkel megadott  $u, v, w$  elmozdulásértékek csak több-kevesebb hibával felelhetnek meg a (2) alapegyenletnek, hiszen az (5) differenciálegyenlet a (2) egyenletrendszer karakterisztikus egyenletével csak közelítően egyezik.

Az alábbiakban megkíséreljük A. Aas Jacobsen közelítő képleteit olymódon korigálni, hogy a (2) differenciálegyenletekkel, illetve ezen egyenletrendszer karakterisztikus egyenletével szemben mutatkozó eltérés teljesen eltűnjék. Évéggett próbaképpen az A. Aas Jacobsen-féle képletek helyett a következő általánosabb képletekből indulunk ki:

$$\begin{aligned} u &= \frac{k}{\lambda^4} [a_6 W^{(6)} + a_4 W^{(4)} + a_2 W^{(2)} + a_0 W] \cos \lambda \frac{x}{a}, \\ v &= \frac{k}{\lambda^4} [b_7 W^{(7)} + b_5 W^{(5)} + b_3 W^{(3)} + b_1 W] \sin \lambda \frac{x}{a}, \\ w &= \frac{k}{\lambda^4} [c_4 W^{(4)} + c_2 W^{(2)} + c_0 W] \sin \lambda \frac{x}{a}. \end{aligned} \quad (6)$$

Itt a különféle  $a, b$  és  $c$  értékek a későbbiekben meghatározandó együtthatókat

jelentenek. Minthogy az alapegyenletek homogének, az említett együtthatók egyike, például  $c_0$  szabadon választható. Legyen például

$$c_0 = \binom{1}{k} + 3 \lambda^4.$$

A többi együttható meghatározására helyettesítsük be az elmozdulásalkotók (6) alatti értékeit a (2) differenciálegyenletekbe. Ily módon három egyenletet kapunk. Közülük az első egyenlet szerint

$$\begin{aligned} & [-2\lambda^2 a_0 + 2k\lambda^3 c_0] W' + \\ & + [-2\lambda^2 a_2 + (1+k) a_0 + \lambda b_1 + 2k\lambda^3 c_2 + k\lambda c_0] W'' + \\ & + [-2\lambda^2 a_4 + (1+k) a_2 + \lambda b_3 + 2k\lambda^3 c_4 + k\lambda c_2] W''' + \\ & + [-2\lambda^2 a_6 + (1+k) a_4 + \lambda b_5 + k\lambda c_4] W'''' + \\ & + [ + (1+k) a_6 + \lambda b_7 ] W'''' = 0. \end{aligned} \quad (7)$$

A második egyenlet azt követeli, hogy

$$\begin{aligned} & [-\lambda a_0 - (1+3k) \lambda^2 b_1 + (2+3k\lambda^2) c_0] W' + \\ & + [-\lambda a_2 - (1+3k) \lambda^2 b_3 + 2b_1 + (2+3k\lambda^2) c_2] W'' + \\ & + [-\lambda a_4 - (1+3k) \lambda^2 b_5 + 2b_3 + (2+3k\lambda^2) c_4] W''' + \\ & + [-\lambda a_6 - (1+3k) \lambda^2 b_7 + 2b_5] W'''' + \\ & + [ + 2b_7 ] W'''' = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

legyen, a harmadik egyenlet pedig a következő feltételt írja elő:

$$\begin{aligned} & [2k\lambda^3 a_0 + 2(1+k+k\lambda^4) c_0] W' + \\ & + [2k\lambda^3 a_2 + k\lambda a_0 + (2+3k\lambda^2) b_1 + 2(1+k+k\lambda^4) c_2 + 4k(1-\lambda^2) c_0] W'' + \\ & + [2k\lambda^3 a_4 + k\lambda a_2 + (2+3k\lambda^2) b_3 + 2(1+k+k\lambda^4) c_4 + 4k(1-\lambda^2) c_2 + 2kc_0] W''' + \\ & + [2k\lambda^3 a_6 + k\lambda a_4 + (2+3k\lambda^2) b_5 + 4k(1-\lambda^2) c_4 + 2kc_2] W'''' + \\ & + [ + k\lambda a_6 + (2+3k\lambda^2) b_7 + 2kc_4] W'''' = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

A fenti egyenletek közül az első bármely  $W$  függvény esetén teljesül, ha ezen egyenlet szögletes zárójeles kifejezései rendre zérus értékűek. Ez a követelmény az ismeretlen együtthatók meghatározására 5 egyenletet ad. Az együtthatók megállapításához további 5 egyenletet kapunk, ha a (8), illetve (9) egyenletben a szögletes zárójeles kifejezések közül az elsőt az elsővel, a másodikat a másodikkal, és így tovább, egyenlővé tesszük. Így összesen 10 egyenletet kapunk, s ezekből a még ismeretlen 10 együtthatót kiszámíthatjuk. A számítás eredménye:



$$\begin{aligned}
 a_0 &= & + (-1 + 3k) \lambda^5, \\
 a_2 &= (-1) \lambda + (2 + 1,5k) \lambda^3 + (-1 + 3k) \lambda^5, \\
 a_4 &= (-2) \lambda + (2 + 1,5k) \lambda^3, \\
 a_6 &= (-1) \lambda, \\
 b_1 &= & + (-2) \lambda^2 + (2) \lambda^4 + (-2 + 2k) \lambda^6, \\
 b_3 &= (1 + k) \lambda^0 + (-6 - 1,5k) \lambda^2 + (5 + 3k) \lambda^4, \\
 b_5 &= (2 + 2k) \lambda^0 + (-4 - 1,5k) \lambda^2, \\
 b_7 &= (1 + k) \lambda^0,
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 c_0 &= & + (1k + 3) \lambda^4, \\
 c_2 &= & + (-2 - 1,5k) \lambda^2 + (2) \lambda^4, \\
 c_4 &= & + (-2 - 1,5k) \lambda^2.
 \end{aligned}$$

Ha az együtthatók ezen értékeit a (8) és (9) egyenletbe behelyettesítjük, nyilvánvaló, hogy e két egyenlet teljességének közös előfeltétele, hogy

$$\begin{aligned}
 & (1 + k) W^{(6)} + [2(1 + k) - (4 + 3,5k + 1,5k^2) \lambda^2] W^{(4)} + \\
 & + [(1 + k) - 2(4 + 3,5k + 1,5k^2) \lambda^2 + 6(1 + k) \lambda^4] W^{(2)} + \\
 & + [-(4 + 3,5k + 1,5k^2) \lambda^2 + 6(1 + k) \lambda^4 - (4 + 5,5k + 4,5k^2) \lambda^6] W + \\
 & + [(1k + 4 + 3k) \lambda^4 + (1 + 2k - 3k^2) \lambda^8] W = 0.
 \end{aligned} \tag{11}$$

legyen. Minden olyan  $W$  függvényhez, mely e differenciálegyenletnek eleget tesz, oly elmozdulásértékek tartoznak, melyek a (2) alapegyenleteknek pontosan megfelelnek; e tényről behelyettesítéssel lehet meggyőződni. A (11) differenciálegyenlet a (2) egyenletrendszer karakterisztikus egyenletével pontosan megegyezik.

### Általánosítás

Kézenfekvő a gondolat, hogy a

$$w = W(q) \sin \lambda \frac{x}{a}$$

alakú függvényekre imént talált megoldást egyéb szerkezetű függvényekre is általánosítsuk. Ennek semmi akadálya sincs, ha az együtthatók (10) alatti képleteiben előforduló  $\lambda$  értékeket a

$$\sin \lambda \frac{x}{a}$$

függvény  $x/a$  szerinti differenciálásából származó tényezőknek tekintjük. A  $\lambda$  értékek hatványkitevője a differenciálás rendszámát is kifejezi. Mindezek figyelembevételével a keresett általánosított megoldás közvetlenül felírható:



$$\begin{aligned} \bar{q}_x &= \frac{kD}{2a} [-2u'' + u''' - 3v' + 2w''' + 4w''], \\ \bar{n}_{x\varphi} &= \frac{D}{2a} [u + v' + 3k(v' - w')], \\ \bar{q}_\varphi &= \frac{kD}{2a} [u' - 3v'' + 2w' + 2w''' + 4w'']. \end{aligned} \quad (15)$$

Az alakváltozási jellemzők értékei pedig ekként fejezhetők ki:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{a} u', & \varepsilon_\varphi &= \frac{1}{a} (v' + w), & \gamma_{x\varphi} &= \frac{1}{a} (u' + v'), \\ \varkappa_x &= \frac{1}{a^2} w'', & \varkappa_\varphi &= \frac{1}{a^2} (w'' - v), & \varkappa_{x\varphi} &= \frac{1}{a^2} (w'). \end{aligned} \quad (16)$$

Végül a héjelemnek a középfelület normálisa körül végbemenő szögforgása

$$\omega = \frac{1}{2a} (u - v). \quad (17)$$

Ha ezeket a képleteket az elmozdulásalkotók (12) alatti értékeit betesszük, a kezdeti feltételek szempontjából szóba jövő minden adatot az  $F(x, \varphi)$  feszültségfüggvénnyel fejeztünk ki. Ezzel kitűzött feladatunkat teljesen megoldottuk.

#### Közelítő képletek

Az előző képletekben előforduló

$$k = \frac{\delta^2}{12a^2}$$

tényező értéke a gyakorlat szempontjából szóba jövő esetekben az egységhez képest igen kicsiny:

$$10^{-6} < k < 10^{-4}.$$

Ez a körülmény feljogosít arra, hogy képleteinkben a  $k$  értéket az első, illetve második hatványon tartalmazó tagokat elhagyjuk. Így az elmozdulásalkotókra a következő közelítő képleteket kapjuk:

$$\begin{aligned} u &= - F'''' - 2 F'''' - F'''' + F'''' - 2 F'''' - 2 F'''' - F''', \\ v &= 2 F'''' + 5 F'''' + 4 F'''' + F'''' + \\ &+ 2 F'''' + 6 F'''' + 2 F'''' + 2 F'''' + F''', \\ w &= 2 F'''' + 2 F'''' + (1/k + 3) F'''' + 2 F''''. \end{aligned} \quad (18)$$

Ugyanekkor az  $F(x, \varphi)$  feszültségfüggvény differenciálegyenlete ekként alakul:

$$\begin{aligned} F'''' + 4 F'''' + 6 F'''' + 4 F'''' + F'''' + \\ + 6 F'''' + 8 F'''' + 2 F'''' + \\ + (1/k + 4) F'''' + 4 F'''' + F'''' = 0. \end{aligned} \quad (19)$$

Például

$$F' = \frac{k}{\lambda^4} W \sin \lambda \frac{x}{a} \quad (20)$$

feszültségfüggvény esetén az elmozdulásalkotók :

$$\begin{aligned} u &= \frac{k}{\lambda^4} [-W'::\lambda + 2W'::(-\lambda + \lambda^3) + \\ &\quad + W'::(-\lambda + 2\lambda^3 - \lambda^5) - W\lambda^5] \cos \lambda \frac{x}{a} \\ v &= \frac{k}{\lambda^4} [W':: + 2W'::(1 - 2\lambda^2) + W'::(1 - 6\lambda^2 + 5\lambda^4) + \\ &\quad + 2W'::(-\lambda^2 + \lambda^4 - \lambda^6)] \sin \lambda \frac{x}{a}, \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} w &= \frac{k}{\lambda^4} [-2W'::\lambda^2 + 2W'::(-\lambda^2 + \lambda^4) + (1/k + 3)W\lambda^4] \sin \lambda \frac{x}{a} = \\ &= [-2kW'::\lambda^{-2} + 2kW'::(-\lambda^{-2} + 1) + (1 + 3k)W] \sin \lambda \frac{x}{a}, \end{aligned}$$

a feszültségfüggvény differenciálegyenlete pedig :

$$\begin{aligned} W':: + W'::(2 - 4\lambda^2) + W'::(1 - 8\lambda^2 + 6\lambda^4) + \\ + W'::(-4\lambda^2 + 6\lambda^4 - 4\lambda^6) + W'(4\lambda^4 + \lambda^8) + \frac{1}{k}W = 0. \end{aligned} \quad (22)$$

Ezek a képletek az A. Aas Jacobsen-féle közelítő képletek javított változatai.

#### IRODALOM

- [1.] *Dischinger, F.*: Die strenge Theorie der Kreiszyinderschale in ihrer Anwendung auf die Zeiss-Dywidag-Schalen. *Beton und Eisen* 34 (1935), p. 257, 283.  
 [2.] *Jacobsen, A. Aas*: Über das Randstörungsproblem an Kreiszyinderschalen. *Der Bauingenieur* 20 (1939), p. 394.  
 [3.] *Girkmann, K.*: Flächentragwerke. Einführung in die Elastostatik der Scheiben, Platten, Schalen und Falwerke. Aufl. 2., Wien 1948, Springer Verlag, p. 393—405.  
 [4.] *Flügge, W.*: Statik und Dynamik der Schalen. Berlin 1934, Verlag von Julius Springer, p. 118.  
 [5.] *S. Eggwertz*: Theory of Elasticity for Thin Circular Cylindrical Shells. *Transactions of the Royal Institute of Technology, Stockholm* (1947), Nr. 9.

#### Összefoglalás

A hajlításra igénybevett állandó vastagságú körhengerhéj problémája az *A. Aas Jacobsen* bevezette iterációs eljárás közelítő képletei helyett pontos zárt képletekkel is tárgyalható. Szerző a feladat megoldására a  $F(x, q)$  feszültségfüggvényt vezeti be, s az elmozdulás alkotókat, valamint a feszültségi és alakváltozási jellemzőket ezzel a függvénnyel fejezi ki. A feszültségfüggvény a (13) differenciálegyenletnek tartozik megfelelni. Ez a differenciálegyenlet a (2) jelű homogén alapegyenletek karakterisztikus függvényével egyezik.

A közölt pontos megoldás birtokában egyszerű oly közelítő képletek vezethetők le, melyek az Aas Jacobsen-féle képleteknél pontosabbak.

A bemutatott új eljárás az Aas Jacobsen-féle iterációt feleslegessé teszi.

# BRENNBERGBÁNYA RÉGI TÉRKÉPEI

FALLER JENŐ

[Beérkezett 1952. szeptember 19-én]

A Sopronhoz tartozó óbrennbergi völgyben ma már csak néhány régi ház s azóta sűrű hozóttal benőtt szakadás jelzi, hogy ott ringott két évszázad előtt a magyar szénbányászat bölcsője, mely följegyzéseink szerint az 1750-es években — ellenőrizhetetlen hagyományok szerint 1753-ban — vette kezdetét a »*Brennender Berg*«-nek nevezett helyen, melytől a bányászat később nevét is kapta [1].

Két évszázad távolából a fennmaradt és elmosódott külszíni nyomok alapján természetesen ma már lehetetlen lenne e bányászatot rekonstruálni. Szerencsés módon, a *Soproni Közlevéltár* Brennbergbányára vonatkozó gazdag írásos anyagában sikerült néhány, a bányászat első idejéből származó rajzra s térképre bukkannom [2], melyek lehetővé teszik, hogy hazánk eme első szénbányájának fejlődését, csaknem születésétől kezdődően, pontos műszaki rajzok és térképek alapján nyomon követhetjük. E munkák kisebbik része az 1790-es évekből, vagyis abból az időből való, amikor az első, szakemberekkel irányított bányászkodás veszi kezdetét Brennbergen s így azok nemcsak régiségük-nél, de műszaki értékük-nél fogva is legbecsesebb és legértékesebb dokumentumai hazai szénbányászatunk kezdeti idejének. De fontosak e térképek oly szempontból is, hogy azok tökéletesen kiegészítik a bánya történetének okleveles anyagát s azok nyomán lépésről-lépésre követhetjük a bánya életét, fejlődését és műszaki felkészültségét oly időpontban, melyből szénbányászatunknak úgyszólván még írásos emléke sincs.

Tudjuk ugyanis, hogy — nem szólva az ezt megelőző kisebb-nagyobb, hol hosszabb, hol rövidebb ideig tartó kísérletezésekről, — a brennbergi bányászat csak 1793-ban indul nagyobb lendületnek, amikor egy bécsújhelyi pénzcsoport, — mely tulajdonképpen már 1791-ben bérbevette 12 évre a bányászatot — Sopron városával új, örök időre (»auf unbestimmte Jahre«) szóló szerződést köt s komoly szakszerű munkába kezd [3].

A társaság tagjai eredetileg, Paul *Hussar* kereskedő, Markus *Engel*, a gróf Fries-féle selyemgyár igazgatója, Josef de *Roy*, cs. kir. százados, Bécsújhely polgármestere és Franz Johan *Maurer* bécsújhelyi városi tanácsos voltak, kikhez 1793-ban még Bernhard Edler von *Tschoffen* bécsi nagykereskedő,



Josef Reiter cs. kir. udvari agens és Franz Herbeck bécsi lakos társultak. Ezek a következő évben megalakították a »Wienerisch Neustädter Steinkohlengewerkschaft«-ot, tekintve, hogy akkor Ausztriában is több jelentős szénbányájuk volt, melyek szenét elsősorban tégláégetésre használták [4].

Felismerve a brennbergi szén jelentőségét, nagy lendülettel láttak munkához, de miután hamarosan meg kellett győződniök arról, hogy a szenet Sopronban és vidékén elhelyezni nem tudják, mert a városban s annak környékén még irtóztak a szén használatától [5], v. Tschoffen javaslatára úgy határoztak, hogy Schott-Wienből Wienbe, illetve egy elágazással Sopronból Wienbe hajózható csatornát építenek s a szenet leszállított áron s a legkisebb szállítási költséggel Wienbe viszik, mely ekkor már aránylag elég nagy szénfogyasztó volt.

Hogy ezt megtehessék, annak viszont az volt a feltétele, hogy a szenet a bányából nagy tömegben, olcsón Sopronba lehessen szállítani, mely célból azonnal, tehát még 1794-ben megkezdték Sopron-Bánfalváról, a »Brennender Berg«-re vezető út építését.

Ezzel kapcsolatban maradt ránk Ludvig Hainrathnak, a bányavállalat mérnökének eredetileg évszám nélküli, de minden kétséget kizáróan 1794. évből való, »PLAN über dem, von Wandorf aus gegen den Steinkohlen Bergbau neu zu führenden Wege ... durch L. Hainrath Ingenieur« feliratú, pompás kivitelű, színes térképe, (1. térkép), mely Sopron-Bánfalváról a »Brennender Berg«-re tervezett út érdekes vonalvezetését tünteti fel s mely kutatásaim szerint a legelső műszaki rajz, mely a brennbergi bányászattal kapcsolatban, említett levéltárban található. A bécsi öleekben készült 740 × 460 mm méretű eredeti térképen fekete vonal jelzi a régi s vörös a tervezett, új útvonalat s amellet felsorolja az úttal érintett földtulajdonosokat is [6]. A térképet L. Hainrath mérnök részletes s 1794. júl. 29-én készült költségvetése valamint kitűnő műszaki leírása egészíti ki [7], mely elmondja, hogy annak alapján az első útbejárás 1794. ápr. 14-én történt s ezen a tervező mérnökön kívül, Martony Bertalan tanácselő (Rathssenior) és Rach Xavér ellenőr vettek részt. A bizottság, mint olvassuk, gyalog ment végig a vonalon Bánfalvától egész a »szénviskóig«, (von Wandorf bis zur Kohlenhütten) miközben megállapította, hogy a tervezett út, — mely eredetileg egy régi erdei ösvény nyomán haladt — többször átmegy a patakon, hol eltávolodik és kitér a mezőkre, hol szorosan hozzásimul a hegy oldalához, olyannyira, hogy több helyen kell majd sziklát repeszteni. A hatoldalas műszaki leírás egyébként 21 pontba foglalva leírja a szükséges tennivalókat, név és terület szerint felsorolja az út vezetésében érdekeltet, kimutatja a kártalanítandó területeket, stb. Eszerint az út a bánfalvi zsellérházaktól (Kleinhäusler) 2690 öl hosszban jutott fel a »szénviskóig« s hétszer keresztezte a patakat, úgyhogy a részletes költségvetésben összesen hét híd költségéről van szó. Ezek közül a legnagyobbat 8 öl hosszúra tervezték s annak költségét Hainrath 204 Ft-ban számította. A két közepesnek mondott, 6 öl hosszú híd költségét viszont 340 s végül a négy kis 2-2 öl hosszú hídét 238 Ft-ban számította. A hét híd költsé-





gének előirányzata eszerint összesen 782 Ft volt, míg napszámra, fuvarra s építőanyagra (murva stb.) összesen 428 Ft, 38 kr-t számított, úgyhogy az út teljes költségét *Hainrath* 1210 Ft. 38 kr-ban adta meg. A térképről s a hozzátartozó leírásból egyébként megtudjuk, hogy a »*Brennender Berg*«-en ekkor már egy munkásbarak állt, (*Wohnung der Bergleute*) és a bérlők a brennbergi bányászat legkényesebb részéhez, az úthoz nyúltak, tekintve, hogy ez volt egyetlen biztosítéka a termelt szén értékesítésének. A meglévő, kis erdei ösvényen ugyanis lehetetlen volt nagyobb mennyiségű szenet szállítani, helyesen ismerték ezt fel a bérlők és kezdtek hozzá új út építéséhez.

A további levéltári feljegyzésekből azt is megtudjuk, hogy az út nem készült el abban az évben s annak munkálatai több évig tartottak, építését azonban azonnal megkezdték, hogy a szén elfuvarozását biztosítsák.

Ezzel egyidőben természetesen magánál az üzemnél is nagyobb tevékenység folyt, minek következtében a bányatársaság a köztük fennálló szerződés értelmében a várostól üzemfejlesztési célokra területeket igényelt.

Ezt az első területfoglalást az időrendben ezután következő, 1796-ból való »*Oberflächiger Abriss . . .*« feliratú 2. *térképvázlat* rögzíti, melynek ábrázolása részben még perspektivikus; *Pyrmons* Vilmos bányamester készítette az 1796. okt. 19-i műszaki bejárás alkalmából.

A 310 × 210 mm méretű, közönséges ívpapírra vetett vázlatos helyszínrajz érdekes képet nyújt a bánya akkori kezdetleges berendezéseiről, melyek a rajz szerint a következők voltak :

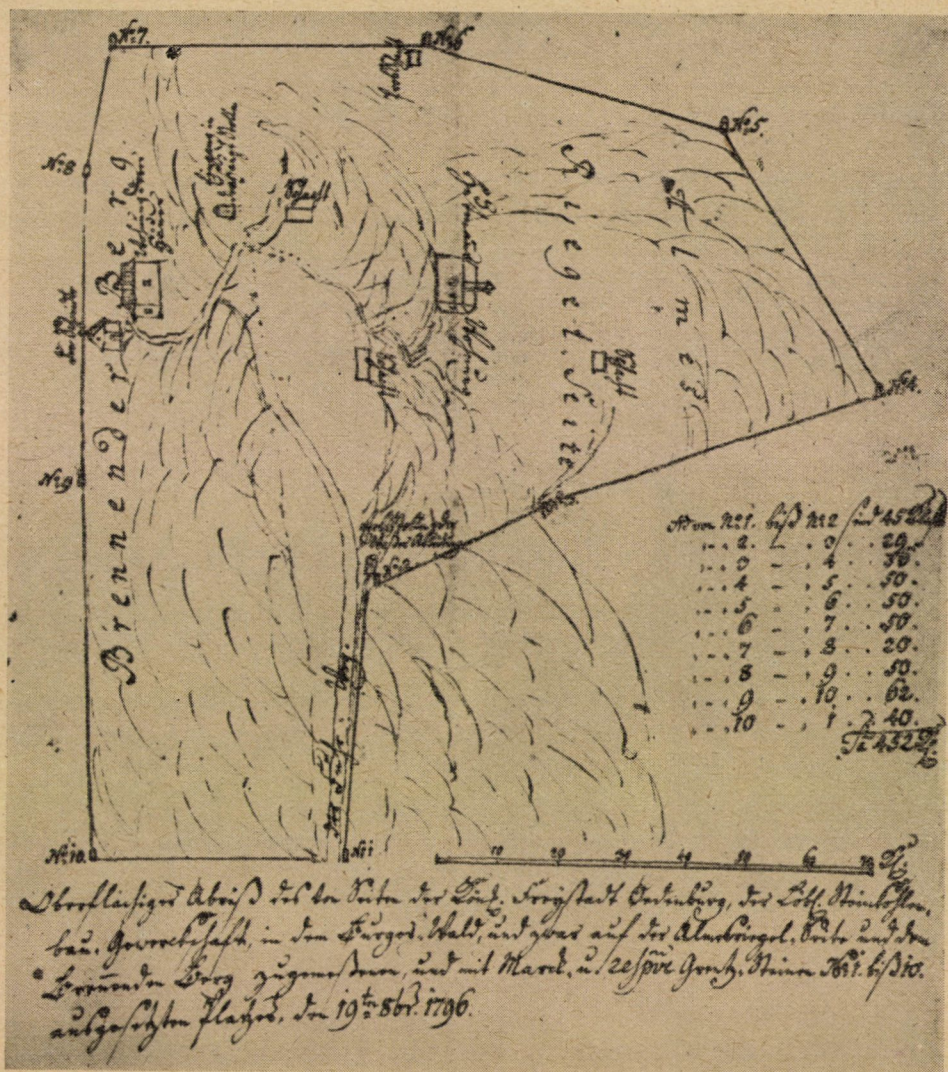
A 10 határkővel körülhatárolt bányaterület déli sarkában találjuk a Fő-táró bejáratát (*Eingang der Hauptstollen*), melytől délre, mintegy 65 öl távolságban nyílik a bányavízet elvezető Altáró (»*Erbstollen oder Wasserableitung*«). E két tárón kívül a mezőben a bányafelőr lakása (*Hutmanns Wohnung*) körül három függőleges (*Schacht*) s egy kutatóaknát (»*Prob-Schacht*«) látunk, melyekkel részben az »*Almes Riegel*« dűlő, mindenekelőtt azonban a »*Brennender Berg*« területének szénkincsét tárták fel.

A külszíni létesítmények közül a terület délkeleti szélén találjuk a kovácsműhelyt (»*die Schmidts*«), attól délnyugatra a vájárok számára épített barakot (»*Wohnung der Häuer*«), mellyel szemben mintegy 45 ölnyi távolságban állt a bányafelőr lakása (*Hutmanns Wohnung*). A rajz délkeleti előterében látjuk a bányához vezető utat (»*Der Fahr Weg*«), melynek nyugati oldalán fut az Altáró vízvezető csatornája.

A bánya teljes műszaki berendezése tehát két táró s négy kis, függőleges akna, valamint két lakóház s egy kis kovácsműhely volt.

A térkép jobboldalán találjuk a 10 határkővel rögzített bányaterület hosszoldalainak kimutatását s az öles lépték alatt a rajz négysoros magyarázatát, mely szerint tehát a vázlat a soproni polgárok tulajdonát képező s részben az »*Almes Riegel*«, részben a »*Brennender Berg*« erdőkből a bányászat cél-

jaira 10 határkövel kijelölt terület rajza, ahogy azt a bányatársulat, illetve Sopron város megbízottai 1796. okt. 19-i helyszíni szemléjükön kijelölték [8].



2. sz. térkép. Brennender Berg első, 1796-évből készült térkép-vázlata. Rajzolta: Pyrmons Vilmos, bánya-mester

A hozzátartozó leírásból egyébként megtudjuk, hogy a bányaterület igénylésével kapcsolatban a város részéről a már előbb említett Martony Bertalan tanácselő, Aszmann János András városi tanácsos és Schwartz Pál, városi jegyző jelentek meg a »Brennender Berg«-en, Rach Xavér ellenőr, Ditz Albert erdőmester, továbbá Amstetter Fülöp bányakönyvelő, Pyrmons Vilmos bánya-



mester és *Lampel* Mihály számvizsgáló kíséretében, kimérték a bánya igényelt területet és elhelyezték annak első C. S. (Civitas Soproniensis) jelű, bányászkalapácsos határköveit. Az ebből az alkalomból felvett jegyzőkönyv nagy részletességgel leírja, hogy az első határkövet a bányához vezető út jobboldalán, egy nagy bükkfa tövében helyezték el. A másodikat ettől 45 öllel tovább, ugyancsak az út jobboldalán, majd jobbra fordultak s a 2. számú kőtől 29 ölnyre építették be a 3. számú határkövet. Ettől további 56 öl távolságban jobbra előre helyezték el a 4. számú követ, amikor balra fordultak, és mintegy 50 ölnyi távolságban építették be az 5., majd további 50 öl távolságban a 6. s még további 50 ölnyre a 7. számú határkövet. Ekkor megint balra fordultak és hazafelé haladva a 7. sz. kőtől 20 öl távolságban helyezték el a 8. sz. követ, melytől egyenes irányban 50 öl távolságban helyezték el a 9. sz. határkövet, illetve attól 62 ölnyre a 10. számút, amikor újból balra fordulva az 1. számú határkőtől 40 ölnyre a vonal bezárult. A bizottság által kiadott »határbizonylat« kimondta, hogy a terület ily módon összesen 452 öl hosszvonallal van körülhatárolva, 9339 □öl, vagyis holdját 1000 □öllel számítva 9 és  $\frac{1}{3}$ -ad hold nagyságú s az a bányászat célját szolgálja [9].

Az így nagyvonalasan kitűzött határon belül, a bánya vezetősége a következő évben most már pontosan megjelölt célokra kér területet átengedni, melynek nagyságát *Kurz* Péter bányafelmérő 1797. máj. 10-én készített, felirat nélküli [10] 475 × 375 mm méretű térképén találjuk rögzítve (3. helyszínrajz). *Kurz* pontos kimutatásban, □ölekben adja meg a bányászat sürgős céljaira igényelt területet, melyet hat — A, B, C, D, E, F betűkkel jelölt — háromszögre bontott s azok nagyságát összesen 755 □ölben határozta meg. Ehhez hozzáadta a »Riesen Fördernis«-nek mondott út területét, melyet az 1. és 2. sz. rögzített határkövek közti 66 öl hosszúsággal s  $1\frac{1}{2}$  öl szélességgel vett számításba, úgyhogy annak területét 99 □ölben számította. Így a bányászat céljaira a bánya vezetősége ez alkalomból összesen 854 □ölet igényelt, ami, mint a továbbiakban látni fogjuk, rövidesen kevésnek bizonyult.

A térkép magyarázata elmondja, hogy az 1. számú határkőig nincsen megjegyezni való. Az 1. és 4. határpontok közti kék színnel jelölt út már régi. Eközött és a »Riesen Fördernis« között az 1. és 2. határpontok távolságának megfelelő hosszban fut a bánya vízvezető csatornája s közli, hogy a régi és az új út közt a 3. számú pontnál egy sárga színnel jelölt erdőterület van, melynek sorsáról dönteni kell [11].

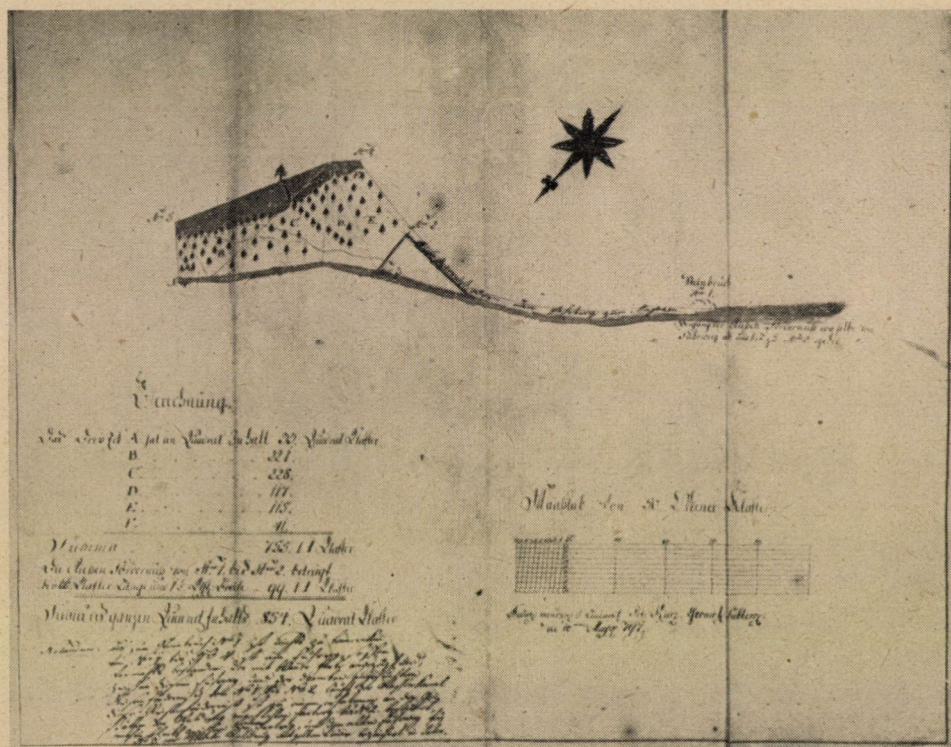
A térképet egyébként *Kurz* Péter — bányafelmérő küldte át Sopron város tanácsának, azzal a kéréssel, hogy annak alapján sürgős helyszíni szemlét tartson, mert a felkért területre a bányának multhatatlanul szüksége van, tekintve, hogy új szénraktárt s egy lakóházat kell építeni, azonkívül a »Riesen Fördernis«-t kívánják elkészíteni és sürgősen néhány (etlichen) kutatóaknát akarnak telepíteni a termelés fokozása végett [12].

A soproni magisztrátus minden nehézkessége ellenére aránylag gyorsan



intézkedett, mert Kurz Péter először ápr. 11-én kelt, majd máj. 6-án megismélt levelére, jún. 10-én már meg is tartotta a szemlét, melyen a bánya vezetőin kívül a város részéről a már ismert Martony Bertalan, tanácselső, Aszmann János András városi tanácsos és Spanraft József előljáró vettek részt.

A kiszálló bizottság megszemlélte a létesítendő objektumok helyét és a tervezett két kutatóaknát a főakna (Hauptschacht) felett kicövekelte s azok



3. sz. térkép. Az 1796. illetve 1797 évi területfoglalások részletrajza.  
 Készítette: Kurz Péter bányafölmérő. 1797. máj. 10-én.

részére 2 és fél □öl területet mért ki. Ugyanekkor megállapodtak az új szénraktár helyében, melyre, mint a felvett jegyzőkönyv mondja, azért volt szükség, nehogy a készletezett szén a szabadban teljesen elpusztuljon. Ezzel kapcsolatban kijelölték a raktárépülethez vezető »Riesen Fördernis«, helyesen kocsút helyét (»den Raum zur Riesenfördernis, der Privat Gewerkschafts Fahrweg zum Magazin«), mely 29 ölnyire tért el a már meglévő útvonal irányától s így a kettő közt egy már előbb is mondott háromszög alakú s mintegy 80 □öl nagyságú erdőterület maradt vissza, melyre a városi megbízottak úgy nyilatkoztak, hogy legjobb lenne, ha a bánya ezt is átvénné.

A jegyzőkönyv ezután leszögezte, hogy a mellékelt térkép és hozzátartozó számítás szerint a két terület 854 □ öl, amihez az egyelőre tisztázatlan 80 □ ölet hozzáadva, összesen 934 □ ölet tesz ki, tekintve azonban, hogy abból a zöld színnel megjelölt 134 négyszögöl nagyságú terület a bánfalvi volt pálosoké, illetve a vallásalapé, azt levonva a városi terület mindössze 800 öltre rúgott, melyen a munkálatokat megkezdhették.

Ezeket tudva talán nem lesz minden érdekesség nélkül való, ha a többtermelést biztosító munkálatokkal kapcsolatban megnézzük, a bánya ez évi termelését, mely az ágfalvi szénraktár »*Agendorfer Magazin*« jelentése szerint 1797. jan. 1-től 1798. jan. 15-ig 23790 és  $\frac{1}{2}$  mázsa volt.

Az idevonatkozó kimutatás [13] ugyanis a következőket mondja :

1796. dec-éről a raktárban visszamaradt szénkészlet ...	107 $\frac{1}{2}$	bécsi mázsa
volt.		
1797. jan. 1-től 1798. jan. 15-ig a raktár bevett .	23.683	b. mázsát
így az egész évi készlet .....	23.790 $\frac{1}{2}$	b. mázsa
volt,		
ebből Klosterneuburgba elszállítottak .....	10.664 $\frac{1}{2}$	b. mázsát]
Wienbe .....	1.280	„
a kaiserebersdorfi acélgyárnak .....	935	„
a nezsideri, Klein-neusiedli papírgyárnak .....	295	„
a ränersdorfi papírgyárnak .....	74	„
a Csatornatársulatnak .....	3.664	„
Wienbe a katonaságnak .....	790	„
egyeseknek .....	1.566	„
a bányánál a hegyen (am Berg) egyeseknek ....	3.614	„
összesen .....	22.882 $\frac{1}{2}$	b. mázsát

A kimutatás szerint tehát a bánya 1797. évi termelése 23.635 bécsi mázsa (1 mázsa = 50,8 kg), illetve 1203 tonna volt, amiből 22.882 $\frac{1}{2}$  b. mázsát értékesítettek s annak megfelelően a szerződés szerint 381 Ft, 22 $\frac{1}{2}$  kr-t fizettek be Sopron város pénztárába [14].

1800-ban újabb területigénylésekkel és foglalásokkal találkozunk, jelölül az üzem növekedésének.

Így tudjuk, hogy lovag *Schindler* Károly bányagondnok — Koch Ferenc utóda — ki Bánfalván rendezte be műszaki irodáját [15], 1800. júl. 23-án hosszú levélben fordult a városi tanácshoz és újabb területeket kért a bányászat céljaira, mert — mint írta — a brennbergi bánya erősen vízveszélyes és mulhatatlanul szükséges egy vízvezető tárót (Unterbaustollen) létesíteni, tekintve hogy az emberi erővel történő vízemelés már nem lehetséges és félő, hogy a bánya elful. De szükségessé vált egy-két légakna mélyítése is, mivel a munkahelyek már nagyon előrehaladtak s a bánya szellőztetése rossz. Végül szükség van a területre — írja *Schindler* bányagondnok — a tervezett építkezések miatt

is, mert a munkásságot a tél folyamán el kell tudni helyezni, a termelés biztosítása végett [16].

A városi tanács meglepő ruganyossággal, már hat nappal később, júl. 29-én válaszolt és közölte a bányagondnoksággal, hogy a megjelölt területen lásson azonnal munkához, cövekelje ki ideiglenesen, míg a kiszálló bizottság majd véglegesen rögzíti a kért terület határait.

De *Schindler* se pihent. Így aug. 8-án kelt levelében, már arra kéri a városi tanácsot, intézkedjék, hogy a szóban lévő területen a fákat kivágják, mert meg akarja kezdeni a légakna mélyítését, két nappal később pedig újabb levelében engedélyt kér, az altárhoz falazásához az igényelt területen kívülfekvő helyen kő termeléséhez [17].

Ezekkel a területigénylésekkel kapcsolatban egyébként két vázrajz is maradt ránk, melyek közül az egyik »*Idealis Designatio*« címen latinul leírja, hogy mit jelentenek a rajz vörös, sárga és zöld színnel megjelölt területei, míg a másik — a 4. rajzban bemutatott — részben németül, részben latinul mondja el azok jelentőségét.

Eszerint a vörös színnel kifestett 9339 □ ölnyi erdőterületet, mely 1-től 10-ig sorszámú, bányászjelvényes határkövekkel van jelölve 1797. évben kapta a bánya a várostól s azt az év márc. 22-én reambulálták és tűzték ki.

A sárga színnel festett, kis erdőterületet, melyet az A, B, C, D, E, F és G betűkkel, illetve egyik oldalon a Riesen Fördernis részére tervezett új útvonal, másik oldalon a régi erdei út határolja s azt, mint az előbbit ugyancsak 1799 márc. 22-én tűzték ki és jelölték meg bányászjelvényes határkövekkel. A terület nagysága 1010 □ öl volt.

Végül a harmadik, zöld színnel jelölt terület ugyancsak erdő volt s az az 1800. júl. 29-én elhelyezett 1—18. sorszámú karókkal volt rögzítve. A terület alsó részét építkezési célokra kérték, míg a régi útmenti területen két légaknát s további bányászati berendezéseket kívántak létesíteni. Ez a terület 30000 □ öl nagyságú volt [18].

A területfoglalással kapcsolatos levelezésből megtudjuk, hogy ez évben, tehát 1800-ban indult meg a külfejtés, a 17 öl vastag, egynemű telepben. A munka lendülete a termelésben is megmutatkozott, mert míg 1799-ben a bánya 70048 ½ bécsi mázsát termelt, addig 1800 évi termelése már 127878 mázsára emelkedett. A termelést a külfejtés növelte, mellyel kapcsolatban természetesen sok vitás kérdés merült fel.

A városiak ugyanis a külfejtést sosem tekintették bányaművelésnek, elsősorban azért, mert a bányászatot nem tudták másképp elképzelni, csak a föld alatt, továbbá, mert az teljesen elpusztította a külszínt és vele a féltett erdőket. De nehézségek támadtak a területfoglalásokkal kapcsolatban is, valamint sok vitára adott okot a bányának az a bejelentése, hogy kocsmát akar felállítani az üzemnél. A bánya bécsi igazgatósága mindezeket jelentette a kamarának is és panaszkolta, hogy a külfejtés céljára a város nem akar területet át-







engedni, ugyanúgy a kocsmá részére sem, melyre pedig nagy szükség van, mert a munkások és fuvarosok nem tudnak hol inni. A bécsi igazgatóság a nézeteltérések elsimítása végett 1800. dec. 5-én a bányához küldte megbízottját, Lindemann Sámuel, aki hosszú tárgyalásokba kezdett és 15 oldalas jegyzőkönyvben rögzítette a bányakárokat és további tennivalókat [19].

Mindeme vitás — elsősorban természetesen területi — kérdések vezettek aztán 1801-ben a következő, 5. számú 965 × 625 mm méretű »Wald-Karte«-nak nevezett bányatérkép megszületéséhez, melyből már egy nagy méretű bányászat bontakozik elénk.

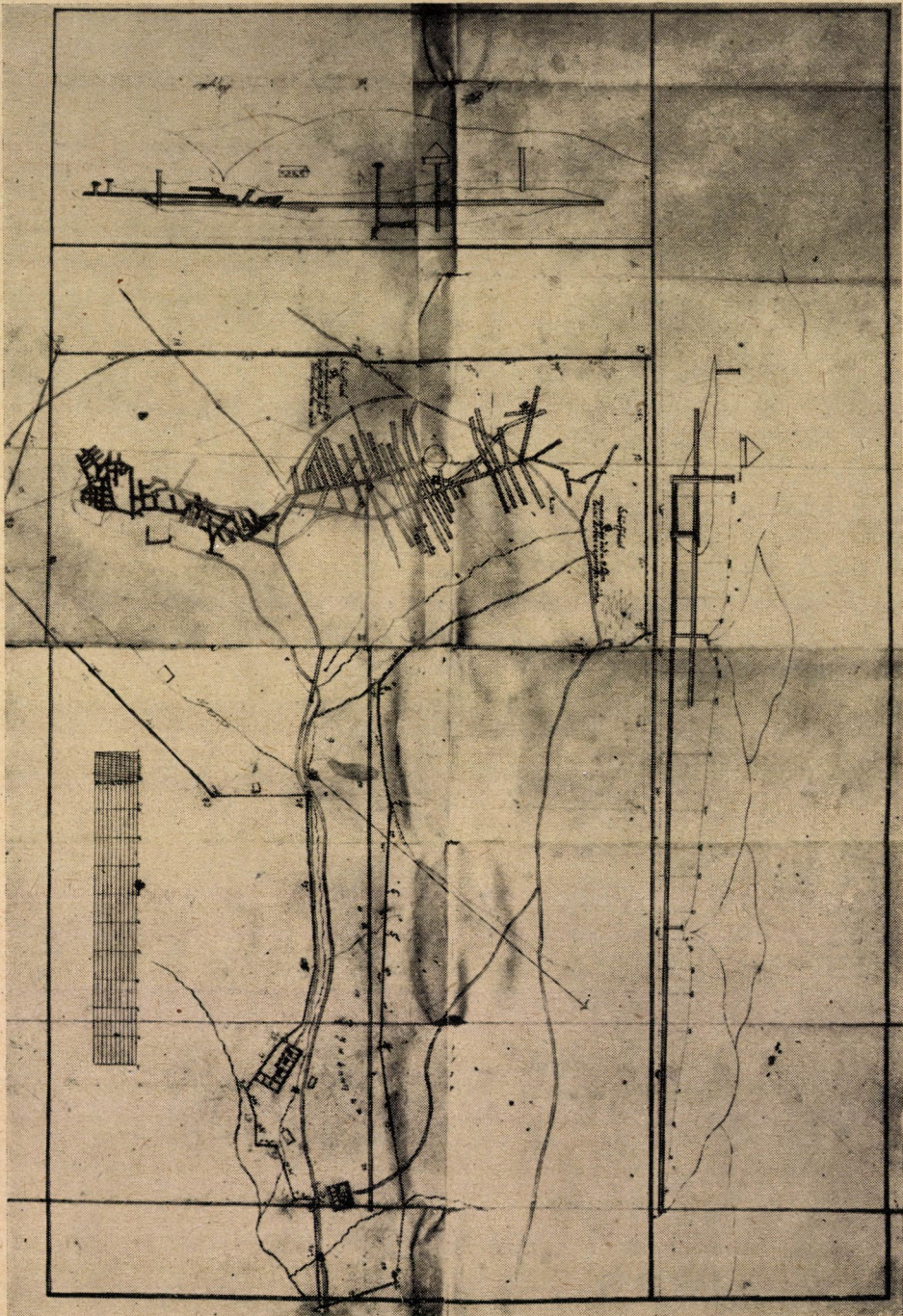
Az 1801. júl. 29-én készített térkép mindenekelőtt rögzíti a külszínt, pontosan mutatja a birtokhatárokat, épületeket, külszíni létesítményeket s azokkal szorosan összefüggő földalatti munkálatokat. Így az első, ami szemünkbe ötlik a 228 öl hosszú, ÉK — DNy-i irányú altáró, melynek déli oldalán két segédaknát látunk; ezek közül az első 100, a második 210 öl távolságban van a táró szájától s egyik 7, másik 13 öl mély volt. Az aknákat az altáró kihajtásával kapcsolatban mélyítették s annak légellátását szolgálták. Az altáró végpontja egyébként 22 öl mély légaknába lyukadt, honnét ÉNy-i irányú, 26 öl hosszú csapásvágot vezetett a 24 öl mély lójárgányos Fő-, vagy Szállítóaknához, mely egy szállító s egy járó, illetve műosztályból állt. Ettől K-re 8 öl mély vakaknát, Ny-ra viszont, a feltárt mező szélén 8 öl mély légaknát látunk. A telep Ny-i irányú kiterjedését kívánta tisztázni a terület Ny-i határán feltüntetett 11 öl mély kutatóakna (Schürfschatel), mely azonban nem érte el a szenet [20] s így nem jutott összeköttetésbe a bányabeli műveletekkel. A bánya D-i mezejében, annak határán további két kis, 5—6 öl mélységű függőleges aknát látunk, majd azoktól mintegy 18 öl távolságra Ny-nak egy harmadik, 13 öl mélyet. Ettől 75 öl távolságban Ny-ra találjuk a második számú kutatóaknát, mely felirata szerint 8 öl mélységben, 130 ujj vastagságban harántolta a telepet [21]. Ezekon kívül ott találjuk még a legelső kis tárót is, melyet a sokat idézett »Riesen Fördernis«-nek nevezett út kötött össze a szénraktárral.

A csapásban 180, délben mintegy 50 öl szélességben feltárt telep szerint 2 táróval, 10 függőleges, egy vakaknával s több kisebb feltárással rendelkezett.

A bánya fejtési műveletei — a térkép szerint — két szintben mozogtak és pedig a Ny-i bányamezőben egy (vörös színnel jelzett) mélyebb s a K-i mezőben egy 4 öllel magasabb (zöld színnel jelzett) szinten. A fejtés maga folyosószerű, párhuzamos, szintes pásztákkal történt, melyek pillérközeit bennhagyták. A K-i bányamező É-i oldalán egyébként ott látjuk a külfejtés két megkezdett területét, melyek közül az É-i 22 öl hosszú és 9 öl széles, míg a D-i 26 öl hosszú és 10 öl széles volt.

A térkép a külszínnel kapcsolatban mindenekelőtt rögzíti a várostól átengedett 1801. júl. 29-én kitűzött 31800 □öl (31 8/10-ed hold) nagyságú terület pontos határát, melynek egyik-másik határpontjánál az 1796., illetve 1798. év-





5. sz. térkép. Brennbereg „Wald-Karte” címen nyilvántartott térképe. Készült : 1801. júl. 29-én



számokat találjuk odajegyezve, jelül annak, hogy a földméréskor az első, 1796. évben kitűzött terület határpontjait is felhasználták az új terület kijelöléséhez. Az új határ kitűzésénél egyébként összesen 31 új pontot helyeztek el s az idevonatkozó jegyzőkönyv nagy részletességgel leírja azok helyét, és kimondja, hogy az új határmegállapítással az 1797. márc. 22-i, illetve 1799. évi máj. 22-i határkitűzések érvényüket veszítik s az újonnan megállapított terület a már említett 31800 □ölre rúg.

Külszíni létesítmény a térkép szerint még alig volt. Így az altáró közvetlen közelében egy 9 helyiségű, minden valószínűség szerint munkáslakóházat, attól délre pedig két kisebb épületet látunk. Ezekről délre a Riesenförderniszhez tartozó raktár látható, mely 1800-ban leégett, úgyhogy a térkép már annak új, 1801-ben épített alakját tünteti föl. Ezekről nyugatra két kisebb, majd egy nagyobb, négyablakos, 8 öl hosszú munkáskaszárnyát látunk, melytől nyugatra a főszállítóakna kör alakú járgányépületét találjuk.

A térképet jegyzőkönyv egészíti ki, mely elmondja, hogy a területmegállapító bizottság részben a bánfalvi bányagondnokság 1800. júl. 29-i kérésére, mindenekelőtt azonban az udvari kamara 1801. jan. 7-én kelt 407. számú rendeletére végezte dolgát, amely rendelet utasította a városi tanácsot, hogy a bányának az 1796. és 1798. években átengedett területeken kívül, további földterületeket adjon át bányászati célokra. A jegyzőkönyv a szóbanlévő térképet egyébként »Wald-Karte«-nek nevezi, részletesen szól a területen kivágott fa mennyiségéről és minőségéről, melyet teljes egészében a bányatársulat vett át részben építkezési, mindenekelőtt azonban bányászati célokra s annak összegét, 555 Ft. 49 kr-t — már a bejárást megelőzően, apr. 27-én hiánytalanul befizette a város pénztárába [22].

Ezt követően a Soproni Közlevéltár írásos anyagában csak több, mint 20 évvel későbbi időből származó térkép maradt ránk és pedig az 1824-ben készült 6. számú »Copie der Carte von Brennbere, gezeichnet von Martin Hasenauer, Ingenieur d. Kön. Freystadt Oedenburg« feliratú színes rajz, mely nagy változást mutat az előzőekben leírt viszonyokkal szemben.

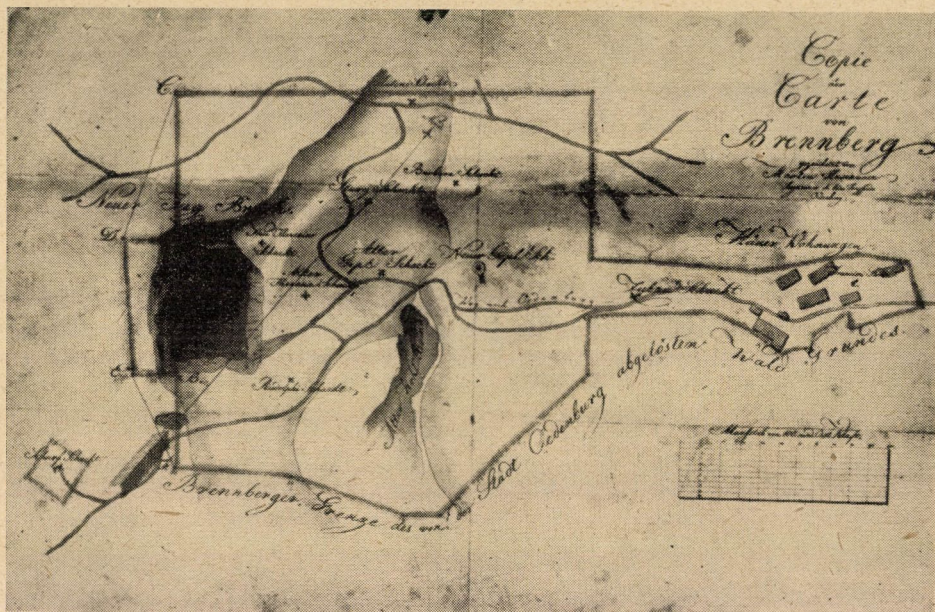
Az 1801. évben készült térkép ideje óta eltelt negyedszázad alatt a bánya ugyanis nagy változáson ment át, amit érdekesen szemléltet a térkép is, mely a bányászat nagy fejlődéséről tanúskodik s annak eddig legkevésbé ismert szakáról és munkálatairól ad kitűnő áttekintést. De a térkép alapján feltehetjük azt is, hogy az 1801. és 1824. évek közti két évtizedben talán nem is készült más térkép, tekintve, hogy a bányászat a hatalmas, 14 öl vastag széntelep kifejtésével csaknem mozdulatlanul helybenmaradt, bár tudjuk, hogy a város a bányának 1803. márc. 17-én 1272, 1811. aug. 13-án 625 és 1813. jún. 10-én további 1800 □öl területet adott át [23].

A bányászat 1824. évi térképezésére mindenekelőtt az adott okot, hogy a DNY-i irányban haladó külfejtés 90 öl hosszú homloka már két évvel előbb, tehát 1822-ben túllépte a részére kijelölt ABED betűkkel jelölt négyszög határ-



vonulat és szükségessé vált a terület nyugati határának CDEF vonallal való korrekciója s annak térképezése. De hozzájárulhatott a terület térképezéséhez az is, hogy a bánya ebben az évben, vagyis 1824-ben gazdát cserélt s lehetséges, hogy az új birtokos — a bécsi gr. *Fries és Társa* Bankház — kívánta a bánya pontos felmérését.

A brennbergi bányászat ugyanis 1802-ig volt a bevezetőben megnevezett »*Wienerisch-Neustädter Steinkohlengewerkschaft*«, illetve a magát később — a Wien-soproni hajózható csatorna építésének megindításával kapcsolatban — *K. K. Priv. Steinkohlen und Kanalbau A. G.*-nak (Cs. K. Szabadalmazott



6. sz. térkép. A brennbergi külfeltés 1824-ben. Készítette: Hasenauer Márton, Sopron szab. kir. város hitesmérnöke.

Kőszénbánya és Csatorna R. T.-nak) nevezett részvényes vállalat kezében. Akkor a kincstár tulajdonába jutott, amely a tervezett csatorna építésével nem tudván megbirkózni, azt 1824-ben, a már említett gróf Fries Móric és Társa bécsi bankháznak adta bérbe, kikötve, hogy az a Pötschingig kiépített csatornát 6 éven belül Sopronig meghosszabbítja [24].

Ez a változás — mint mondtuk — de mindenekelőtt a külfeltésokoza határsértések tették szükségessé az új térképezést s a szóbanlévő rendkívül értékes térkép elkészítését. Az új határkiigazítással kapcsolatban, 1824 nov. 1-én fölvetett jegyzőkönyv [25] egyébként részletesen elmondja, hogy *Ditz Ignác*, városi erdőmester feljelentésére történt az új határ kiigazítás, mellyel kapcsolatban készítette el Slavik főbányagondnok a térképet, melyből pontosan meg-

állapítható, hogy a külfejtés — mint azt egy bányafelügyező vallotta — már két év előtt lefejtette az AB határpontokat s az EFB, illetve DAC területeken akkor már 1612 ölnyi erdőt pusztított el.

A térkép egyébként kitűnő átnézetet ad a 20 év alatt létesített külszíni és bányalétesítményekről, melyek közül mindenekelőtt a Ferenc-altáró szájnylása mellé épített üzemi — és munkáslakóházak vonják magukra figyelmünket. A 8 épület a brennbergi bányauzem magja, mely Óbrennberg néven részben ma is meg van, élénken mutatja a bányászat fejlődését, mely az 1810-es és 20-as években csaknem kizárólag külfejtéssel dolgozott s 20 év alatt mintegy 26000 □ ölnyi területen lefejtette a szenet. Nagyon természetesen a bánya emellett a földalatti műveleteket is üzte, melyeket különösen a brennbergi zord, téli hónapokban művelt, amikor a külfejtés a nagy hőtömegek miatt nem volt fejthető. A térkép egyébként két külfejtést tüntet fel, mégpedig az 1800-ban kezdett s akkor már réginek mondóttat, a bányamező keleti részében s az újat, mely a Rudolf- és Régi-Terézaknáktól nyugatra terült el és 90 öl hosszú homlokával Ny, helyesen DNy felé haladt. A régi akná, illetve tárók közül megtaláljuk mindenekelőtt a Ferenc-altárót, majd a mezőben délről — északnak haladva a Rudolf- és Régi Ferenc, a Régi-, Járgányos- és Gurítóaknát, valamint a Borbála- és Antalaknát. Új létesítmények az Új-, Járgányosaknák, valamint a bánya területén kívül telepített Új-Kutatóakna (Schurf-Schacht).

Számos bejegyzése s érdekes apró részlete miatt rendkívül becses a következő 1825. évből ránkmaradt, *Hasenauer* Márton városi mérnök készítette 7. számú »*Situations-Plan des durch die Brennberger Gewerkschaft von der Kön. Freystadt Oedenburg abgelösten Waldgrunde*« feliratú [26] színes térkép, mely meglepő pontossággal s részletességgel rögzíti az akkori állapotokat.

Így különösen érdekes a térkép ÉK-i sarkában látható munkástelep s néhány üzemi épület rajza, már azért is, mert az ahhoz tartozó jegyzőkönyvben megtaláljuk a munkásházak leírását, a bennlakó dolgozók név szerinti felsorolásával.

De sokat mondanak a külszínre vonatkozó többi feljegyzések is, melyekből meglehetősen pontossággal rekonstruálhatjuk az eltelt 25 év műszaki alkotásait.

Így a Ferenc-altáró tengelyvonalaiba bejegyzett szakadás (Einbruch auf den Erbstollen) elárulja, hogy az öreg altáróban nagy omlás történt, valószínűleg az I. számú légakna helyén s azért mélyítették a törés mellett az I. számú segédaknát (1.-ter Zubauschacht) tekintve, hogy az altáró a bányavíz levezetése végett nélkülözhetetlen volt. Feladatát azonban lényegében a Ferdinánd-altáró vette át, mely a KNy-i irányban, 56 öl hosszban érte el az Új külfejtés keleti szélén föntartott Ferdinánd bányamező műveleteit (Ferdinándi Bau), bekötött a külfejtésbe s megcsapolta annak vizét. Új létesítmények még az Új-Rudolf- (Neuer Rudolphi-Schacht) és Új-Teréz-, az Antal-József- és Riesen-



légaknák, valamint az említett Ferdinánd- és Riesen-altárók. A térkép egyébként összesen 13 aknát és 3 altárót tüntet fel, továbbá egy téglalegetőt s két kőfejtőt, melyek az építkezés anyagát biztosították [27]. Magáról az egész



7. sz. térkép. A brennbergi bányászat helyszínrajza.

Készítette: Hasenauer Márton Sopron szab. kir. város mérnöke 1825. októberében

1825. évi bányászatról és különösen a külfejtésről részletes leírást kapunk a máj. 5-én megejtett vizsgálat jegyzőkönyvéből [28], mely bevezetőben elmondja, hogy a vizsgálóbizottságnak — melynek tagjai Russzel János és Schraub Gottlieb, városi előljárók, továbbá a soproni lakatos- és kovács-céh mesterei, Leyer Antal



és *Schönhöfer* Sámuel, valamint a bánya részéről *Slavik* bányafőgondnok és *Buday* Ferenc [29] bányagondnok voltak — a városi tanács utasítására, három kérdést kellett rendezni, mégpedig :

1. a lakatos- és kovácsmestereknek tisztázni kellett a szén minőségét és azt, vajjon a soproni lakosok a fennálló szerződés szerint jó szenet kapnak-e a külfejtésből, tekintve, hogy panasz volt a szén minősége és a kiszolgálás ellen.

2. a bizottságnak össze kellett írnia a bánya külszíni és földalatti létesítményeit, lakóházakat és üzemi épületeket, végül :

3. nyilatkoznia kellett a bizottságnak, bányászati szempontból szakszerűen folynak-e a külfejtés munkálatai.

A bizottság az első feladattal kapcsolatban megállapította, hogy a soproni lakosok a külfejtésnek egy külön e célra fenntartott helyéről, a külfejtés »bal homlokáról« kapnak szenet s onnét senki más szenet nem kap. Megállapította azt is, hogy a szén »jó és használható« (gut und brauchbar), konstataálta azonban, hogy vannak a külfejtésben jobb teleprészek is, ahonnét a soproniak szívesebben vennék a szenet. A bánya megjelent képviselői — mégpedig *Buday* Ferenc pénztárelenőr, *Haitl* József művezető és *Petrics* Jakab nyugalmazott bányafelőr — egybehangzóan kijelentették, hogy semmi akadályja sincs annak, hogy a soproniakat abból a telephől szolgálják ki, ahonnét kívánják. Részük-ről az csak udvariassági gesztus volt, hogy őket egy külön fenntartott helyen szolgálták ki, azért, hogy ne kelljen nekik sorbaállni s a szénért hosszú órákig várakozni.

A második feladattal kapcsolatban a bizottság pontos összeírást végzett, melynek alapján megállapította, hogy a bánya területén 14 lakóépület, iskola és kocsa van s hogy a lakásokban összesen 49 dolgozó lakik családjával. Az összeírásból megállapíthatjuk azt is, hogy a 49 lakóra 53 szoba esett, tekintve azonban, hogy *Petrics* Jakab, nyug. bányafelügyelő családjával egymaga 4 szobát foglalt el, így a többi 49 szobában, a családtagok számára való tekintet nélkül egy-egy család húzódott meg [30]. Konstataálta a bizottság azt is, hogy a 4. és 5. számú lakóházak kamrái és pincéi a bányabirtok határán kívül esnek, mire a bánya megbízottai kijelentették, hogy azok építése a vezetőség tudta nélkül történt, kötelezik azonban a lakókat, hogy azokat bontsák le, ha ugyan a fennálló határkövek nem lettek elmozdítva. Ezt tisztázandó a bizottság elrendelte a határkövek újramérését s a mérés évenkénti ellenőrzését.

Végül harmadszor a bizottság megállapította, hogy kiszállásakor a bányászati kétféle módon, mégpedig külszíni és földalatti műveléssel folyt. Földalatti műveletek voltak a Teréz-, Riesenstrecke- és a Ferdinánd-táró mezejében, ezeket azonban csak tartalék munkahelyeknek tekintették, melyek az 1801. évben felmért és térképezett állapottól alig mutattak eltérést, tekintve, hogy ekkor már több, mint 20 éve csaknem kizárólag a külfejtésekből termelték a szenet. A bánya megjelent vezetői egyébként közölték, hogy a műveletek egyrésze össze ment, a bányáról pontos térkép nincs, annak felvételén azonban

dolgoznak s ha a térkép elkészült, bemutatják a városi tanácsnak. A külfejtés oly módon történt, hogy a széntelep 3-4 öl vastag takarórétegét leszínelték s annak anyagát, a már kifejtett üregekbe rakták. Egyszerre több négyszög-ölnyi területet fejtettek le, melynek helyét a következő terület letakarási anyagával töltötték ki.

A külfejtésről egyébként a bizottság városi tagjai egyöntetűen azt mondták, hogy az nem történik az udvari kamara 1801. jan. 7-én kelt, 407. számú rendeletének előírásai szerint s általában az egész külfejtés »nem szabályos bányászmunka« s így azt az 1793. évi alapszerződés 7-ik pontja szerint azonnal be kell szüntetni. A fentebb hivatkozott 407 számú kamarai rendelet ugyanis világosan kimondta, hogy külfejtéssel csak az esetben szabad dolgozni, ha a letakarandó réteg legfeljebb 4-5 hüvelyk vastag, itt azonban 4-5 öl volt a letakart réteg, ami ellenkezik a kamarai rendeletben előírtakkal.

A bánya szakemberei erősen tiltakoztak a megállapítással szemben, jegyzőkönyvbe mondták, hogy a külfejtés szabályos, nem kíván nagyobb berendezéseket, elmarad a biztosítás, hosszadalmas előkészítés, nincs szükség világításra stb., tehát lényegesen olcsóbb a mélyművelésnél. Leszögezték egyébként azt is, hogy azt beszüntetni csak felsőbb utasításra engedik, illetékes szakemberek véleményének meghallgatása után.

A térkép jobb alsó sarkában találjuk egyébként a területi kimutatásokat, melyek szerint a bányának átadott erdőterület teljes nagysága akkor már 54393 1/10-ed □ öl volt, amiből a valóságban igénybevett terület — irtások és utak levonása után — 28725 □ ölet tett ki, melynek határpontjait a bizottsági kivizsgálással kapcsolatban 1825. nov. 17-én újra mérték s azokat rendben találták [31].

Hasenauer kitűnő térképe ezután még négy évtizeden át tett jó szolgálatokat s annak széleim és a később hozzáragasztott lapokon megtaláljuk az 1841. [32], 1849. [33], 1851. [34], sőt az 1865. évi területi kiigazításokat is.

Az előzőekben ismertetett külfejtés szabálytalannak minősített munkálatai is ismételt bizottsági megállapítások ellenére továbbra is állandóan foglalkoztatták a városiakat, így került annak ügye az udvari kamarához, minek eredményeként maradt ránk a következő 1826. évből származó 830 × 635 mm méretű 8. számú »Grubenkarte des K. K. Brennerberger Steinkohlen Werkes« fölíratú [35] 5. térkép, mely az udvari kamara által kiküldött bizottság 1826. júl. 5-én megtartott bejárásának eredményeként rögzíti a külfejtés munkahelyeit és támadó pontjait.

A térkép jobb alsó sarkában díszes keretbe írt magyarázat (»Erklärung«) elmondja, hogy a külfejtésnek két támadási pontja van s hogy annak letakarítási anyagát az I., II., III., IV., illetve VII. számú feltöréseken szállítják ki. Ugyanott olvassuk, hogy a földalatti műveletek közül a Ferdinánd-mezőben három, a Teréz-mezőben két munkahelyen folyik a munka s a szén kiszállítása



8. sz. térkép. A brennerbergi szénbánya 1826. évből származó térképe. Buday Ferenc bányagondnok aláírásával.



a Teréz-, József- és Karolina-aknákon át történik, melyek közül a Karolinát 1826-ban mélyítették [36].

A térkép felső, illetve baloldalán kitűnő szelvényeket találunk (»Saiger Riss«, »Saiger Profil«), melyek közül a felsőn a külfejtés V., IV. és III. számú feltöréseit, majd tovább É-nak a Teréz-, Karolina- és Józsefaknák metszeteit. helyesen műveleteit látjuk. Ugyanakkor a baloldali szelvény a külfejtés VI. és VII. számú feltöréseit, majd ÉNy-nak a Ferdinánd-, Szállító- és Teréz-aknákat tovább megint a külfejtés V., IV. és III. számú feltöréseit, a József- és Karolina-aknák szelvényeit mutatja. A térképen egyébként jól látjuk a Ferdinánd-altárót s a D-ről É-nak csapó telep dőlés, illetve csapásmenti kiterjedését, melyet középtájon egy KNy-i irányú meddő bemosás szakít meg.

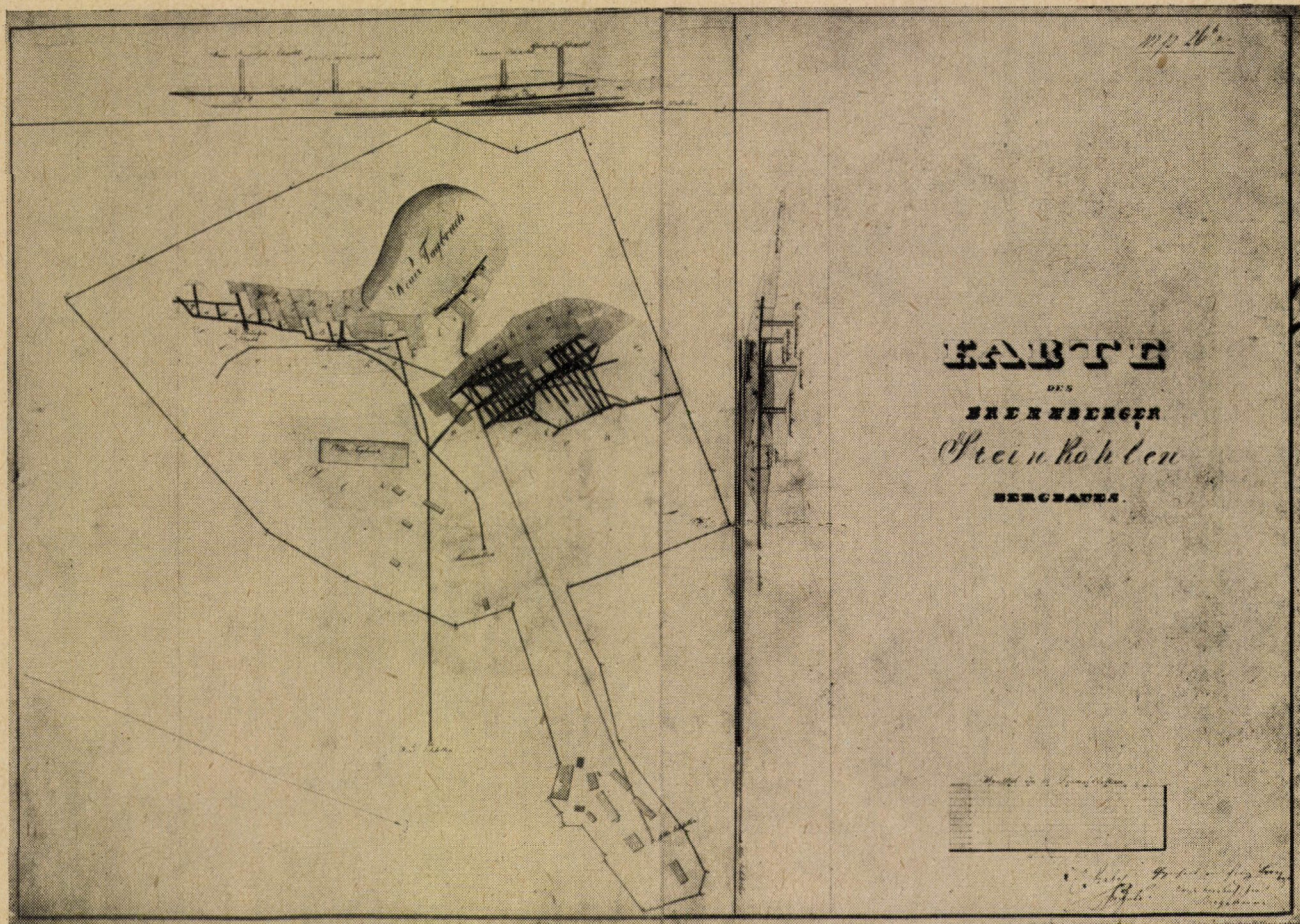
Befejezésül szólunk még Brennberg 1842. évből származó »Karte des Brennberger Steinkohlen Bergbaues« feliratú [37] 725 × 525. mm méretű, 9. térképről is, melyet Loosy Ferenc bányagyakornok készített 1842. jan. 3-án.

A hécsi öles térképen az alaprajzon kívül két ÉD-i, illetve KNy-i irányú szelvényrajzot is látunk, melyek jó áttekintést nyújtanak az akkori munkálatakról. De könnyű és jó áttekintést ad a térkép a bánya külszíni létesítményeiről is, melyeknek egyik része — II nagyobb épülettel — a Régi-altárónál, másik kisebb része — 5 épülettel — a Ferdinánd-altáró körül fekszik. Jól látszik a Riesen-altáró is, mely 155 ölnyi, nyugati irányú hossz után egy dél felé hajló kanyarnál köt be egyrészt a Rudolf-bányamező műveleteibe, másrészt Ny-nak fordulva, a Clement-bányamezőbe. Jól kivehető a régi külfejtésben az antal- és józsefaknai műveletek s az Új-külfejtésben a Rudolf- és Teréz-mezők munkálatai. Szemléltetőn mutatja be a térkép a feltörésekkel történő, hazafelé haladó fejtésmódot is a Rudolf-bányamezőben s a pásztás fejtéseket a Clementben.

Az 1842. évi bányászatról egyébként az ugyanazon évi ápr. 20-i bányajárási jegyzőkönyv [38] tájékoztat, mely az Öreg Antal-mezőben kitört bányatűzzel kapcsolatban készült és mindenekelőtt a már kéthetes bányatűzről szól, mely, mint a bizottság leszögezte, nagyon gyakori a brennbergi bányában. A jegyzőkönyv szerint a bánya vágata még 12 m hosszban égett, s azon 8 csapat, vagyis 24 ember dolgozott s a bizottság megállapította, hogy annak lokalizálására még két hétre van szükség. A szóbanlévő térképet, egyébként *Miesbach* Alajos a bánya akkori bérlője küldte meg 1842. jan. 12-én Sopron város tanácsának, közölve, hogy az a bánya legújabb és legjobb térképe. *Miesbach* levelére *Hasenauer* Márton városi mérnök írt pár sort, s jelentette a tanácsnak, hogy az új térkép helyes, annak mérési adatait ellenőrizte s teljesen megegyeznek 1825. októberben készített térképével (7. számú térképmelléklet) s csupán azt kifogásolta, hogy a térképen helytelen az »Új-külfejtés« felirat, tekintve, hogy a bánya külfejtése már régen megszűnt és csak mélyműveléssel dolgozik [39].

A térkép ismertetése után az említett *Miesbach* Alajos bányabérlővel kapcsolatban szükségesnek tartjuk röviden szólni a bányabérlőkben történt időközbeni változásról is.





9. sz. térkép. A brennbergi szénbánya térképe. Készítette: Loosy Ferenc bányagyakornok, 1842. jan. 3-án.



Említettük, hogy a bányát 1824-ben a bécsi gróf *Fries és Társa* bankház vette bérbe, amely azonban már a következő évben nagy pénzzavarral küzdött s 1826-ban teljesen fizetésképtelen lett. Így 1827-ben már Mathias Feldmüller, persenbeugi hajótulajdonos, nagyvállalkozó vette bérbe a bányát, kitől a bérletet 1834-ben a báró *Sina* bécsi bankház, majd 1846-ban *Miesbach* Alajos vette át, ki 1851-ben bekövetkezett haláláig vezette a bányát s nevéhez fűződik Brennbergbánya legvirágzóbb ideje [40].

Brennberg itt bemutatott 100—150 éves térképei, a bánya fejlődésének időnkinti érdekes képét adják s minden leírásnál beszédesebben rögzítik annak akkori műszaki fejlettségét, mely a térképek szerint korszerű és élenjáró volt már akkor, amikor szénbányászatunk még csak gyermekkorát élte.

#### MEGJEGYZÉSEK ÉS IRODALOM

[1] A brennbergi szén felfedezését illetően v. ö. a következő munkákat: Dr. Bán Imre: A brennbergi Kőszénbányászat története 1759-től 1792-ig. Bány. és Koh. Lapok LXIX. (1936) évf. p. 80, 103 és 130. Hamburger József: A brennbergi szénbánya monográfiája. Sopron, 1885. p. 3—7. Reményi Viktor: Brennbergbánya története. 1759—1933. Sopron, 1935. p. 14—18. Vajk Artur: A brennbergi szénbányászat és a bécsi hajózható csatorna. Soproni Szemle. IV. (1940) évf. p. 221—232.

[2] Ezt elsősorban Takách Endre, a levéltár vezetője tette lehetővé, kinek messzemenő segítségét ez alkalomból is köszönöm.

[3] Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 123. v. ö. még Valerie Else Riebe: Der Wiener-Neustädter Schifffahrts-Kanal. Wien. 1936. p. 8—9.

[4] Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 123. »Hauptinteressanten«, névszerint felsorolva, kik felelnek a bányászatért, illetve a szerződés betartásáért.

[5] Nagyban növelte Sopronban a szénellenes hangulatot többek közt az is, hogy 1783. nov. 24-én Schätzl Sámuel kovácsmester Bécsi-utcai lakásán, 16 éves fia, két legénye és inasa a szén gázaitól megfulladtak. Petz Dániel soproni krónikája szerint ugyanis ezek négyen egy szobában aludtak s lefekvéskor egy edénybe szénen raktak s azt meggyújtották. Természetesen álmukban megfulladtak, amit a város szénellenes lakói erősen kihasználtak a szénrel való tüzeléssel szemben. Az esetnek országos híre volt. L. Soproni Közlevéltár. Petz-féle krónika. 1779—1839. kézirat. I. 29. »1783. . . den 27-ten. Nov. Bei Me(-ister) Samuel Schätzl haben zwey Schmidt Gesellen ein Lehr-Jung und der Sohn mit 16 Jahren, sich ein Topf von Kohlen in ihrer Schlaf-Kammer angezündet und haben darüber eingeschlafen. Des Morgens haben sie alle vier todt gefunden« — v. ö. még: dr. Csatkai Endre: idősebb és ifjabb Petz Dániel krónikája. 1778—1839. Soproni Szemle. IV. (1940) évf. 152.

[6] A térkép felirata alatt: »Der Schwartze Strich bedeutet den alten, der rothe aber den neuen Weege. Nahmen derer über welche der neue Weg Kömt. — 1. Stephan Rath Georg. 2. Hans Vurm. 3. Jacob Rath, Johan Rath, Stephan Mülner. 4. Fridrich Winter. 5. Johan Türck. 6. Stephan Kieleis. 7. Hans Degendorfer. 8. Georg Gentspeier. 9. Johan und Peter Schütz. 10. Christian Bernhardt. 11. Gottlieb Purth. 12. Leopold Leyrer, Hans Schvenek, Math Mülner. 13. Johann Purth. 14. Tobias Baldauf. 15. Math. Gäster und Elisabeth Knäblin. 16. Johan und Daniel Schvenek.«

[7] Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 123. »Nota und Überschlag von dem neu anzulegenden Weg von Wandorf bis zu den Steinkohlen Bergwerk. L. Hainrath, Ingenieur. 1794.«

[8] A helyszínrajz eredeti felirata a következő: »Oberflächiger Abrisz das von Seiten der Königl. Freystadt Oedenburg, der löbl. Steinkohlenbau Gewerkschaft in dem Burger-Wald und zwar auf der Almes-Riegel Seite und dem Brennenden Berg zugemeszenen und mit Marek u. respeve Grenzsteine No. 1 bis 10 ausgesetzten Platzes, den 19-ten 8-br. 1796.«

[9] Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 123.

[10]. A térképen csak Kurz aláírását találjuk, mely a következő: »Accur. Mensur. et Liniavit Pet, Kurz Geomet. Subterr: die 10-ten May. 797.«

[11] I. a térkép bal alsó sarkába kézzel írottakat. »Notandum: Bis zum Steinbruch No. 1 ist nichts zu bemerken: Von No 1. bis No. 4 ist ein Fuhrweg so schon vormals bestanden.

der mit blaure Farbe angezeigt wird, zwischen diesen Fuhrweg und der darneben angesuchten Riesen Fördernisz von No. 1. bis No. 2. lauft der Wasserkanal. Diese Riesenfördernisz ist zu einen erhabenen an der Gestätten der Waldung angesuchten Fahrweg bis No. 2. bestimmt mit hin bleibt zwischen den Neuen Fahrweg und den alten Fahrweg bey No. 3. eine Strecke Waldung mit gelben Linien bezeichnet in Salvo.» A térkép további fölíratái: Az 1 és 2 pontok közt: «Riesenfördernisz, oder neuer Fahrweg zum Magazin.» — Az 1 pontnál: »Steinbruch.« — alatta: »Anfang der Riesen Fördernisz wo selbe von Fahrweg ab, und bis zu No. 2. gehet.«

[12] Soproni Közlevéltár Fasc. XXV. Num. 123. Kurz Péter 1797. máj. 6-án kelt levelét: «... zu dem neuen Magazin in gleichen zu einen neuen Wohnhaus, etlichen Versuch Schächten und den neu eingerichten Kommenden Riesen Fördernisz, den da zu benötigten Raum auszumessen und zu besichtigen...»

[13] Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 123. »Auszug von Brenninger Steinkohlen Bergbau und dessen anwesenden Agendorfer Magazin, über den von Ersten Jänner 1797. bis 15 Jänner 1798, das ist auf 12 1/2 Monath vürklich erfolgden Kohlen Verschleus.« Lämpf Mihály számféjtő. Ágfalván 1798. jan. 30-án kelt elszámolása.

[14] Az elszámolás helyességét s befizetett 381 Ft 22 1/2 kr. felvételét Lämpf Mihály elszámolásán Aszmann János András városi tanácsos, Aszler Mátyás könyvelő és Rach Xavér Ferenc ellenőr igazolták.

[15] Hivatalos címe: »Oberbergverwaltung der K. K. Hauptgewerkschaft« volt. de találjuk úgyis, hogy: «K. K. Oberbergverwaltung der Brenninger Steinkohlen Bergbau.»

[16] I. Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 408.

[17] I. u. o. Fasc. XXV. Num. 408.

[18] I. u. o. Fasc. XXV. Num. 408. »Color rube. denotat Plagam vigore Contractus cum Societate productionis Lithantracum Anno 793 initi. et 22 Jan. 794. per Exc. Cameram R. H. Aulicam ratificati, eidem Societati pro usu cessam et in metali Reambulatione dd. 22 Marty 797. Signis metalibus a No 1 — usq. 10. a reliquo Silva corpore distinctam, et 3993 Orgias quod ratas constituentem.«

»Color flavus denotat aliam minorem Plagam ex eadem Sylva pro usu mentionata Societatis priori adjectam, et pariter Signis metalibus, utpote via Curruli Riesenfördernisz dicta et literis A. B. C. D. E. F. et G. usque viam Currulem ordinarium inclusam, inque metali Reambulatione dd. 29-e Marty 799. circumscriptum, et circiter 1010 Orgias □ efficientem.«

»Color viridus denotat plagam dictam Societatem sibi excindi petitam et in aliquas Parte duplici m. et. z. signata per defectionem Arborum exstructionemque diversarii aliarumque Commoditatum effective occupatum adquas porticulum Literae Magistratus dd o 10 Novembris a. c. 1800 se referunt sub x et y sunt Spiracula. Wetterschacht dicta, quae alioquin non difficultantur dummodo reliquam Silvae corpus et Suffosio ne superficiali intactam maneat Plaga haec viridi colore, et nris rubris 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 et 18, usque N. B.-et respective alterius Plagae Numerum 7. incussis Palis per Societatem in Instrumento Dimensionationis ad. 29. July 1800 consecta designata circiter triginta mille Orgias quadratas efficit et juxta adtenus ductum commune Protocollum objectum controversiae est.«

Magába a térkép vázlatba beirt szöveg a következő: »Die No mit der Dinten von 1 — bis 10 dan von die A bis F zeigen den Ideal Entwurt ad Num. Protocoll 1800 dd. 8. october. 798 die gefarbtan No hingegen 1 bis 18. und respve Num. 7 den von den Hochöbl. Steinkohlen Gewerkschaft unten 23. July 1800 No 1412 anverlangten Grund an welchen aus Waldungen bestehet, und mit Plöcken ausgemerket werden.«

[19] I. Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 408.

[20] A térkép felirata szerint: »Schurfschatel worinen gebohrt und in 11. Kltrn. keine Kohle angetroffen werden.«

[21] »Schurfschatel mit welchen in der 8-ten Kltrn das Flötz 130 Zoll stark durchgehoren wurde.«

[22] Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 408.

[23] Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 3532.

[24] I. bővebben: Valerie Else Riebe: Der Wiener-Neustädter Schiffahrtskanal. Wien. 1936. p. 41—46.

[25] Soproni Közlevéltár: Fasc. XXV. Num. 3532. »Bericht über die von der Brenninger Grenze herabgeschürzten Grenzsteine.«

[26] A térkép teljes felirata: »Situations-Plan des durch die Brenninger-Gewerkschaft von der Kön. Freystadt Oedenburg Abgelösten Wald-Grundes vermessen im Monat October 1825 durch Martin Hasenauer, der besagten Stadtbeceidten Ingenieur.«

[27] A térképen a következő aknák és üzemhelyek fölíratát találjuk: Erbstöllen. Ferdinandistöllen. Riesenstöllen. Antoni-Schacht. Alter Barbara Schacht. Alter Gapelschacht. Alter Theresi Schacht. Alter Schurf Schacht. Alter Tagbruch. Bründl. Baumschule, Einbruch auf den Erbstöllen. Halden. Josephi Schacht. Josephi Sturz Schacht. Neuer Theresi Schacht, Neuer

Rudolphi Schacht, Neuer Tag Bruch, Rudolphi Schacht, Riesen Wetter Schacht, Steinbruch.  
[28] Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 3532.

[29] Buday Ferenc bányagondnok bányatörvényszéki helynök, vagy mint többször olvassuk »ellenőr« nevével 1824-ben találkozunk először Brennberg történetében, amikor a bányát a gróf Fries és Tsa. bécsi bankház vette bérbe. Buday-t minden valószínűség szerint az új bérlők hozták Brennbergbe, erre enged következtetni a bizalmas jóviszony, mely közte és munkaadója közt volt, valamint az is, hogy abból az alkalomból, hogy a Fries-bankház és a kincstár képviselői, 1825 szept. 27-én első alkalommal megjelentek a bányánál, Buday egy 35×48 cm méretű, díszes bőrkötésű emlékkönyvet (címe: *A brennbergi szénbánya Emlékkönyve*. 1825.) fektetett fel, mely számos történeti értékű bejegyzésével azóta bányászattörténetünk egyik legbecesebb dokumentuma s melyet ma a Soproni Közlevéltár őriz. Buday gondnoksága idejében mélyítették a Ferdinándaknát, az Új-Terézaknát és a 31 öl mély Rudolfaknát, mely még az 1850-es években is üzemben volt. Buday volt az, aki Brennberget korszerűsítette s a bányában a gőzerejű szállítógepeket elsőként alkalmazta.

[30] A kultúrtörténeti szempontból rendkívül érdekes feljegyzést alantiakban teljes egészében közlöm:  
Kimutatás a brennbergi bányánál 1825. évben létezett épületekről, lakóházakról és azok lakóiról

Épület száma	Beosztása	Lakóinak neve és	Száma
1	4 szoba, 1 konyha, 1 kamra, 1 kocsiszín, 1 pince, 1 kert	Petrics Jakab nyug. bányafelőr	1
2	2 konyha, 1 benyíló, 1 vendégszoba, 1 különszoba, 1 iroda, 1 iskola, 1 további szoba, 1 pince az épületben, 1 kamra, 1 különálló pince	Föhner János első bárcairnok, Szlávik János	2
3	2 konyha, 8 szoba, 3 kamra, 7 pince, 8 kertecske	Grauer György, Malek Ferenc, Stark Jakab, Malek György és Dumbek György vājárok, valamint Szlávik Antal második bárcairnok	6
4	1 szerszámkamra, 2 konyha, 8 szoba, 8 kertecske, azokban 3 különálló kamra és 1 pince. Hozzá tartozik a határon kívülálló 3 pince, 1 kert, fatér, kamra és egy sertésöl	Pauschenin János, Holler János, Szilák Lukács, Reidl János, Sammereher Antal, Luker Sebestyén, Lechner Mátvás és Selinger Balthazar vājárok	8
5	8 szoba, 2 konyha, 1 különálló kamra, 8 kertecske, 8 különálló sertésöl, 2 kamra, 1 szerkamra, 1 pince, 1 fászín	Petrán József előnunkás, Módrian Márton, Bohm Antal, Zachariás Márton, Semráth Ferenc, Rausch Tamás, Fux János és Puschka Márton vājárok	8
6	1 folyosó, 8 szoba, 1 konyha, 1 különálló kamra, 1 pince és 5 kertecske	Ringl József, Petz István, Mayer Mihály, Schulz Simon, Szita Mihály, Persel János, Watzl János és Rausch Mihály vājárok, valamint Lewisch Mátvás irodaszolga	9
7	istálló 7—8 ló számára, mellette 2 kert a korcsmáros és a bányafelőr számára		
8	szín, kerttel		
9	a) 1 konyha, 3 szoba, kocsiműhely s cédulaház, 1 szoba, 1 műhely b) 3 szoba, 1 konyha c) kovácműhely, 1 szoba, 1 kert, benne fászín, 1 különálló kamra és istálló	Boszner János bognár, Mayer Károly, Feldmüller Mátvás alkalmazottja, Heitl József földvigyázó, Glatz Ferenc kovács, Hillebrand Márton, Otravitz Antal, Sallfréd Melechior vājárok	7
10	1 szénmérleg		
11	1 konyha, 1 szoba, 1 kamra, 1 kert	Rinbacher József, öreg vājár	1
12	3 konyha, 3 szoba, 1 hozzáépített s 1 különálló kamra, 4 kert	Poch János, Reithofer Jakab, Rotheiner György vājárok	3
13	2 konyha, 3 szoba, 1 különálló kamra, 4 kert	Vaverka János, Brastova Mátvás, ifjabb Rinbacher János	3
14	1 konyha, 1 szoba, 1 kamra, 1 kert	Rinbacher Károly	1

[31] I. a térkép jobb alsó sarkán olvasható feljegyzéseket : »Flächen Inhalte und zwar! A) Der Fl. Inh. des gesammten abgelösten Waldgrundes beträgt in Quadr. Kl. 54393 1/10. — B) Fl. Inh. der Waldung innerhalb der Grenz Steine betr. an Quadr. klaft. 28725. (Bey B. wurden Wege Durchhauen Blössen abgezogen. Anmerkung. Das 625 Quadr. Kl. messende in dem Jahr. 1811. abgelöste Schurf Schacht Terrain wurde in Jahre 1825. von hiesiger Stadt reclamirt.«

»Áó. 1825. dem 17-ten Nov. haben die Authentication diesen charte vorgenommen die Grenz-Linien nachgemessen und richtig befunden. Joh. Neumayer, Franz Buday, Johan Wenzel, Stadt Provisor.«

[32] Az 1841. évi bejegyzést ugyancsak e térkép jobb sarkában találjuk s az a következő : »Vermög Ratschluss d. d. 4. Januári anno 841 No 50. ad. 2. wurde das mit rothen Linien und mit den alten Gränzpunkten No 18—22 eingeschlossene Terrain, nach dem Deputoanal Befund d. d. 4. ten Augusti 1840 ausgesteint, in diese Mappe eingetragen und der Brennb. Stein Kohlengruben Bergbau Subpachtung den 12-ten August 1841. angewiesen. Hasenuäer.«

[33] Az 1849. évi bejegyzést a térkép bal alsó sarkában olvassuk éspedig : »Vermög. Magistratual. Beschluss von 30-ten April 1849. Nro 1472. wurde das mit rothen Linien, und mit den alten Grenzsteinen von No. 10. bis No 15. bezeichnete 22315 Quadrat Klafter messende Terrain nach den deputaonal Bericht von 27. April 1849. ausgesteint, in diese Mappe eingetragen, und der Brennberger Steinkohlengruben Bergbau Subpachtung am 29-ten okt. 849. übergeben. Franz Janke. St. Ingenieur.«

[34] Az 1851. évi bejegyzést a térkép jobb felső sarkában találjuk s az a következő : »Vermög magistratual Beschluss von 7-ten sub 851. Nov. 216 wurde der mit blauen Linien und mit Steinen 4. 5. 10. und 33. bezeichnete 7222 Quadrat. Klafter messenden Terrain nach dem Deputaonal Bericht von 4-ten Juli 1851. ausgesteint in diese Mappe eingetragen und den Brennberger Steinkohlengruben Bergbau Subpachtung von 28. Aug. 1851. übergeben. Franz Janke. St. Ingenieur.«

[35] Teljes feliratát a térkép bal felső sarkában, a bányászjelvényes díszes pajzsban találjuk s az a következőképp hangzik : »Gruben-Karte des K. K. Brennberger Steinkohlen Werkes, mit denen am 5-ten July 1826 bestandenem durch Eine von Seite Hochlöblicher K. K. Allgemeinen Hofkammerabgeordneten hohen K. K. Hof-Commission Befahrenen und Gebrüften Arbeits-Punkte neu bearbeitet und aufgetragen von der Bergwerkwaltung der K. K. Brennberger. Klingenfurther, und Mayersdorfer Steinkohlen Werke. Franz Buday Bergwerwalter, Bergerichts-Substitut.«

[36] I. a térkép jobb alsó felében díszes keretbe foglalt magyarázatot : »Erklärung. Der zu dieser Zeit bestandenem arbeits Punkte. im Tagbruch. In den Gesamten Rund des Tagbruches befinden sich Abteifungs Punkte von I. bis VII. Der Abräumen den Damerde wird zunächst des I. u. II-ten dann über die Pauli Brems und beim III-ten, IV-ten, VII-ten Abteilen betrieben. In der Grube. Mittelst einem Vorsetzungen und Preszverhauten Im Ferdinandibau No 1., 2., 3. mit drej Förder Schächte im Theresiabau auf No 1. u. 5. Im Altenbau auf No. 1. und 2. gegen das ausgehen des Kohlen Flötzes. Zur Ausforderung der Kohlen befinden sich in Thätigkeit der Theresia-Schacht. Josephi-Sturtz Schacht und Karolinen-Schacht letzterer 1826 nungebaut. Das muthmaszliche Kohlflötz erstreckt sich von Norden, gegen Süden,

von No. 7—15 d. V.

und I.—XII. St.«

[37] A térkép teljes felirata : »Karte des Brennberger Steinkohlen Bergbaues. Maasstab von 100 Decimalklaftern 25<sup>c</sup> = 1 Wiener Zoll-Gezeichnet von Franz Loosy, Aloys Miesbachschen Bergeleven am 3. Jänner 1842.

[38] I. Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 3532. »Bericht der Brennberger Grube betreffend am 14. April 1842. daselbst ausgebrochener Gruben Feuers anlangends.«

[39] I. Soproni Közlevéltár. Fasc. XXV. Num. 6580.

[40] I. bővebben : Valerie Else Riehe : Der Wiener Neustädter Schiffahrtskanal. Wien. 1936. p. 46—62.





# MANGÁNISZAP DÚSÍTÁSA GENERÁTORGÁZ EGYIDEJŰ KÉNTELENÍTÉSÉVEL

FORBÁTH RÓBERT

[Beérkezett 1952. szeptember 29-én]

## I. Nyersanyag

Úrkúti mangániszap.

Az úrkúti mangánércbánya nyersérc termelésének feldolgozása Excelsior-mosóban történik. A mosási termékek kb. 34% durva és finom Mn-ércet, 5—6% Mn-homokot és 60% Mn-iszapot eredményeznek. A Mn-iszap átlagos Mn-tartalma 14—16%. Így az iszapban a nyersérc teljes Mn-tartalmának kb. 40—44%-a elvész a mosási meddőben. Az évek során felgyülemlett Mn-iszapot egy volt víztárolóban gyűjtik. A Mn-iszap a hányót képző tóban 40—50% víztartalmú.

A Mn-iszap jellegének pontosabb meghatározása végett elvégzett vizsgálatok során szitaelemzést végeztek és az egyes frakciók Mn-kihozatalát vizsgálták.

1. TÁBLÁZAT

Szemcsenagyság	Súly %	Mn %	Mn-tart.	Kihozatal %
...—0,2 .....	10,5	22,90	2,40	14,7
0,2—0,1 .....	10,6	20,8	2,20	13,5
0,1—0,06 .....	6,6	18,7	1,24	7,6
0,06 .....	72,3	14,5	10,48	64,2
	100%	16,3	16,3	100%

Megállapítható, hogy az iszap meglehetősen egynemű. Minél finomabb a szemcsenagyság, annál kisebb a Mn-tartalom. Az iszap zömét olyan rendkívül finom szemcse alkotja, amelynek fizikai elválasztására gyakorlati lehetőség nincs.

Az iszap lényegében agyagos kötőanyagba ágyazott piroluzit és főleg pszilomelán. A nedves plasztikus iszap levegőn szobahőfokon néhány nap alatt kiszárad, víztartalma 4—6%-ra csökken és ilyenkor darabossá válik, de könnyen őrlhető.

105°-on szárítva az iszap tömör lesz, de vízzel néhány napi állás után újból plasztikussá válik. 500° felett elveszti vízfelvevő képességét, de még aránylag könnyen őrlhető, 850°-on zsugorodni kezd és ilyenkor tömör, nehezen törő darabokat alkot, 1050°-nál kezdődik olvadása.

A különböző fizikai úton végzett dúsítási kísérletek 1951-ig eredménytelenek voltak, vagy pedig csak egészen silány eredményt adtak. 1951-ben sikerült dr. *Tarján* Gusztáv egyetemi tanárnak hidrociklon segítségével a mangániszapot tovább dúsítani. A 60%-os iszap-meddő 40%-ra, a meddőben lévő Mn-tartalom 15%-ról kerekén 12%-ra csökkenthető. [1] Az eljárás üzemi kísérleteitől várható siker és ez a kedvező változás főleg csak a jövőben mosott ércnél fog megmutatkozni, a jelenleg meglévő hatalmas iszaptó sokszázezer tonnás mennyiségét így aligha lehet gazdaságosan dúsítani. A hidrociklon utáni, 12% Mn-tartalmú meddő feldolgozása is nyitott kérdés. Nincs gyakorlati megoldás az egyéb bakonyi és az egervideki, — az úrkúti iszaphoz hasonló jellegű — agyagos ércek fizikai dúsítására sem. Ezért kémiai úton kíséreltük meg a Mn-iszap dúsítását.

## II. Kémiai feltárás

A Mn-iszap alkalmas mind az ammoniumsulfátos, mind a kéndioxidos feltárássra. A Bradley-eljárás [2], amelynél a redukáló módon pörkölt ércet ammoniumsulfátos oldattal lúgozzák, jó kihozatalt adott, azonban az iszapban lévő vastartalom is nagyrészt kioldódott és ezért szennyezett középterméket eredményezett.

A kéndioxidos eljárás, aminek részleteit többek között *Kakabadze* [3] és *Vedenski* [4] dolgozták ki, szintén jó eredményre vezetett és a még 1943-ban végzett kísérleteim során 96%-os kihozatalt kaptam viszonylag kis vastartalommal. Az SO<sub>2</sub> mesterséges előállítása azonban külön erre a célra nem gazdaságos, SO<sub>2</sub>-tartalmú füstgáz használata pedig a komprimálandó füstgáz nagy mennyisége miatt egyelőre nem látszik gyakorlatilag keresztülvihetőnek.

A *Naeser*-féle vassulfátos eljárásnál [5] az előzőleg redukálóan pörkölt iszapot hulladék-pácvízzel főzik, amikor is cserebomlás révén mangánsulfát alakjában oldatba megy. Az eljárás gazdaságossága attól függ, hogy a pácvíz vassulfát-tartalmát nem lehet-e célszerűbben, pl. festékgyártásra felhasználni és hogy egyáltalában lehet-e számítani a szükséges pácvíz-mennyiségre. Hazai viszonyaink mellett valószínű, hogy az iparban keletkező pácvizet más célokra kell fordítani.

Jelen kutatásunkban igyekeztünk minden máshol értékesíthető anyag felhasználását kiküszöbölni és kísérleteink során a Mn-iszapban lévő Mn-tartalom oldatba vitelére a magyarországi nagy kéntartalmú szenek elgázosításából kapott generátorgáz kénhidrogéntartalmát hasznosítottuk. A kísérletek laboratóriumi részét elvégeztük és néhány kisüzemi próbával megvizsgáltuk a gyakorlati alkalmazhatóságot is.

### III. Tájékoztató kísérletek

A kísérletek során az iszaphányóból vett kb. 10 tonna átlagmintát használtuk fel, melynek összetétele szárazanyagban a következő :

SiO <sub>2</sub> .....	24,2%	CaO .....	2,2 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	22,0%	MgO .....	0,4 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	20,9%	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,32%
ΣMn .....	15,6%	SO <sub>4</sub> .....	0,14%
MnO <sub>2</sub> .....	19,9%	hidrátvíz .....	5,4 %
MnO .....	3,9%		

Éz az összetétel jól egyezik az iszaphányó átlagos összetételével.

A Mn-iszap vizes szuszpenziója elnyelte a tiszta szintetikus H<sub>2</sub>S-t és a leszűrt oldatban Mn-szulfátot találtunk. Generátorgázzal azonban a reakció csak egészen kis mértékben folyt le, mert a generátorgáz CO<sub>2</sub>-tartalma a H<sub>2</sub>S-t elbontotta. További kísérleteinket ezért szárított Mn-iszappal végeztük, ami a generátorgázból is élénk reakció közben kötötte meg a H<sub>2</sub>S-t.

Különböző tájékoztató kísérletek után a következő célkitűzést fogadtuk el :

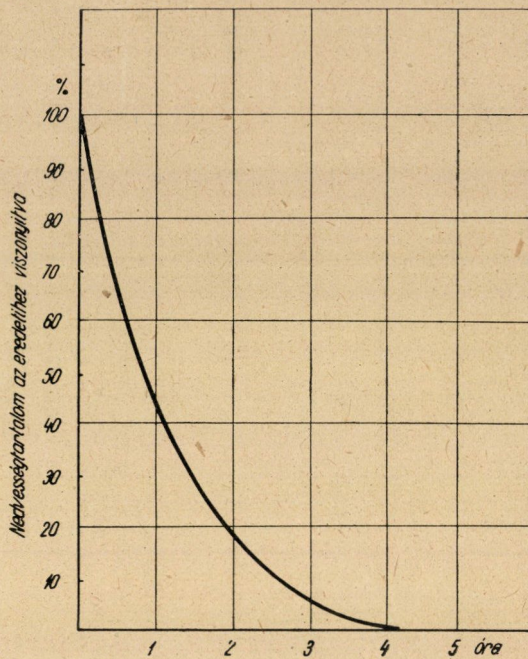
1. Az iszap száradásának jellege.
2. A Mn-iszap kénhidrogén megkötőképességének vizsgálata a nedvesség-tartalom függvényében. (A legkedvezőbb hidratációs állapot megállapítása.)
3. A megkötőképesség a gázsebesség függvényében.
4. Fluidizációs vizsgálatok.
5. A telítettség megállapítása.
6. A helyes szemcsenagyság megállapítása.
7. A reakció kemizmusának jellege.
8. A kén kitermelése.
9. A Mn-szulfát kitermelése.
10. A Mn-szulfát-oldat tisztítása.
11. Mangánoxid termelése mangánszulfát-oldatból.
12. Fém-mangán előállítása Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ből.
13. Fém-mangán előállítása elektrolízissel.
14. Egyes állandók megállapítása.

### IV. Részletes laboratóriumi kísérletek

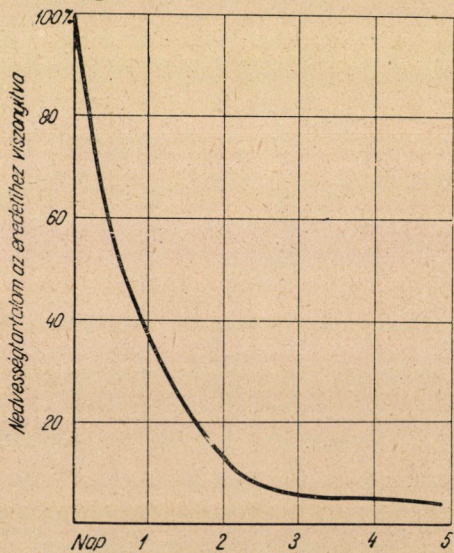
A felsorolt pontok alapján végzett kísérletek eredményei röviden a következők :

1. A nedves Mn-iszap száradását 105°-on és szobahőmérsékleten vizsgáltuk. A 105°-on való szárítást az *1a. ábra* jellemzi.

Szobahőmérsékleten végzett szárítási kísérletek : eredeti nedvességtartalom 29,6% H<sub>2</sub>O, szemnagyság 5—10 mm, levegő hőfoka 18—21°, relatív nedvességtartalom 58—70%. A száradás lefolyását az *1/b. ábra* mutatja.



1/a. ábra. A mangániszap száradása 105°-on



1/b. ábra. A mangániszap száradása szobahőfokon

2. A Mn-iszap nedvességtartalmának nagy hatása van a generátorgázban lévő  $H_2S$  elnyelésére. Kísérleti elrendezésünkben függőleges üvegcsőben mindig azonos mennyiségű (20 g) porított iszapmintát érintkeztettünk olyan ipari generátorgázzal, melynek  $H_2S$ -tartalma  $12,2 \text{ g/m}^3$  volt. Állandó, 5 cm/sec gázsebességgel dolgoztunk és változtattuk a berakott por nedvességtartalmát. A kísérleteket nem telítődésig, hanem addig folytattuk, míg a távozó gáz  $H_2S$ -tartalma éppen meghaladta az eredeti  $H_2S$ -tartalom 50%-át. Erre az egyszerűsítésre azért volt szükség, mert a további nyeletés során az iszap víztartalma és struktúrája megváltozott és a kísérlet céljára vonatkozólag felvilágosítást nem adott. Mivel mindenkor egyforma rétegmagassággal dolgoztunk, jól összehasonlítható értékeket kaptunk.

Az értékeléshez az 1 g anyag tisztította gázmennyiséget és a kísérlet után vett iszapminta kéntartalmát vettük figyelembe. A különböző víztartalmú iszapok elnyelőképességét mutatja a 2. táblázat és 2. ábra. Egyes kísérletek jellemző elnyelési görbéit ábrázolja a 3. ábra.

A kísérletek szerint a legkedvezőbb kiindulási nedvességtartalom 5—10% között van. A gázáramban tartózkodó massa közömbös volt a gáz nedvességtartalma iránt, ha hőmérséklete nem süllyedt a harmatpont alá. Normális körülmények között több órás behatás után a massa 3,5—5%-os nedvességtartalom között többnyire megállapodott.

## 2. TÁBLÁZAT

Mangániszap aktivitása a nedvesség függvényében

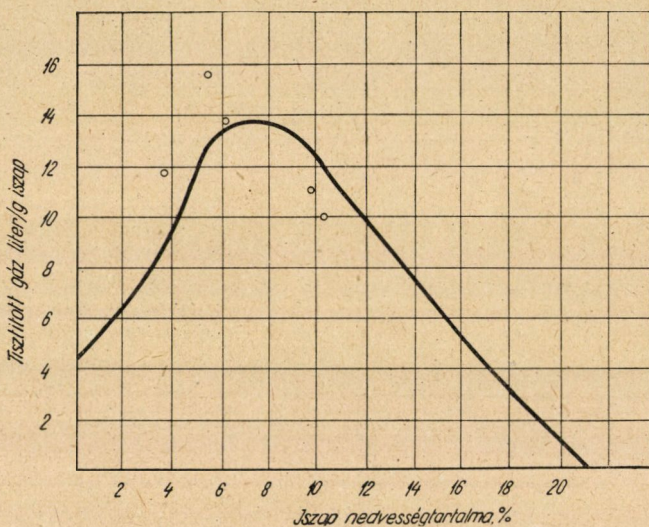
Kísérlet száma	Nedvességtart. az iszapban %	Tisztított gáz 1 g	Kivett iszap kéntart. %	Megjegyzés
1	szuszpenzió	—	—	
2	15,2	6,5	7,26	
3	9,1	10	7,97	
4	8,9	11,5	8,53	
5	6,9	13,5	9,91	
6	6,5	14	10,88	
7	6,05	14	10,96	
8	6,00	14	10,54	
9	5,35	16	10,87	kingró érték
10	5,33	12	9,10	
11	4,87	13,5	9,05	
12	4,87	10,5	8,93	
13	4,02	9	8,29	
14	3,5	8,5	8,06	
15	3,11	12	10,96	egri érc
16	2,07	5	5,59	
17	—	4	5,07	450°-on szárítva.
18	—	1	1,05	darabos nyers iszap

Megjegyezzük, hogy a 15. számú kísérlet nem úrkúti mangániszappal, hanem a demjéni (egervidéki) bányászati kutatás mintájából készült. Az érc jellege igen hasonló az úrkúti iszaphoz, összetétele a következő :



SiO <sub>2</sub> .....	13,8%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	36,8%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	11,9%
MnO .....	0,4%
MnO <sub>2</sub> .....	24,6%
CaCO <sub>3</sub> .....	5,0%
MgCO <sub>3</sub> .....	3,8%
hidrátvíz .....	3,5%
Σ Mn .....	16,4%

Megállapítható, hogy az egervidéki érc is jól dúsítható ezzel a módszerrel.



2. ábra. Mn-iszap aktivitása a víztartalom függvényében

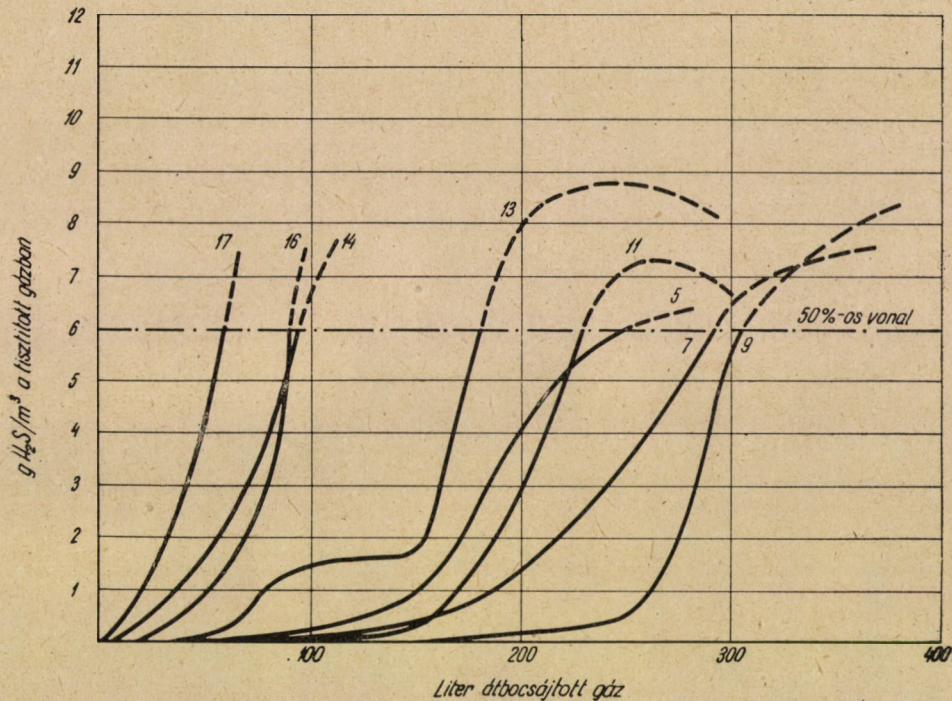
3. A gázsebesség befolyását az elnyeletés folyamatára az előbbi elrendezésben és módon vizsgáltuk, de állandó, 6,1% nedvességtartalmú port használtunk és a gáz sebességét változtattuk.

A gázsebesség hatását a 4. ábra mutatja. Legkedvezőbb gázsebességként 5—15 cm/sec-ot állapítottunk meg (üres csőre vonatkoztatva), figyelembe kell azonban venni, hogy 10 cm/sec felett a porzás már jelentékeny.

A gázsebesség kérdésének vizsgálatakor az eljárás egyik legkényesebb problémáját, nevezetesen a két fázis közti érintkezés legkedvezőbb megoldását kellett vizsgálnunk. Ez nemcsak a mangániszap és kénhidrogén gyors és teljes reakciója miatt döntő, de kihat a berendezés méretezésére, a szükséges gáznyomásra és a porzás körülményeire is. Ez a körülmény tette szükségessé, hogy a gáz és szilárd anyagok érintkezési módjának egyik újonnan vizsgált módjával végezzünk kísérleteket, az ú. n. fluidizációval.



4. A fluidizáció alkalmazásával érhető el szilárd porszerű anyagok és gáznemű fázis között a legjobb érintkezés. A fluidizációra vonatkozó általános jellemzőkkel ma már elég bőséges irodalom foglalkozik. [6, 7, 8] Megvizsgáltuk, hogy a kéntelenítés szempontjából milyen feltételek mellett kapunk jó fluidizációt. A vizsgálatok egyik részét a Nehézvegyipari Kutató Intézet végezte. Az eredményeket következőkben foglalhatjuk össze: \*



3. ábra. Jellemző elnyeletési görbék

a) 0,25 mm-es legnagyobb szemcsenagysággal jó fluidizáció érhető el. 0—0,5 mm-ig szemcseméretnél a durvább szemcsék az edény alján gyűlhetnek össze. A szükséges gázsebesség legalább 5—6 cm/sec. Ennél kisebb sebességnél megszűnik a fluidizáció. Lényegesen nagyobb sebesség porvesztést okoz. A nedvességtartalom lehetőleg ne legyen több 4%-nál.

b) Saját kísérleteinkkel is ellenőriztük ezeket az adatokat és a következő eltérést találtuk: 10 cm/sec sebességnél nem volt a porzás különösebben erős, bár huzamosabb idő után feltétlenül zavarokat okozna. Még 9% nedvességtartalmú anyagnál is elég jó fluidizációt kaptunk.

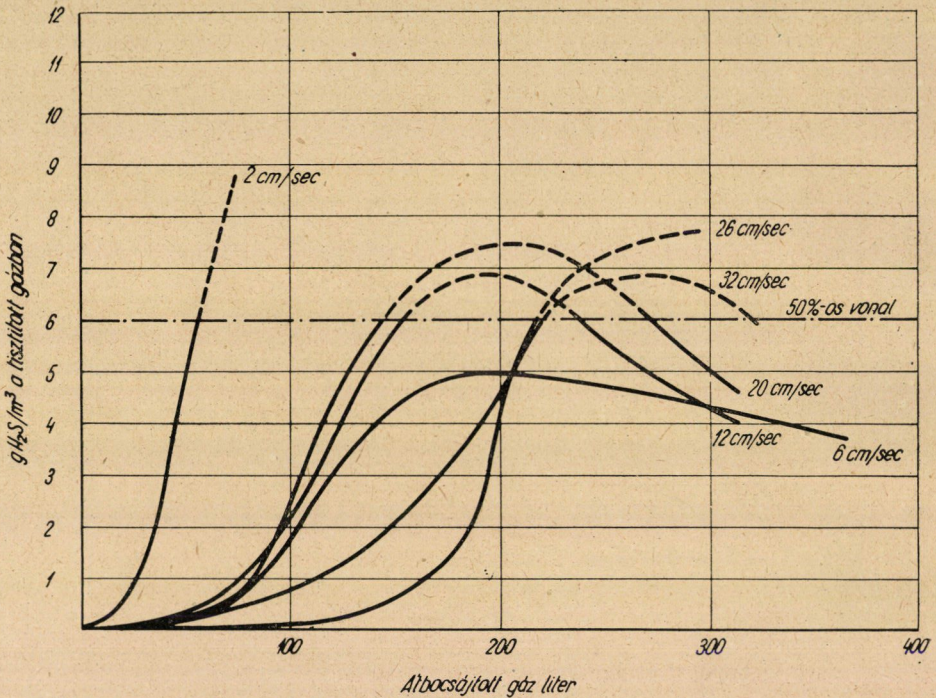
\* A fluidizációval végzett kísérletek részletes leírását egy másik témával kapcsolatban fogjuk közölni.



c) A fluidizált oszlopban keletkező nyomásvesztés értékei megfeleltek az irodalmi képletnek :

$$\Delta p = \frac{V}{F} (1 - d) (f_s - f_g)$$

ahol  $\Delta p$  a rétegben keletkező nyomásvesztés,  $V$  az oszlop térfogata,  $F$  az edény keresztmetszetének felülete,  $d$  a hézagok aránya a fluidizált ágyban,  $f_s$  a rész fajsúly,  $f_g$  a gáz fajsúly.



4. ábra. A gázsebesség hatása a mangániszap elnyelőképességére

Lényegében az oszlopban keletkező nyomásvesztés értéke azonos volt az oszlop kifejezte térfogatsúllyal. Adott esetben a térfogatsúly 1,01 lévén, minden cm poroszlopmagasság 1 cm vízoszlopnymást fogyasztott.

d) A fluidizált ágyban végzett nyeletési kísérletek igen jó eredményt adtak, mert 6 cm/sec gázsebesség mellett a massa saját súlyának kb. 50%-át vette fel kénben és még mindig elég aktív volt. (L. 5. pont.)

e) A fluidizációval járó élénk porzás, de még inkább a fluidizált oszlopban bekövetkező nagy nyomásvesztés igen nagy technikai nehézségeket okoz. A porzás költséges elektromos porleválasztót tesz szükségessé, a nagy nyomásvesztés pedig igen nagy teljesítményű kompresszort vagy több ventilátor-

egységet kíván, hiszen a nyeletés biztosítására feltétlenül nagyobb rétegmagassággal kell dolgozni. Így pl. a RM-Művekben vizsgált gáz nyomása 250 mm v. o. volt, ami legfeljebb 200 mm magas poroszlop fluidizációját teszi lehetővé. Ezért a későbbiekben erről az útról le kellett térnünk és a nyeletést nyugvó ágyban végeztük.

5. A mangániszap kénmegkötő képességének határait a teljes telítődésig való elnyeletéssel kívántuk megállapítani. A reakciót azonban minden esetben csak addig tudtuk folytatni, amíg a massa kéntartalma elérte a kb. 30%-ot, ezután a lerakódott kén már túlságosan akadályozta a gáz útját. A massa azonban még ilyenkor is aktív volt és a  $H_2S$  egyrészét továbbra is elnyelte. A telítődési folyamat jellemzésére adjuk alábbi kísérletsorozatot: 100 mm  $\varnothing$ -jű és

3. TÁBLÁZAT  
1600 g mangániszap telítése

Méré-	t óra	v m <sup>3</sup>	g/m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> S a tisztított gázban
1	5	8.5	0
2	10	16	ny
3	20	30	0.5
4	30	36	1.4
5	34	42	0.2 *mintavétel
6	36	45	0.2
7	40	49	ny
8	50	56	1.2
9	53	60	2.8
10	58	69	3.1
11	70	90	3.6
12	80	105	4.2
13	84	112	5.9
14	90	120	2.9
15	96	130	4.3
16	102	136	6.1

700 mm magas hengerbe 1600 g porított iszapot (0,3 mm) adagoltunk. Az iszap nedvességtartalma 6,05%, gázsebesség 6 cm/sec, nyersgáz  $H_2S$ -tartalma 12,3 g/m<sup>3</sup>.

6. A finomra porított anyag fentebb felsorolt hátrányai miatt megvizsgáltuk annak a lehetőségét, hogy nagyobb szemcse nagysággal dolgozzunk.

A nyers mangániszap száradás közben mogoró — ököl nagyságú, eléggé tömör darabokká szárad. Szilárdságuk a víztartalomtól függően 8—16 kg/cm<sup>2</sup>. Ebből az anyagból különböző szem nagyságú szitafrakciókkal telítési próbákat

\* Az 5. mérés után a masszát kivettük és a keletkezett gumókat összetörtük, majd újra töltöttük az edényt. A kivett átlagminta kéntartalma ekkor: 14,2% S. A 16. mérés után kivett átlagminta kéntartalma: 30% S. Gyakorlatilag nem látszik célszerűnek a telítést tovább folytatni. Ilyen telítődési arány mellett 1 kg szárított iszap 30—50 m<sup>3</sup> gázt tud folyamatos üzemben megtisztítani, ha a gáz  $H_2S$  tartalma 10—15 g/m<sup>3</sup>.

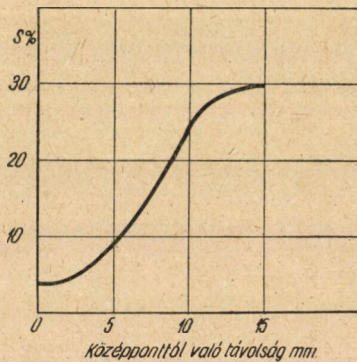


végeztünk. Külön megvizsgáltuk továbbá egyes nagyobb darabokon a reakció mélységbehatolási tényezőjét. (5. ábra.)

Megállapítottuk, hogy azonos telítési körülmények között a 0—0,3 mm-es frakció és az 5 mm-es frakció között mindössze 10—15% eltérés van. Nagyobb darabokon végzett réteganalízisek alapján azt találtuk, hogy 3—3,5 mm mélységig közel azonos a kéntartalom.

4. TÁBLÁZAT  
Szitafrakciók kéntartalma

Szitafrakció mm	S-tartalom %
0 —0,3	29,6
0,3 —0,6	29,8
0,6 —1	29,2
1 —1,5	27,2
1,5 —3	28,1
3 —5	27,3



5. ábra. 30 mm  $\varnothing$ -jú telített iszaprög kénmegoszlása

Mivel a durvább szemnagyság alkalmazásával elsősorban a porzást és a nyomásvesztést kívántuk elkerülni, megkerestük a legkisebb még alkalmazható szitafrakciót, melynek jelenléte az üzemi gázsebességnél nem okoz porzást. A részünkről használni kívánt 10—12 cm/sec gázsebesség mellett a 0,3 mm-es frakció még alkalmazható, mert ez csak 40 cm/sec-nál kezdett lebegni.

Üzemi körülmények között tehát legalkalmasabb a 0,3—5 mm közti szitafrakció. A szárított iszap törési és szitapróbáinál kb. 10% 0,3 mm-nél finomabb por keletkezett, amit a mangániszaphoz kell visszaadni.

Megvizsgáltuk a 0,3—5 mm-es frakció okozta nyomásvesztést. 10 cm/sec gázsebességgel 20°-os gáznál a nyomásvesztés 80 mm vízoszlop-nyomás 1 m anyagoszlopra. A technológiai folyamatnál az elvégzett számítások szerint 3—4 m-es anyagoszloppal célszerű dolgozni, így az egész nyomásvesztés



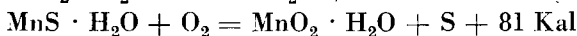
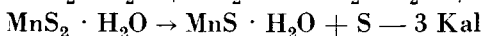
a berendezés okozta veszteséggel együtt kb. 300—350 mm vízoszlop-nyomás. Ilyen nyomást már egyszerű, esetleg kétfokozatú ventilátorral könnyen elő lehet állítani.

7. A kén megkötésének jellegét a különböző keletkezett termékek vizsgálata mutatja. Megállapítható, hogy szulfid csak átmenetileg keletkezik és gyorsan bomlik. A telített termék elemzése pl. a következő:

összes S-tartalom : .....	29,55%
szulfid kéntartalom : .....	0,22%
szulfát kéntartalom : .....	0,24%
elemi kéntartalom : .....	29,1%

A folyamatok megfigyeléséből és az elvégzett részletes elemzésekből a mangánoxid és a kénhidrogén közötti reakcióra vonatkozólag véleményünk szerint a következő folyamatok játszódnak le: a mangániszapban lévő mangánperoxid, ill. mangánperoxidhidrátok katalizálóan vesznek részt a kénhidrogén megkötésében. Feltehetően több instabil szulfid is keletkezik, így  $MnS_2$ , amit a frissen kivett telített massa színváltozása is bizonyít. Ezek a szulfidok a generátorgázban lévő 0,2—0,4% oxigén segítségével megbomlanak, elemi kén válik ki és a peroxidhidrátok regenerálódnak. Ezt a feltevést bizonyítja, hogy szulfidiónt a telített anyagban csak közvetlenül a telítés után lehet kimutatni, következtettünk továbbá a massa színének megváltozásából, végül abból a tényből, hogy levegőn állva a már alig aktív massa nagy mértékben reaktívódik és visszakapja elnyelőképességét.

Egyszerűsített módon elgondolásunk szerint a következő fő reakciók mennek végbe:



A mangániszapban lévő vas az ismert módon szintén résztvesz a reakcióban, de valószínűleg a mangánhoz viszonyítva alárendelt mértékben.

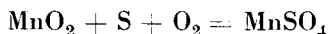
8. Az elemi kén a telített masszából a kén szerves oldószereivel könnyen kitermelhető, az így kapott kén azonban tartalmazza a gázból elnyelt kátrányt is és ezért szürkés színű.

200°-on  $CO_2$  áramban a S-tartalom kb. 15%-át lehet elég tiszta alakban szublimálni.

Nem lehetett túlhevített gőzzel olvasztani vagy  $(NH_4)_2S$  oldattal dolgozni, mert a massa agyagtartalma a kioldást megakadályozza.

Az elnyelt kén értékesíthető a massa pörkölésével, amikor a keletkezett  $SO_2$ -t kénsavgyártásra vagy további mangániszap feltárására használjuk fel. A továbbiakban ezt az utat választottuk.

9. A kénnel telített mangániszapból pörkölés útján mangánszulfátot lehet előállítani.



A feleslegben keletkező  $\text{SO}_2$  eltávozik.

Vizsgálatainkban először a különböző hőfokon pörkölt telített iszaphól oldható Mn-tartalmat vizsgáltuk. A kénnel telített massa Mn-tartalma pörkölés előtt 8,65% volt. A pörkölést addig folytattuk, amíg  $\text{SO}_2$ -fejlődést már nem észleltünk. A pörkölési kísérleteket az 5. táblázat ismerteti.

5. TÁBLÁZAT

Kísérlet száma	Pörkölési hőfok C°	Vízben oldható Mn a pörkölékben	Mn-kihozatal %
1	260	0,44	5,07
2	300	1,40	16,1
3	350	1,97	22,7
4	400	3,60	41,5
5	450	6,03	70,0
6	500	6,02	70,0
7	550	5,74	66,5
8	600	5,25	60,6
9	650	3,93	45,5
10	700	3,84	44,2
11	750	2,7	31,3
12	800	2,0	23,2

Ilyen módon 450—500°-os pörkölési hőfokon az anyag Mn-tartalmának 70%-a vízben oldhatóvá válik.

A Mn-kihozatal növelésére a pörkölt iszap vizes szuszpenziójába a pörkölésből eredő  $\text{SO}_2$  és  $\text{SO}_3$  gázkeveréket vezettük be.

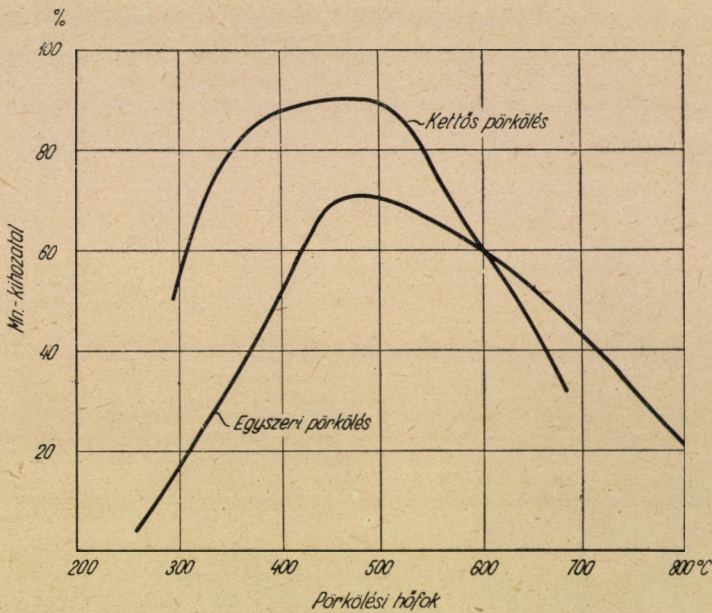
Tapasztaltuk, hogy a keletkezett gáz bevezetése alatt a szuszpenzió  $p_{\text{H}}$ -ja gyorsan 4,5-ről 2,5-re csökkent, ami a keletkezett pörkölési gáz mennyiségének már kb. 10%-ának adagolásánál bekövetkezett. Az iszap vizes szuszpenziójában a szilárd és vizes rész aránya 1 : 7 volt, a lúgzás időtartama 30 perc. A lúgzási hőfoknak 20—90° közötti vizsgálatánál azt találtuk, hogy a leggyorsabban 25—35° között megy végbe a reakció. Az ilyenkor keletkező mangánditionát utólagos főzéssel felbomlik,  $\text{MnSO}_4$ -é alakul. A különböző hőfokon végzett pörkölés eredményeit a 6. táblázat és 6. ábra mutatja.

6. TÁBLÁZAT

Kísérlet száma	Hőfok C°	Vízben oldható Mn-tart. %	Kioldott Fe-tart. %	Mn-kihozatal %
1	300	4,46	0,5	51,4
2	370	7,2	0,4	83,5
3	450	7,5	0,2	86,9
4	500	7,8	0,3	90
5	550	6,41	0,3	74,1
6	600	4,46	0,2	51,4

Ilyen módon a mangániszap Mn-tartalmának 90%-át sikerült oldani.

Ugyanakkor feleslegben keletkezett  $\text{SO}_2$ , amit kénsavgyártásra vagy az ismert kéndioxidos lúgzással újabb nyers mangániszap kilúgzására lehet hasznosítani. *Kakabadze* [3] szerint a lúgzásnál legkedvezőbb kihozatal (94%) elérhető, ha a Mn :  $\text{SO}_2$  aránya 1 : 2,9. 1 kg 30% S-tartalmú telített iszap pörkölésénél 600 g  $\text{SO}_2$  keletkezik, amiből annak saját Mn-tartalma kb. 150 g-ot fogyaszt el, a felesleges  $\text{SO}_2$  még további 1 kg, 16%-os Mn-tartalmú nyers iszap kilúgzására alkalmas. Ha azonban megelégszünk 75%-os kihozattal, akkor



6. ábra

elegendő a Mn :  $\text{SO}_2$  arányt 1 : 1,5-höz venni. Ebben az esetben 2 kg (száraz-anyagra vonatkoztatva) további nyersiszapot tudunk feldolgozni és a kitermelt Mn abszolút mennyisége megnövekszik.

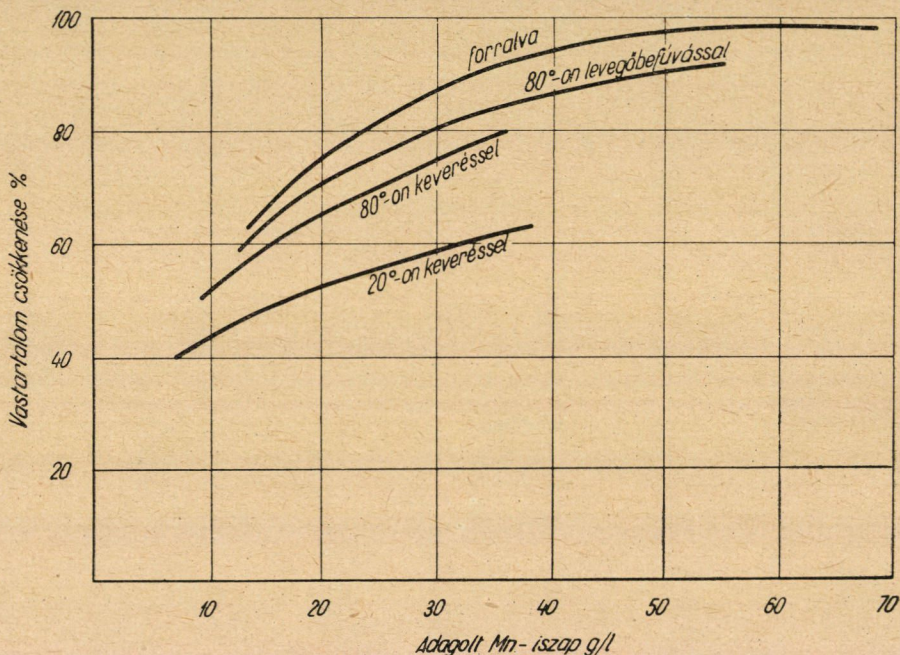
A mangánditionát keletkezése folytán bekövetkező veszteség minimumra csökkenthető, ha a lúgzás után az oldatot néhány percre forraljuk.

10. Lúgzás közben az iszap egyéb alkotórészei is részben oldódnak. Ezek közül a fémmangán későbbi előállítás szempontjából elsősorban a vastartalom okoz zavarokat, míg a Ca, Al, Mg sem az elektrolízisnél, sem az aluminotermikus eljárással nem szennyezik a fémeket. *Ketzlach* [9] kísérleteiből megállapítható, hogy a Fe és Al  $p_{\text{H}} = 4,5$ -nél leválik, míg a Mn csak  $p_{\text{H}} = 8$ -nál kezd leválni. *Ketzlach* a  $p_{\text{H}}$ -állítást ammóniával végezte, de használható más alkáliás reagens is. Legelőnyösebb tiszta MnO-val dolgozni, amit  $\text{MnSO}_4$ -ből szénrel való



redukció útján kaphatunk, vagy jóminőségű Mn-érből ugyancsak szénnel való redukció útján [10].

Mi közönséges nyers Mn-iszappal való főzés útján is jó eredményeket kaptunk, hiszen az iszapban a Mn részben (kb. 20%-a) mint MnO van jelen.\*) A kilúgzás után a szuszpenzióhoz további 72 g/l nyersiszapot adva és 10 percig főzve az eredeti Fe-tartalom több, mint 96%-a az oldatból levált és helyette MnSO<sub>4</sub> ment az oldatba. Így az oldatban a Mn : Fe aránya 100 : 0,05 volt. (7. ábra.)



7. ábra. Az oldott vastartalom csökkenése nyersiszap adagolásával

11. A tiszta MnSO<sub>4</sub> oldat további feldolgozásának egyik útja mangán-oxid előállítására. A leválasztás történhet Ketzlach [9] szerint ammóniával és levegőbefúvatással, amikor mangánhidroxid mellett melléktermékként ammóniumsulfát keletkezik. Egy másik irodalmi adat [11] szerint a mangánsulfátot CaCl<sub>2</sub>-oldattal mangánkloriddá alakítják át és mésztejjel kicsapják.

Legegyszerűbbnek a mangánsulfátoldat bepárlását látjuk és a kivált MnSO<sub>4</sub> termikus elbontását. Erre vonatkozólag Vedenszki [4] nagyüzemi tapasztalatokat közöl. A bepárlást vasedényben végzik, a kivált MnSO<sub>4</sub>-t forgó kemencében 1100°-on kalcinálják a  $3\text{MnSO}_4 \rightarrow \text{Mn}_3\text{O}_4 + 3\text{SO}_2 + \text{O}_2 - 207 \text{ Kal}$  reakció szerint.

\* Horváth Zoltán vizsgálatai szerint ez soha nem volt több 3%-nál. Szerk.

A kísérlet megismétlésekor megállapítottuk, hogy a  $\text{MnSO}_4$  disszociálása  $850^\circ$ -on indul meg és  $1130^\circ$ -on lényegében befejeződik. A keletkezett termék még némi  $\text{SO}_4$ -et tartalmazott. A kapott végső gáz  $\text{SO}_2$ -tartalma kénsavgyártásra, vagy körfolyamatban újabb nyersizap feltárására használható fel.

12. A kapott mangánoxidból nagy tisztaságú fémmangán állítható elő. Elektrotermikus úton való előállításnál a poralakú  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ -t előbb szemcsézni kell, ami történhetik forgókemencében  $1300^\circ$ -on, vagy pedig mésztejjel való brikettezés útján. Alumínótermikus előállításnál a poralakú  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  használható fel.

13. A lúgzásból kapott  $\text{MnSO}_4$  oldat tisztítása után elektrolízisre is alkalmas. Erre vonatkozó kísérletet még nem végeztünk, de részletes irodalmi adatokat találunk *Agladze* [12] cikkeiben és *Springer* [13] összefoglaló könyvében. Bár az üzemi tapasztalatok még elég sok nehézségre mutatnak, az elektrolízis látszik legkézenfekvőbbnek a  $\text{MnSO}_4$ -oldat feldolgozására, hiszen ezáltal mellőzhető a bepárlás, kalcinálás és kohósítás művelete. Áramfogyasztás szempontjából is lényegesen gazdaságosabb, mint pl. az alumínótermikus eljárás.

14. Néhány, a technológiai kivitel számára fontos adatot következőkben állapítottunk meg :

- a) 0,3—5 mm-es szem nagyságú elegy térfogatsúlya 1,01 kg/l.
- b) Ilyen elegy csúszási szöge  $35^\circ$ .
- c) Mn-izap szuszpenzióban a szilárd rész ülepedési sebessége : 0,057 m óránként.
- d) Mn-izap (száraz) fajhője :  $20$ — $100^\circ$  között 0,2.
- e)  $\text{MnSO}_4$  fajhője  $20$ — $100^\circ$  között 0,18.
- f)  $\text{MnSO}_4$  termikus elbontásához 455 Kal/kg szükséges (számított érték).
- g) Mn-izap szemcse nyomószilárdsága : 10% nedvességtartalomnál  $8,5 \text{ kg/cm}^2$ , 5%-nál  $15,9 \text{ kg/cm}^2$ .

#### V. Kiszüzemi kísérletek

Az eljárás döntő részének, a generátorgáz kéntartalmának mangániszappal való elnyeletésének üzemi viszonyok közti megfigyelésére kísérleti üzemi készüléket állítottunk fel.

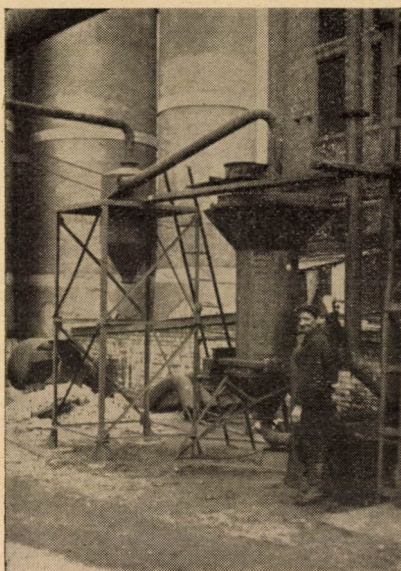
A készülék lényegében egy 1200 mm magasságú és 600 mm  $\varnothing$ -jú henger, melynek felső végére még egy tölcse rszerűen kiszélesedő feltétet hegesztettünk, hogy a gázsebesség csökkenésével a por visszahulljon. A készülék aljára szita-szövetre 3 cm-es rétegben 5 mm-es kavicsokból ágyat készítettünk a jobb gáz-eloszlás kedvéért. A 0,3 mm-es szitán átmenő légszáraz mangániszapot felülről kettős gázzáró tolattyúval ellátott garatból adagoltuk a készülékbe, míg az elhasznált masszát a henger alján a szita felett elhelyezett kilökő szerkezettel töltük egy kettős záródású garatba. Így a készüléket gáznyomás alatt folyamatosan tudtuk működtetni.



A nyersgázt kónikus csatlakozással vezettük a szita alá, míg a tisztított gázt porszűrőn és ciklonon keresztül kiveztük és elégettük. A készüléken a különböző próbavételek számára mintavevő csapokat és furatokat helyeztünk el.

A berendezést a generátorgáztelephez közel szereltük fel és a gázt közvetlenül a fővezetékéből kaptuk. A gáz hőmérséklete a fővezetékben kb.  $60^\circ$ , a készülékben  $50^\circ$  volt. Mivel a kísérleti készülék és Theissen-mosó között csak 20 m távolság volt, ezért a gáz rendkívül nedves és kátrányos volt. A kátránytartalom egyrészének eltávolítására kis vízzáras kátrányleválasztót építettünk a csőelágazás és a készülék közé.

A gáz sebességét 97/150-es mérőperemmel és differenciálmánométerrel



8. ábra. A kísérleti készülék

mértük. Üzem közben mértük a bemenő nyersgáz kéntartalmát, a kilépő tisztított gáz kéntartalmát és portartalmát, mind a készülék, mind a ciklon után.

A kísérletek során különböző gázsebességeknél vizsgáltuk a kéntelenítés mértékét, a porzást, a porréteg okozta nyomásvesztéséget, az iszap kénelvételt, a kátránytartalom befolyását és a folyamatos rendszer egész működését.

1. A kéntelenítés a kipróbált gázsebességi határok között (4–30 cm/sec) gyakorlatilag teljes volt és megfelelt a laboratóriumban kapott tapasztalatoknak.

2. A porzás	6 cm/sec	.....	0,2 g/m <sup>3</sup>
	12 „	.....	0,5 „
	30 „	.....	6 „

Ez azt jelenti, hogy gyakorlatilag 10 cm/sec feletti gázsebességnél a porzás nagy, de kisebb gázsebességnél is a mangániszapban lévő igen finom részecskék a gázáramba kerülnek és utólagos portalanítást tesznek szükségessé.

Az általunk használt ciklon erre a célra nem volt kielégítő és a lebegő pornak csak mintegy 40—50%-át tudta leválasztani.

3. A poroszlop okozta nyomásvesztés a reakció előrehaladásával jelentősen megnőtt, mert egyrészt a gáz kátránytartalma a kavicságyban és a réteg alsó részében lerakódott, másrészt a massa kénefelvétel közben gumókat képezett, amiket azután az alsó részből el kellett távolítani.

A friss massa betöltésekor lényegében a porréteg vastagságával lineárisan csökkent a nyomás, ha a gázsebesség elérte a fluidizációhoz szükséges 5—6 cm/sec-ot. Ennél kisebb gázsebességnél, ahol tehát csak szivárgás volt, de fluidizáció még nem, a nyomásvesztés lényegesen kisebb. 3 cm/sec-os sebességnél 600 mm-es oszlopban a nyomás 200 mm-ről 150 mm-re csökkent, tehát kb. 25% volt.

6 cm/sec-os gázsebességnél a folyamat fluidizációhoz hasonlóan képzelhető el és ekkor a nyomásvesztés a poroszlop súlyával lineárisan nő.

Mivel a kénefelvétel okozta gumóképződés megváltoztatja a massa jellegét, a mérések nem voltak jól keresztülvihetőek.

4. Az iszap felvette kén mennyiségét az az idő határozta meg, amit a massa a készülékben töltött. A kilépő gáz teljes kéntelenítése miatt a felül beadagolt friss masszával azonos mennyiséget kellett alul kilökni és így a készülék rövidsége miatt az érintkezési idő nem volt elegendő a teljes telítődéshez. A kilökött masszában ezért 12—17% S-t találtunk. Az oszlop hosszának növelésével vagy több készülék beállításával kell az áthaladási időt növelni. Az oszlophossz növelése azonban a már említett nyomásvesztés miatt poralakú anyagnál nem gazdaságos. Ezért a IV/6 fejezetben ismertetett kísérletek alapján a durvább szitafrakciók használatára tértünk át.

A készüléket 1100 mm magasságban 0,3—3 mm-es szitafrakcióval töltöttük meg. A nyomásvesztés az első órákban 12 cm/sec gázsebességnél 110 mm vízoszlopnomás volt. Porzás néhány perc után alig volt észlelhető, a kijövő gáz H<sub>2</sub>S-tartalma nulla volt. A 60°-os gáz nagy nedvességtartalma azonban 1 nap alatt az anyagoszlop egy részét fokozatosan eliszaposította és dugulást okozott, ezért a kísérlettel telítési vizsgálatot nem tudtunk végezni. Az oszlop alsó részéből kivett minta 18% S-t tartalmazott.

5. A kátránytartalom a vizsgált gázban 3 g/m<sup>3</sup> körül volt. Ez a reakcióra befolyással nem bírt, ellenben a massa alsó részében, valamint a készülék egyes pontjain lerakódott és eltömődéseket okozott. Folyamatos működéskor ez a tény csak hosszabb idő után okoz zavarokat, mert az alsó réteg folyamatos eltávolításával a kátrányos részt is eltávolítjuk.

6. A készülékkel két szakaszban 20—20 000 m<sup>3</sup> gázt tisztítottunk meg. A kéntelenítés kifogástalan volt, mert a 12—13 g/m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>S-tartalmú nyersgáz

a tisztítás után 0—0,2 g/m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>S-t tartalmazott. A tapasztalatokból az elrendezésre vonatkozólag a következőket szűrtük le:

a) A finom por használata nem célszerű, mert csak kis oszlopmagasságot enged meg. Emellett nem érhető el, hogy a gáz ugyanabban a munkamenetben teljesen kéntelenedjék és ugyanakkor a massa is telítődjék. Az ehhez szükséges 3—4 m-es oszlopmagasság csak durvább (0,3—3 mm) szemcse nagysággal állítható elő. Ennek az elgondolásnak helyességét a kísérletek teljesen igazolták.

b) A helyes gázsebesség 10 cm/sec körül van. Ennek megfelelően a kéntelenítő reaktorokban 1000 m<sup>3</sup>/óra tisztítandó gázra 2,8 m<sup>2</sup> alapfelülettel kell számolni.

c) A gáz kátránytartalma a reakciót magát nem zavarja, de 2 g/m<sup>3</sup>-nél nagyobb kátránytartalom a készüléket idővel elszennyezi.

d) A gáz hőfoka alig befolyásolja a reakciót, de ha a mangániszap hőfoka lényegesen alacsonyabb a gázénál, a reakciónál keletkező víz és a kondenzációs nedvesség eliszapósítja a masszát. Ez azonban csak akkor mutatkozott kellemetlenül, ha a gáz hőfoka 40°-nál nagyobb és vízgőzzel telített volt. Ezért a gázt a reaktorba lépése előtt 40° alá kell hűteni.

#### VI. Következtetések összefoglalása

A laboratóriumi és kisüzemi kísérletekből alábbi általános következtetések vonhatók le:

1. A légszár az mangániszappal a generátorgázban lévő H<sub>2</sub>S-t teljesen meg lehet kötni és így gyakorlatilag kénmentes fűtőgázt előállítani.

2. A tisztítás a gázban lévő H<sub>2</sub>S koncentrációjának széles skálájában egyaránt tökéletes.

3. Az iszap legkedvezőbb nedvességtartalma 6—10%. Gyakorlatilag legmegfelelőbb szemnagyság a 0,3—5,0 mm-es szitafrakció. A legkedvezőbb gázsebesség 5—15 cm/sec.

4. A kénmegkötés reakciója lényegében katalizáló és elemi kén keletkezik.

5. Az iszap gazdaságosan 25—30% S-tartalomig telíthető. Ha tehát a gázban 10 g/m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>S van, úgy 1 kg légszár az mangániszap 40—50 m<sup>3</sup> gázt tisztít meg. Ilyen kéntartalmú gázból napi 1 000 000 m<sup>3</sup> gáz megtisztításához 20 tonna légszár az iszap szükséges.

6. A felhasznált iszap Mn-tartalmának 90%-a termelhető ki vízben oldható MnSO<sub>4</sub> alakjában. A feleslegben keletkező SO<sub>2</sub> felhasználásával további nyers-iszap-mennyiségek dolgozhatók fel.

7. A keletkező MnSO<sub>4</sub> igen tiszta és mind elektrolitos fémnyerésre, mind Mn<sub>3</sub>O<sub>4</sub> és azt követő aluminotermikus eljárással fém-Mn termelésére alkalmas.

8. Ha a feleslegben keletkező  $\text{SO}_2$ -t nem kívánjuk további nyersiszap oldására felhasználni, úgy az kénsavgyártásra fordítható.

9. Az eljárás hulladék-terméke a kilúgzott Mn-izsap. Ennek értékesítése még nincs kidolgozva. Vastartalma (kb. 20%) miatt Krupp-féle hőmpolygető eljárással (Rennverfahren) való feldolgozásra tekintetbe jöhet. Plasztikus tulajdonságai és alacsony zsugorodási pontja alapján téglagyártáshoz és kerámiai készítményekhez felhasználható.

10. Az egész eljárás során vegyszert nem használunk fel, hanem terhes hulladéktermékből állítunk elő nagyértékű anyagokat.

### VII. Technológiai folyamat

A kísérletek alapján üzemterv készült. Az üzem célja egyrészt tiszta fém-mangán előállítás, másrészt a generátorgáz kéntelenítése során szerzett üzemi tapasztalatok gyűjtése később létesítendő nagyméretű telep számára.

Az üzem számára kidolgozott technológiai folyamatot röviden közöljük :

#### A) Úrkúti mangániszap feldolgozása.

1. Az iszapóban lévő úrkúti mangániszap nedvességtartalma 40—50%, felszedés után kb. 30%. Kiszáritása forgó csőszáritóban történik, befújtatott kb. 100°-os levegő segítségével. A mangániszap rátapadását a csőfalra láncokkal és kaparóval akadályozzuk meg. A szárított termék víztartalma 6—10% legyen.

2. A száritóból kihulló terméket 0,3—5 mm-es sziták között átengedjük. Az 5 mm-nél durvább részt hengeres törőn 5 mm-re törjük, majd ebből is a 0,3 mm-nél finomabb frakciót kiszitáljuk. A 0,3 mm-nél finomabb részt (kb. 10%) visszaadjuk a nedves nyersiszapba és evvel együtt újból szárítjuk.

3. A 0,3—5 mm-es iszapot a reaktorokba töltjük. A reaktorokban a mangániszap kéntartalmú generátorgázzal érintkezik. Eközben megköti a gáz kénhidrogéntartalmát és gáztisztító anyagként szerepel. A kéntelenített generátorgázt az esetlegesen magával ragadott portól ciklon segítségével megtisztítjuk és felhasználási helyére vezetjük.

A mangániszap és generátorgáz  $\text{H}_2\text{S}$ -tartalma reakciójának legkedvezőbb feltételei: a gáz hőfoka 30—50° között, nyomás kb. 400 mm v. o., kátránytartalom 3 g/m<sup>3</sup> alatt legyen. Gázsebesség (üres reaktorra vonatkoztatva) 60—120 mm/sec. Az iszap nedvességtartalma, különösen az érintkezés első időszakában 8—10% legyen.

A mangániszap kb. 30% ként köt meg, tehát olyan gázból, melynek  $\text{H}_2\text{S}$ -tartalma 15 g/l, 1 kg száraz iszap 30 m<sup>3</sup>-t tisztít meg, ill. 1 kg iszap feldolgozására 20—30 m<sup>3</sup> generátorgáz átbocsátására van szükség.

A kénabszorpciót folytonos üzemben végezzük, a reaktorokban az említett darabnagyságú iszap lassan felülről lefelé vonul, míg a gáz alulról felfelé áramlik. A friss iszap betöltése és telített iszap kihordása kettős gázzáró zsilippel történik.



4. A reaktorból kihordott kénnel telített iszapot kalapácsos malomban 0,5 mm-nél kisebb szemnagyságra őröljük a jó pörköltettség miatt.

5. Az őrölt kénes iszapot forgókemencében szulfatizálólággal pörköljük. Ekkor a mangán legnagyobb részben vízben oldható mangánszulfáttá alakul át. A feleslegben lévő kén kéndioxiddá, kis részben kéntrioxiddá ég el.

6. A pörkölt kemencéből kijövő anyagot lúgzóedényben háromszoros mennyiségű vízzel hidegen kilúgozzuk. A kemencéből fejlődő  $\text{SO}_2$ -gázt a lúgzóedénybe nyomjuk és annyi nyers mangániszapot adagolunk, hogy annak Mn-tartalma az  $\text{SO}_2$ -höz 1 : 2,5 arányban legyen.

7. A lúgzás alatt némi vas is oldódik. Ennek eltávolítására a kilúgzott zagyot egy másik kádba eresztjük, ott további friss nyersiszap hozzáadásával félóráig főzzük. Ilyenkor a keletkezett ditionátok elbomlanak, egyúttal az oldatba ment vas kicsapódik és újabb mangán megy oldatba.

8. Az előző edényből kapott zagyot szűrőcentrifugába eresztjük és az oldatot elválasztjuk a kilúgzott meddtől. A meddő iszapot hányóra hordjuk, feldolgozására későbbiekben adunk javaslatot.

9. A centrifugából kapott tiszta szüredék közel vegytiszta mangánszulfát-oldat, koncentrációja kb. 15%-os. Feldolgozása történhetik elektrolízissel az irodalomból ismert módszer szerint. Ennek nehézségeit figyelembevéve a közbelső oxidelőállítást dolgoztuk ki részletesen.

A centrifugából kapott kb. 15%  $\text{MnSO}_4$ -tartalmú oldatot a lúgzáshoz visszavezetjük mindaddig, míg az közel telítetté válik. A telített oldatot nyitott kristályosító edényben bepároljuk és a kivált  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  kristályokat az anyalúgtól elválasztjuk. Másik lehetőség az oldat teljes bepárlása hengeres szárítókon.

10. A  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  kristályokat forgókemencében 1100—1200°-on elbontjuk;  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  és  $\text{SO}_2$  keletkezik.

11. A keletkező  $\text{SO}_2$ -t kénsavgyártásra használhatjuk fel. Adott esetben az  $\text{SO}_2$  úgy is értékesíthető, hogy körfolyamatban további nyersiszap feltárására használjuk, amit az ismertetett lúgzóedényben hajthatunk végre.

12. A keletkezett  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ -ból alumínotermitikus redukcióval nagytisztaságú fémmangán nyerhető.

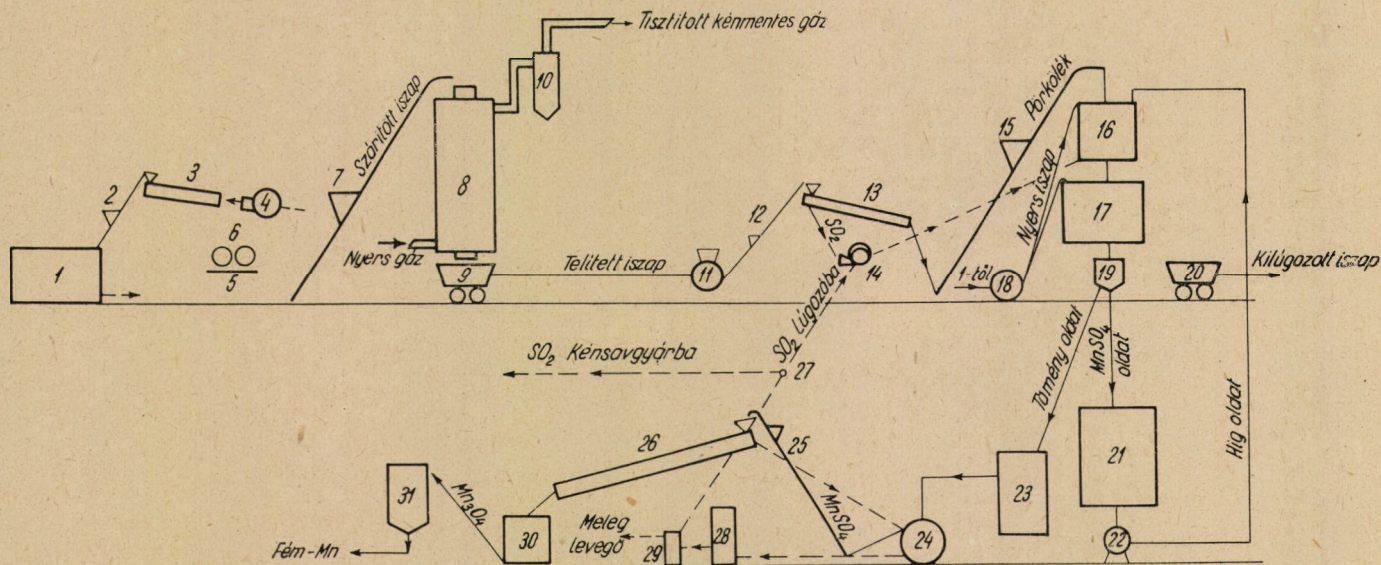
#### B) Egervideki érc feldolgozása.

Úrkúti mangániszap helyett a jelenleg bányászati kutatás alatti *egervideki mangánérc* is feldolgozható. Ennél az ércnél következő eltéréseket kell figyelembevenni az A) pontban közöltekhez :

1. Az érc bányanedves állapotban is szilárd. Szárítása csak túlzott nedvességtartalom esetén szükséges. A megengedett legnagyobb nedvességtartalom : 15%  $\text{H}_2\text{O}$ .

2. Az egervideki érc valamivel aktívabb az úrkúti iszapnál és általában 10%-kal több kénes gázt képes megtisztítani, illetve teljes telítéséhez 10%-kal több gáz átbocsátása szükséges.





**MANGÁNISZAP DÚSÍTÁSA KÉNES GENERÁTORGAZZAL**

9. ábra. Az eljárás törzsfája

1. Iszaptároló medence. — 2. Elevátor. — 3. Szárító csőkemence. — 4. Meleg levegő ventilátor. — 5. Szita. — 6. Hengeres törő. — 7. Ferde elevátor. — 8. Reaktor. — 9. Kihordó csille. — 10. Porlevélasztó ciklon. — 11. Kalapácsos malom. — 12. Kanalas elevátor. — 13. Pörkölő kemence. — 14. Gázszivattyú. — 15. Felvonó. — 16. Lúgzó kád. — 17. Tisztító kád. — 18. Iszapszivattyú. — 19. Szűrőcentrifuga. — 20. Kihordó csille. — 21. Lúgtartályok. — 22. Folyadékszivattyú. — 23. Lúgtartály. — 24. Bepárló v. kristályosító. — 25. Kanalas elevátor. — 26. Kalcináló csőkemence. — 27.  $\text{SO}_2$ -elosztó. — 28. Gőzkazán. — 29. Hőkicsérélő. — 30.  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ -tároló. — 31. Alumino-termikus kemence.

3. A telítés és pörkölés azonos. A lúgzásnál azonban a feleslegben keletkező  $\text{SO}_2$  megkötéséhez szükséges nyersiszapot külön kell előállítani egy keverőkádban.

4. A vastalanítás céljára az egri nyersérc kis  $\text{MnO}$ -tartalma miatt nem alkalmas. Az A) 7. alatt leírt tisztító főzést úrkúti nyersiszappal vagy külön e célra elkészített redukálva pörkölt Mn-érccel célszerű elvégezni.

5. Az egri érc nagyobb  $\text{CaCO}_3$ -tartalma (3—5%) miatt gipsz keletkezik, ami némi kénvesztéssel jár. A szűrésnél a centrifugába való töltés előtt a zagyot teljesen le kell hűteni, hogy a gipsz legnagyobbbrészt a meddőben maradjon.

6. Az egyéb folyamatok, valamint a kihozatal azonosak az úrkúti iszapnál leírtakkal.

Az eljárás törzsfáját a 9. sz. ábra mutatja.

Az elvégzett munka nem meríti ki a szegény mangánércék és melléktermékként keletkező fémvegyületek reakciói érdekes jelenségeinek minden lehetőségét. Az eddigi eredmények azonban lehetővé teszik ezeknek a hulladékoknak teljesen új utakon való gazdaságos értékesítését.

Végezetül köszönetet mondok munkatársaimnak: dr. Mázor László intézeti tanárnak, aki az elvi tételek kidolgozásában és a kísérleti munkában jelentős segítséget nyújtott; dr. Popp Katalinnak és Bálint Gyulának, a kísérletek elvégzésében nyújtott odaadó munkáért; a Rákosi Mátyás Művek vezetőségének és dolgozóinak, akik az üzemi kísérletek elvégzését lehetővé tették.

## IRODALOM

1. Dr. Tarján Gusztáv : Úrkúti mangánérc iszapjának dúsítása hidrociklonnal. Bányászati Lapok 1952. II.
2. Zapfe : Szilíciumos mangánércék lúgzása Bradley-eljárással. Eng. and Min. J. 1929. 127—128. és DRP 602281.
3. Kakabadze V. M. : Mangániszapok és ércék kéndioxidos feldolgozása. Zsurnal Prikladnoj Kimii, 1951. 3.
4. Vedenszky : Az  $\text{SO}_2$ -vel való eljárás Mn-ércek feldolgozására. Eng. and Min. J. 1946. 8.
5. DRP 700153.
6. Kalbach : Fluidizáció kémiai reakciónál. Chem. Eng. 1947. I.
7. Leva, Grummer, Weintraub : Bevezetés a fluidizációba. Chem. Eng. Progress, 1948. VII.
8. Fluidizációs Szymposium : Ind. Eng. Chem. 1948. VI.
9. Ketzlach : Mangánsó oldatok tisztítása. Min. Eng. 1900. III.
10. Plakszin és Juchtanov : Hidrometallurgia. Moszkva. 1949.
11. Mangánérc nyerése szegény ércekből. Iron Age, 1950. I.
12. Agladze R. I. : Elektrolitikus mangánelőállítás technológiája. Izvesztia Ak. Nauk, Sz.Sz.Sz.R. 1942. 1—2.
13. Springer R. : Elektrolitos mangánleválasztás. Leipzig. 1951.

### Összefoglalás

Mangánércbányák iszapos mosási meddője és más,  $\text{MnO}_2$ -tartalmú iszapos szegény ércek kénhidrogéntartalmú generátorgázzal feltárhatók. Az érciszap  $\text{MnO}_2$ -tartalma katalitikus úton megköti a gáz kénhidrogéntartalmát és így ipari gázok kénteleníthetők. A kénnel telített iszap pörkölés és vizes lúgzás után tiszta mangánszulfátoldatot ad, amit mangánoxidra és fémmangánra lehet feldolgozni.



# MEREVVÉGŰ RÁCSOS VEZETÉKOSZLOPOK MÉRETEZÉSE CSAVARÁSRA

CSONKA PÁL

a műszaki tudományok doktora

[Beérkezett 1952. október 1-én]

## Bevezetés

Ez a tanulmány derékszögű négyoszlophasáb szerint alakított rácsos vezetékoszlopok csavarásra való méretezésével foglalkozik, a rácsos szerkezetek elméletében szokásos feltevések alapján. A tárgyalás oly oszlopokat ölel fel, melyek lent merev talptömbhöz csatlakoznak, fent merev fejtömbben végződnek, átlós keresztük pedig legfeljebb a talp-, illetve fejtömbhöz való csatlakozás helyén van.

Az itt tárgyalandó feladattal lényegében véve azonos kérdéssel foglalkoznak *Póczy Mihály* [1] és *Barta József* [2] korábban megjelent cikkei is, de ezek — a számítás egyszerűsítése érdekében — az oszlop egyes rúdjaiknak keresztmetszeti területét a többi rúdkeresztmetszethez képest végtelen nagyra tekintik. Jelen tanulmány nevezett szerzők részéről alkalmazott közelítő feltevéseket elejtve, a feladat *pontos* megoldását mutatja meg, mégpedig az 1., illetve 2. ábrán feltüntetett rácsosztások esetére. A rúdvégeken kialakított csuklók az 1. ábrán látható esetekben térbeliek, a 2. ábrán baloldalt bemutatott esetben síkbeliek, a jobboldalt szemléltethető esetben pedig térbeliek.

## Jelölések

Az oszlop öveit az oszlop palástján való körüljárás sorrendjében I, II, III, IV számokkal jelöljük meg. Ezenkívül a következő jelöléseket alkalmazzuk:

- $M$  a csavaró erőpár forgató nyomatéka;
- $a, b$  a rácslapok szélessége, egyben a vízszintes rácsrudak elméleti hosszúsága;
- $A, B$  az  $a$ , illetve  $b$  szélességű rácslapok ferde rácsrúdjaik elméleti hosszúsága;
- $c$  az övrudak elméleti hosszúsága;
- $n$  egy-egy hasábél övrúdjaik száma;
- $F_a, F_b$  az  $a$ , illetve  $b$  szélességű rácslapok vízszintes rácsrúdjaik keresztmetszeti területe;
- $F_A, F_B$  az  $a$ , illetve  $b$  szélességű rácslapok ferde rácsrúdjaik keresztmetszeti területe;
- $F_c$  az övrudak keresztmetszeti területe;
- $T_a, T_b$  az  $a$ , illetve  $b$  szélességű rácslapokra jutó vízszintes nyíróerő.

Az alkalmazandó egyéb betűjelek értelmét adandó alkalommal magyarázzuk meg.

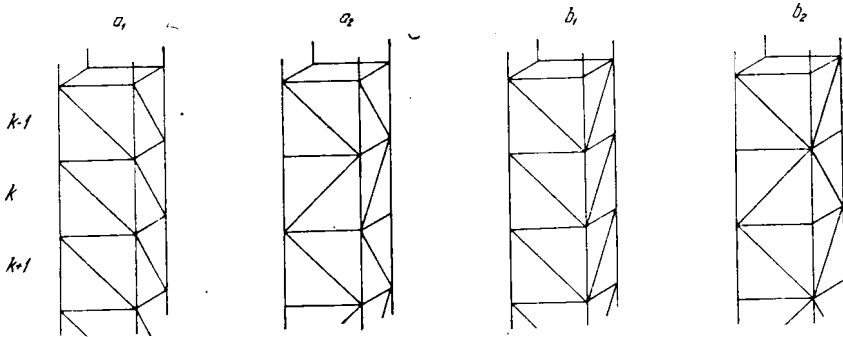


### A $T_a$ és $T_b$ nyírőerők

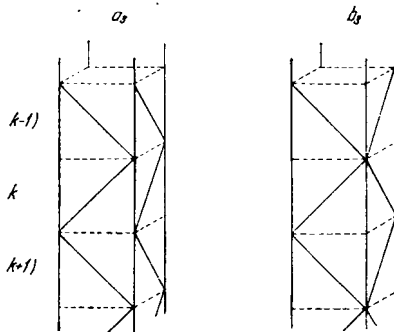
Az oszlop felső végén működő  $M$  csavaró erőpárból az oszlop rácscikkjaira  $T_a$ , illetve  $T_b$  vízszintes nyírőerők jutnak. Ezek számítására különféle képletek használatosak, azonban valamennyi képlet a következő közös alakban írható:

$$T_a = \frac{R_b}{R_a + R_b} \cdot \frac{M}{b},$$

$$T_b = \frac{R_a}{R_a + R_b} \cdot \frac{M}{a}.$$



1. ábra. Az  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ , és  $b_2$  fajtájú rácsozat



2. ábra. Az  $a_3$  és  $b_3$  fajtájú rácsozat

Az  $R_a$ , illetve  $R_b$  mennyiségek az  $a$ , illetve  $b$  szélességű rácslapok merevségével fordítottan arányosak. Értékük az alábbiak szerint határozható meg.

1. Tiszta csavarás esetében [3], továbbá olyankor, amidőn a rácscrudak keresztmetszeti területe az övrudak keresztmetszeti területéhez képest végtelen nagy,

$$\left. \begin{aligned} R_a &= 1, \\ R_b &= 1. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Számos szabályzat, köztük a német VDE 0210 számú szabvány is, ezeknek a képleteknek a használatát írja elő.

2. A *Póczy Mihály* tárgyalta esetben, vagyis akkor, ha az övrudak és ferde rácsrudak keresztmetszeti területe a vízszintes rácsrudak keresztmetszeti területéhez viszonyítva végtelen nagy,

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{a^3}{F_a}, \\ R_b &= \frac{b^3}{F_b}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3. A *Barta József* tanulmányozta esetben, tehát olyankor, midőn csupán az övrudak keresztmetszeti területe tekinthető végtelen nagy,ak,

$$\left. \begin{aligned} R_a &= \frac{a^3}{F_a} + \frac{A^3}{F_A}, \\ R_b &= \frac{b^3}{F_b} + \frac{B^3}{F_B}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Ha a vízszintes rácsrudakban a rúderő zérus ( $a_2$ , illetve  $b_2$  fajtájú rácsozás), továbbá olyankor, midőn az oszlopnak egyáltalán nincsenek is vízszintes rácsrúdjai ( $a_3$  és  $b_3$  fajtájú rácsozás), a vízszintes rácsrudakra vonatkozó tagok a fenti képletekből kimaradnak.

4. Az előző képletek — egyszerűség okából — nincsenek tekintettel arra, hogy egy-egy rácslapon a vízszintes rácsrudak száma ( $n - 1$ ), a ferde rácsrudak száma ellenben  $n$ . Ha erre a körülményre is tekintettel vagyunk, az említett képletek így módosulnak :

$$\left. \begin{aligned} R_a &= (n - 1) \frac{a^3}{F_a} + n \frac{A^3}{F_A}, \\ R_b &= (n - 1) \frac{b^3}{F_b} + n \frac{B^3}{F_B}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

5. Ha végül elejtjük azt a feltevést is, hogy az övrudak keresztmetszeti területe a rácsrudak keresztmetszeti területéhez viszonyítva végtelen nagy, a következő *pontos képleteket* kapjuk :

$$\left. \begin{aligned} R_a &= (n - 1) \frac{a^3}{F_a} + n \frac{A^3}{F_A} + N \frac{c^3}{F_c}, \\ R_b &= (n - 1) \frac{b^3}{F_b} + n \frac{B^3}{F_B} + N \frac{c^3}{F_c}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Az  $a_2$ ,  $a_3$ , illetve  $b_2$ ,  $b_3$  fajtájú rácsozás esetén a vízszintes rácsrudakra vonatkozó tagok ezekből a képletekből is kimaradnak.

A fenti képletekben előforduló  $N$  tényező értéke az oszlop rácsozási módjától függ. Az  $a_1$ ,  $a_2$  és  $a_3$  fajtájú rácsozásnál

$$N = \frac{n(n^2 - 1)}{3}, \quad (5a)$$

a  $b_1$ ,  $b_2$  és  $b_3$  fajtájú rácozásnál pedig

$$N = \frac{n(n^2 + 2)}{3}. \quad (5b)$$

Az (5) alatti pontos képletek, mint különleges esetet, az előzőleg említett közelítő képleteket is magukban foglalják.

#### Az (5) képletek levezetése

Az alábbiakban az (5) alatti képleteket csak az  $a_1$  fajtájú rácozás esetére igazoljuk. Hasonló módon történhetik a képletek igazolása az  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  esetekben is.

Feladatunk, a merev fej-, illetve talptömbben végződő rácsos oszlop problémája, statikai szempontból tulajdonképp hatszorosan határozatlan, de a szimmetria adottságok felhasználásával kétszeresen határozatlan feladatként tárgyalható.

A feladat megoldása során az oszlopot a merev fejtömbhöz való csatlakozás helyén kettétmetsszük, de ugyanakkor a szerkezet merevségének biztosítására a rácslapok felső határolására egy-egy merev hevederrudat alkalmazunk. Az ily módon statikai szempontból határozottá tett »törzsszlop« tetején az eltávolított fejrészsel való összeilleszthetőség érdekében a belső erőket külső erőhatásokkal, nevezetesen a

$$T_a, T_b, V$$

kapcsolati erőkkel pótoljuk (3. ábra). Ezeknek az erőhatásoknak egyensúlyi okokból a merev fejtömbre működő  $M$  erőpárral kell egyenértékűeknek lenniök, tehát

$$bT_a + aT_b = M. \quad (6)$$

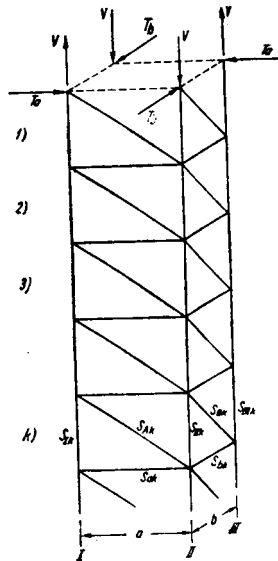
A kapcsolati erők hatására a rudakban a 3. ábrán feltüntetett erők keletkeznek. Értékük:

$$\left. \begin{aligned} S_{Ik} &= +V + k \frac{c}{a} T_a - (k-1) \frac{c}{b} T_b = S_{IIIk}, \\ S_{IIk} &= -V + k \frac{c}{b} T_b - (k-1) \frac{c}{a} T_a = S_{IVk}, \\ S_{ak} &= T_a, \quad S_{Ak} = -\frac{A}{a} T_a, \\ S_{bk} &= T_b, \quad S_{Bk} = -\frac{B}{b} T_b. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

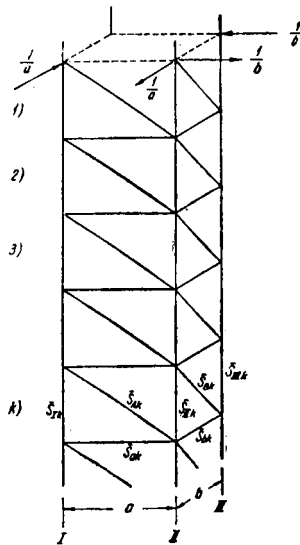
Az oszlop tetejére működtetendő  $T_a$ ,  $T_b$ ,  $V$  kapcsolati erők értékét a (6) alatti egyensúlyi követelményen felül az szabja meg, hogy az oszlop felső merev

hevedereinek az eltávolított merev fejrészsel alakváltozás után is hézagmentesen összeilleszthetőeknek kell lenniök. Ahhoz, hogy ez lehetővé váljék, az szükséges, hogy

- $\alpha)$  az övek az alakváltozás során azonos hosszváltozást szenvedjenek ;
- $\beta)$  a felső hevederrudak tengelyvonalai az alakváltozás után is merőlegesek maradjanak egymásra.



3. ábra. A kapcsolati erők előidézte rúderők



4. ábra. A képzelte erőrendszer

A következőkben ezzel a két feltétellel foglalkozunk.

*Az övek azonos hosszváltozásának feltételét* csak két szomszédos övre, például az I. és II. jelű övre írjuk fel. Ha ugyanis két szomszédos öv hosszváltozása azonos, akkor a fennforgó szimmetria folytán a többi öv is ugyanilyen hosszváltozáson megy át. Így az azonos hosszváltozás feltétele:

$$\sum_{k=1}^n S_{Ik} \frac{c}{EF_c} = \sum_{k=1}^n S_{IIk} \frac{c}{EF_c}.$$

Ha ebbe a képletbe a (7) alatti értékeket betesszük, egyszerűsítés és némi rendezés után azt kapjuk, hogy

$$\sum_{k=1}^n \left[ +2V + (2k-1) \frac{c}{a} T_a - (2k-1) \frac{c}{b} T_b \right] = 0.$$

Innen a

$$\sum_{k=1}^n (2k-1) = n^2$$

összefüggés figyelembevételével

$$V = -\frac{nc}{2} \left[ \frac{T_a}{a} - \frac{T_b}{b} \right]. \quad (8)$$

*A felső hevederrudak merőlegességének feltételét* két szomszédos hevederrúdra írjuk fel. Ha ugyanis két szomszédos hevederrúd az alakváltozás után is merőleges marad egymásra, akkor a hevederrudak merev volta miatt a szomszédos hevederrudak alkotta többi szög sem szenvedhet változást.

A merőlegesség feltételének felírásához a törzsoszlop felső csomópontjaira képzelt erőrendszerként a 4. ábrán feltüntetett nullaértékű nyomatókpárokat működtetjük. E képzelt erőrendszer hatására a törzsoszlop rúdjaiban derékerők keletkeznek s azok értéke:

$$\left. \begin{aligned} \bar{S}_{Ik} &= + (2k-1) \frac{c}{ab} = \bar{S}_{IIIk}, \\ \bar{S}_{IIk} &= - (2k-1) \frac{c}{ab} = \bar{S}_{IVk}, \\ \bar{S}_{ak} &= + \frac{1}{b}, & \bar{S}_{Ak} &= - \frac{A}{ab}, \\ \bar{S}_{bk} &= - \frac{1}{a}, & \bar{S}_{Bk} &= + \frac{B}{ab}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Minthogy az oszlop felső hevederei alkotta derékszög az oszlop alakváltozása során nem szenvedhet változást, a képzelt erőrendszernek a tényleges



alakváltozás alkalmával végzett külső munkája zérus. Ezért aztán a belső munkának is zérusnak kell lennie. Így a merőlegesség feltétele

$$L_1 + L_2 + L_3 = 0, \tag{10}$$

ha t. i.  $L_1$ ,  $L_2$ , illetve  $L_3$  betűvel a vízszintes rácsrudakban, a ferde rácsrudakban, illetve az övrudakban működő belső erők munkáját jelöljük.

Az itt említett három munkarészlet közül

$$L_1 = 2 \sum_{k=1}^{n-1} \frac{S_{ak} \bar{S}_{ak} a}{EF_a} + 2 \sum_{k=1}^{n-1} \frac{S_{bk} \bar{S}_{bk} b}{EF_b},$$

illetve a (7) és (9) alattiak behelyettesítése és az összegezés elvégzése után

$$L_1 = \frac{2(n-1)}{E} \left[ \frac{a}{b} \cdot \frac{T_a}{F_a} - \frac{b}{a} \cdot \frac{T_b}{F_b} \right]. \tag{11}$$

Viszont az  $L_2$  munkarészlet értéke

$$L_2 = 2 \sum_{k=1}^n \frac{S_{Ak} \bar{S}_{Ak} A}{EF_A} + 2 \sum_{k=1}^n \frac{S_{Bk} \bar{S}_{Bk} B}{EF_B},$$

azaz

$$L_2 = \frac{2n}{E} \left[ \frac{A^3}{a^2 b} \cdot \frac{T_a}{F_A} - \frac{B^3}{ab^2} \cdot \frac{T_b}{F_B} \right]. \tag{12}$$

Végül az  $L_3$  munkarészlet így írható :

$$L_3 = 2 \sum_{k=1}^n \frac{S_{Ik} \bar{S}_{Ik} c}{EF_c} + 2 \sum_{k=1}^n \frac{S_{IIk} \bar{S}_{IIk} c}{EF_c}$$

Ha ide a (7), illetve (9) alattiakat behelyettesítjük, az

$$L_2 = \frac{2c^2}{abEF_c} \sum_{k=1}^n \left[ 2(2k-1)V + c(2k-1)^2 \cdot \left( \frac{T_a}{a} - \frac{T_b}{b} \right) \right]$$

képlethez jutunk, innen pedig a

$$\sum_{k=1}^n (2k-1) = n^2, \quad \sum_{k=1}^n (2k-1)^2 = \frac{n}{3} (4n^2 - 1)$$

összefüggések figyelembevételével

$$L_3 = \frac{2c^2}{abEF_c} \left[ 2n^2 V + \frac{nc}{3} (4n^2 - 1) \cdot \left( \frac{T_a}{a} - \frac{T_b}{b} \right) \right].$$

Ebből a képletből a  $V$  erő (8) alatti értékének bevezetésével és némi rendezéssel az

$$L_3 = \frac{2n(n^2 - 1)c^3}{3abF_c} \left[ \frac{T_a}{a} - \frac{T_b}{b} \right] \quad (13)$$

összefüggést kapjuk.

Ezek után a (10) egyenlettel kifejezett alakváltozási feltételt a (11), (12), (13) alatti értékek felhasználásával ekként írhatjuk:

$$\begin{aligned} & (n - 1) \left[ \frac{a}{b} \cdot \frac{T_a}{F_a} - \frac{b}{a} \cdot \frac{T_b}{F_b} \right] + \\ & + n \left[ \frac{A^3}{a^2b} \cdot \frac{T_a}{F_A} - \frac{B^3}{ab^2} \cdot \frac{T_b}{F_B} \right] + \\ & + \frac{n(n^2 - 1)c^3}{3abF_c} \left[ \frac{T_a}{a} - \frac{T_b}{b} \right] = 0. \end{aligned}$$

A fenti egyenlet a (6) egyenlettel egyetemben a  $T_a$  és  $T_b$  ismeretlenek meghatározására teljesen elégséges. A számítást elvégezve, a bevezetésben (5) alatt említett képlethez jutunk.

#### A rúderők

A  $T_a$  és  $T_b$  értékeket ismervén, az övek tetején működtetendő  $V$  erők értéke (lásd 3. ábra) a (8) képlettel számítható. A számítás eredménye:

$$V = \frac{R_a - R_b}{R_a + R_b} \cdot \frac{ncM}{2ab}.$$

Ezek után a rúderők meghatározása a (7) képletekkel történhetik. Mint látható, a rácsrudakban keletkező erők egy-egy rácslap egész terjedelmében állandók, az övekben működő erők ellenben rúdról-rúdra változnak. A legnagyobb övrúderők a szélső (legfelső és legalsó) övrudakban keletkeznek; értékük legegyszerűbben a szélső csomópontokra ható erők függélyes vetületeire vonatkozó egyensúlyi feltételből határozható meg.

#### A pontos és közelítő képletek összehasonlítása

A pontos és közelítő képletek összehasonlítása célszerűen valamely szám példán végezhető el. Legyen e célból

$$M = 1, \quad a = 1, \quad b = 2, \quad c = 1,5, \quad n = 8,$$

$$F_a = F_b = F_A = F_B = 1, \quad F_c = 5,$$

tehát

$$A = \sqrt{a^2 + c^2} = 1,803.$$

$$B = \sqrt{b^2 + c^2} = 2,500.$$

Ez esetben  $T_a$ , illetve  $T_b$  közelítő értéke

az (1) képletek szerint	$T_a = 0,250,$	$T_b = 0,500,$
a (2) » »	$T_a = 0,444,$	$T_b = 0,111,$
a (3) » »	$T_a = 0,387,$	$T_b = 0,225,$
a (4) » »	$T_a = 0,385,$	$T_b = 0,229.$

Ezzel szemben a pontos értékek

$$\text{az (5) képlet szerint} \quad T_a = 0,319, \quad T_b = 0,362.$$

Mint látható, a közelítő és pontos képletek szolgáltatva  $T_a$ , ill.  $T_b$  értékek egymástól *jelentősen* eltérnek. Ez a körülmény a gyakorlatban alkalmazott különféle közelítő képletek használatával szemben óvatosságra int.

#### IRODALOM

[1.] Póczy Mihály: Csavarónyomaték hatásának számítása rácsos szerkezetek rácsrúdjaira. *Elektrotechnika* 42 (1950). pp. 317—322.

[2.] J. Barta: Über die Berechnung von rechteckigen Gittermasten auf Verdrehen. *Acta Technica* 4 (1952), 265—272.

[3.] Csonka Pál: Rácsos szerkezetek csavarása. *A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye* 66 (1932). pp. 121—228.

#### Összefoglalás

E tanulmány a térbeli rácsos szerkezetek elméletében szokásos feltevések keretében pontos képleteket vezet le csavarásra igénybevett derékszögű négyszöghasáb szerint alakított oly rácsos oszlopok vizsgálatához, melyek lent merev alaptömbhöz csatlakoznak, fent pedig merev fejrészben végződnek. Egyben összehasonlítást ad a pontos, valamint a gyakorlatban használatos egyes közelítő képletek közt, s kimutatja, hogy a közelítő, illetve pontos képletekből számított eredmények egymástól *lényegesen* különböznek.



# KISFESZÜLTSGŰ SZIKRAGERJESZTŐ SZÍNKÉPELEMZÉSHEZ

TÖRÖK TIBOR

a kémiai tudományok doktora

RÁKOSI MÁTYÁS MŰVEK ANYAGVIZSGÁLÓ OSZTÁLYA ÉS EÖTVÖS LÓRÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
SZERVETLEN ÉS ANALITIKAI KÉMIAI INTÉZETE, BUDAPEST<sup>1</sup>

[Beérkezett 1952. okt. 11-én]

A szikragerjesztés lényege, hogy kondenzátortelepet periódikusan feltöltünk, majd kisütünk az elemző szikraközön keresztül. Ha a feltöltés nagyfeszültséggel történik, úgy nagyfeszültségű-, ellenkező esetben kisfeszültségű gerjesztőről beszélünk. A nagyfeszültségű gerjesztők általában 10—40 KV-al és 500-tól 20 000 pF kapacitással működnek. A kisfeszültségű gerjesztőknél 100—1000 V feszültséget és 1—2000  $\mu$ F kapacitást használunk. A kondenzátortelep kapacitásának határai az alkalmazott feszültség négyzetével fordítottan arányosak.

$$E = \frac{1}{2} CV^2$$

Kisfeszültségű gerjesztésnél tehát az egy. illetőleg két nagyságrenddel kisebb feszültség mellett két, illetőleg négy nagyságrenddel nagyobb kapacitást alkalmazunk. A nagyfeszültségű gerjesztésnél elegendő feszültség áll rendelkezésre a szereplő szikratávolságok átütéséhez és így külön begyűjtésről nem kell gondoskodni. Ezzel ellentétben a kisfeszültségű gerjesztésnél az elemző szikraközön periódikusan átütött Tesla-kisüléssel gyűjtjük be a szikrákat. Maga a szikrakisülés mindkét esetben lényegileg 50 V-al rövid ideig nagy áramerősséggel égő ív.

A kisfeszültségű gerjesztésnek számos előnye van a nagyfeszültségűvel szemben. Ezek a következők: szigetelési problémák úgyszólván nincsenek, ami a kondenzátorok szempontjából jelentős. A szükséges kondenzátortelep a nagyobb kapacitás ellenére is könnyebben beszerezhető, olcsóbb és üzembiztosabb. A teljesítményt szolgáltató töltőáramkör általában egyszerűbb, mert a kondenzátortelep közvetlenül a hálózatról is feltölthető, külön munkatranszformátor nélkül. A teljesítmény növelése könnyebben elérhető, mint a nagyfeszültségű gerjesztésnél. A kondenzátortelep kisülési áramkörében az analízis szikraközön kívül más szikraköz nincs, és így gyakorlatilag a teljes energia az elemző szikraközben válik szabaddá. Az energia növelése különösen a nem fémek meghatározása szempontjából nagy jelentőségű. Így a nem fémek kimutatását szilárd próbákban a maga általánosságában legelőször kisfeszültségű szikragerjesztéssel hajtották végre. Végül, de nem utolsó sorban nagy előnyt jelent a kis feszültség az életveszély csökkentése szempontjából is.

A kisfeszültségű gerjesztő a *K. Pfeilsticker*[1]-féle Tesla-gyűjtésű, váltóáramú szaggatott ívgerjesztő berendezésből fejlődött ki. A Tesla-áram az *I. ábrán* látható módon jut az *E* szikraközre. A *Ts* Tesla-transzformátor, a *C* pedig néhány száz cm-es kapacitású kondenzátor. A szabadon hagyott vezetékekhez induktivitásból és kapacitásból álló szűrőkörön, valamint korlátozó ellenálláson keresztül a hálózat kapcsolódik. Ha a *C* kondenzátor kapacitását mikrofarad nagyságrendűre növeljük, úgy előtűnik van a *Pfeilsticker* rendszerű kisfeszültségű szikragerjesztő.

Eltérő módon juttatják a gyűjtőáramot az elemző szikraközre *Hasler* és *F. Dietert* [3] a Multi-Source Unit-ban. Ennek elvét a *2. ábra* szemlélteti. A baloldali szabadon hagyott vezetékekre kb. 1000 V-ra transzformált hálózati feszültség csatlakozik. A jobboldaliakra pedig egy mechanikailag vezérelt nagyfrekvenciás áramforrást kapcsolnak. Az *L* induktivitás megakadályozza, hogy a nagyfrekvenciás áramok az *E* elemző szikraköz helyett a *C* kondenzátoron keresztül záródjanak. A kondenzátor kisülési körében még külön változtatható ohmikus ellenállás és induktivitás is kapcsolható a kisülés jellegének szabályozására. A kondenzátor csak minden második félperiódusban töltődik fel, amelyet a töltőáramkörbe kapcsolt egyenirányító-cső biztosít.

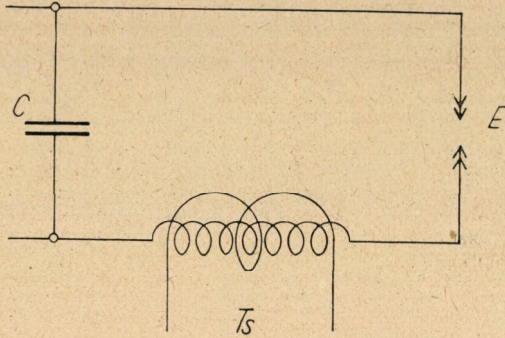
Láthattuk tehát, hogy az összes eddig alkalmazott berendezésben a kondenzátor és az elemzőszikraköz között induktitásnak is kell lennie. Ennek értéke a sorbakapcsolt Tesla-



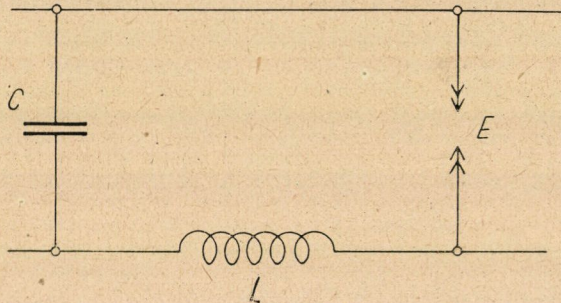
transzformátor esetében az irodalmi adatok alapján minimálisan 80—100  $\mu$  Hy, a Multi Source Unit-ban pedig 25  $\mu$  Hy. Ez a körülmény nagy mértékben csökkenti a kisülések szikra jellegét. A kisülési áram maximális intenzitása  $I_{max}$   $V$  kondenzátor kapocsfeszültségénél az áramkör ellenállásának elhanyagolása mellett,  $L$  sorbakapcsolt induktivitás esetében ugyanis:

$$I_{max} = V \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Mivel a nagy pillanatnyi áramerősség éppen a nem fémek elemzése szempontjából igen



1. ábra. Az elemzőszikraköz begyűjtása sorbakapcsolt Tesla-transzformátorral



2. ábra. Az elemzőszikraköz begyűjtása párhuzamosan kapcsolt nagyfrekvenciás áramforrással

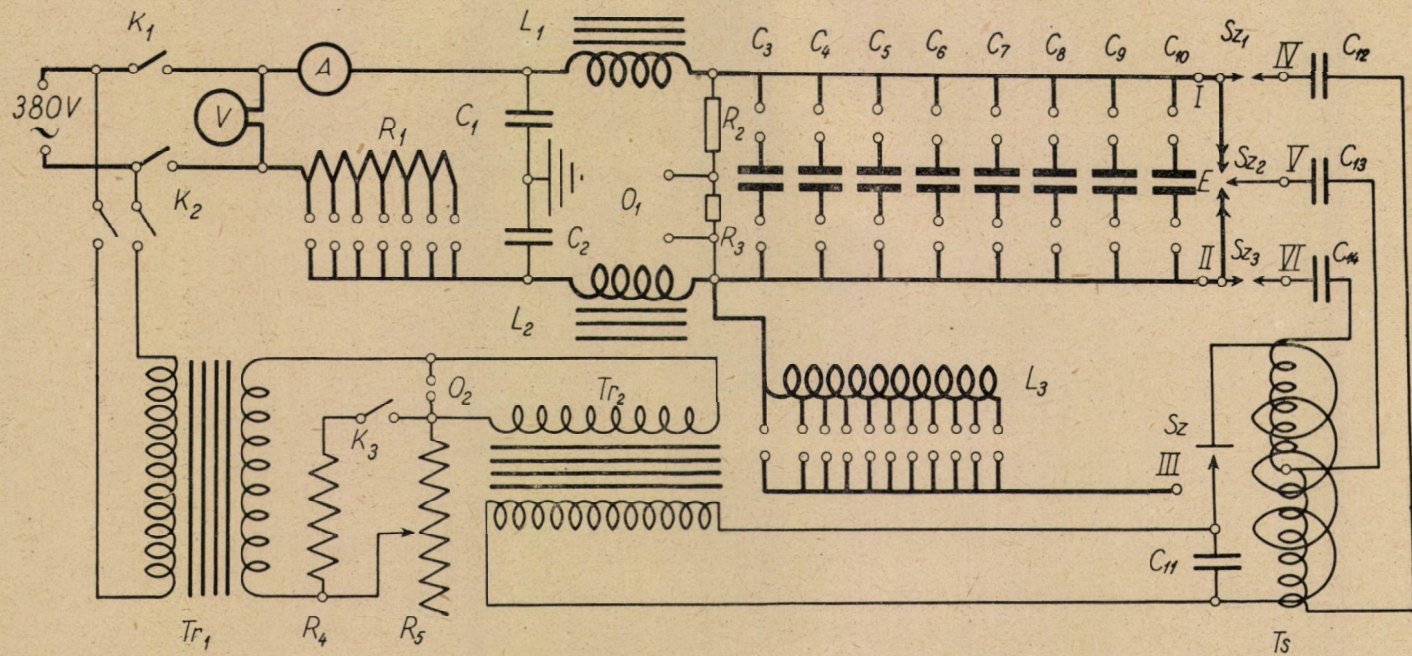
lényeges, ezért célul tűztük ki olyan megoldás kifejlesztését, amelynél az  $L$  értéke egészen a kisütő áramkör maradó induktivitásáig, esetünkben kb. 1  $\mu$  Hy-ig csökkenthető legyen. Sikerült továbbá igen egyszerű megoldást találni a kondenzátortelep minden második félperiódusban való kisütésére, ami a próba túlelégedésének elkerülése szempontjából jelentős. A berendezés általában igen egyszerű felépítésű, sem mechanikai, sem elektronikus megoldásokat nem tartalmaz, ennél fogva olcsó, könnyen előállítható és üzembiztos. Mindemellett reprodukálhatósága a gyakorlati követelményeknek mindenben megfelel.

Készülékünk kapcsolási vázlatát a 3. ábra szemlélteti. A berendezést három részre tagolva ismertetjük. Ezek 1. töltőáramkör, 2. kisütőáramkör és 3. gyűjtőáramkörök.

### 1. Töltőáramkör

A töltőáramkör a vastagon kihúzott munkaáramkörnek a  $C_3$ — $C_{10}$  kondenzátorteleptől balra eső szakasza.  $K_1$  mágneskapcsoló,  $V$  és  $A$  volt- és ampermérők,  $R_1$  hétfokozatú csillapító ellenállás,  $C_1$  és  $C_2$  2—2  $\mu$ F-os szűrőkondenzá-





3. ábra. A gerjesztő kapcsolási vázlatrajza

torok,  $L_1$  és  $L_2$  ugyancsak a szűrést szolgáló fojtótekercesek.  $R_2$  és  $R_3$  feszültségosztó híd pedig a kondenzátorfeszültség oszcillográfálásához szükséges  $O_1$  elágazást táplálja. A kondenzátortelep feltöltése minden külön transzformátor közbeiktatása nélkül, közvetlenül a 380 V-os erőátviteli hálózatról történik. Nagyobb, esetleg 1000 V-os feszültség nem jelent előnyt a kisütés biztonsága szempontjából. Kísérleteink szerint u. i. 100—500 V-os legkülönbözőbb kondenzátorfeszültségeknél a kisütés biztonsága azonos Tesla-gyújtás mellett teljesen azonosnak mutatkozott.

A kondenzátortelepet hat  $40 \mu\text{F}$ -os és két  $5 \mu\text{F}$ -os egység alkotja. Ezek  $2 \mu\text{F}$ -os papír-paraffin szigetelésű tömbkondenzátorokból épültek össze. A nyolc egység sorosan és párhuzamosan kapcsolható kb.  $20 \text{ mm}^2$ -es érintkező felületű kékes kapcsolókkal. A kapcsolható kapacitásértékek a következők: 2,5, 5, 10, 20, 40, 80, 120 és  $240 \mu\text{F}$ . A teljes kondenzátortelepben felhalmozott energia túlhaladja a Multi-Source Unit  $60 \mu\text{F}$ , 960 V melletti legnagyobb energiáját.

A töltőáramkörben alkalmazott csillapító ellenállás ( $R_1$ ) értékeinek kiszámítása céljából lássuk röviden a lejátszódó villamos folyamatokat. A szűrés céljait szolgáló  $L_1$  és  $L_2$  fojtók viszonylag csekély ( $< 0,01 \text{ Hy}$ ) induktivitásuk következtében elhanyagolhatók, ugyanúgy, mint a  $C_1$ ,  $C_2$  ( $2\text{--}2 \mu\text{F}$ ) kapacitások. Ha  $C$  kapacitásból és a vele sorbakapcsolt  $R$  ellenállásból álló áramkörre az (1) egyenlet szerinti  $\omega$  körfrekvenciájú hálózati feszültség működik, úgy a további egyenletek szerinti  $i_s$  áram és  $p_{cs}$  kondenzátor-feszültség értékeket kapjuk.

$$p = -p_m \sin(\omega t + \psi) \quad (1)$$

$$i_s = -\frac{p_m}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \sin(\omega t + \psi + \varphi) \quad (2)$$

$$p_{cs} = \frac{p_m}{\sqrt{R^2 \omega^2 C^2 + 1}} \cos(\omega t + \psi + \varphi) \quad (3)$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{1}{R\omega C} \quad (4)$$

Felhasználva a  $\varphi$  fázisszögre vonatkozó (4) egyenletet, a (2) és (3) egyenlet így írható:

$$i_s = -\frac{p_m}{R} \cos \varphi \sin(\omega t + \psi + \varphi) \quad (5)$$

$$p_{cs} = \frac{p_m}{R\omega C} \cos \varphi \cos(\omega t + \psi + \varphi) \quad (6)$$

A kondenzátortelep azonban maximális töltése pillanatában az elemző-szikraözönön keresztül kisül, s így kapcsolási jelenséggel állunk szemben, amelyek leírására nem elégségesek a fenti egyenletek.

Lényegileg két kapcsolási jelenségről beszélhetünk. Először, amidőn a kisülés pillanatában a töltő áramkör az elemző szikraközön keresztül zárlathoz kerül. Ez általában igen rövid ideig tart. Másodszor a zárlat megszűntekor, amidőn a kisütött kondenzátort mintegy hirtelen rákapcsolódni képzeljük az ellenálláson át a hálózatra. Az első, igen rövid ideig tartó jelenséget a gyakorlatban elhanyagoljuk és csupán a második, viszonylag hosszantartó jelenséget tárgyaljuk.

A kapcsoláskor létrejövő kiegyenlítő áram  $i_k$  és feszültség  $p_k$  kiszámítása céljából leg-egyszerűbben a (6) egyenletből a  $q=Cp$  összefüggés alapján kapott (7) egyenlet szerinti stacionér kondenzátortöltés  $q_s$  értékéből indulhatunk ki:

$$q_s = \frac{P_m}{R\omega} \cos \varphi \cos \omega t \quad (7)$$

minthogy kiindulási időpont gyanánt a maximális kondenzátorfeszültség pillanatát választva  $\psi + \varphi = 0$ .

A kapcsolási folyamat alatt szereplő tényleges töltés  $q$  értéke:

$$q = q_s + q_k \quad (8)$$

A  $q_k$  kiegyenlítő töltés úgy folyik le az áramkörön, mintha az a rákapcsolt kényszerfeszültségtől ( $p$ ) függetlenül, egy, csupán  $C$ -ből és  $R$ -ből álló zárt áramkör volna. Ennek lefolyása pedig mint ismeretes, a (9) egyenlettel írható le:

$$q_k = q_{k0} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (9)$$

ahol  $q_{k0}$  a  $t=0$  időpillanathoz tartozó kezdeti töltést jelenti. Ez utóbbi azonban egyszerűen kiadódik a (8) egyenletből, minthogy a  $t=0$  időpillanatban a kondenzátor valóságos töltése  $q_0=0$ , stacionér töltése pedig a maximális  $q_{sm}$ :

$$q_0 = q_{sm} + q_{k0} \quad (10)$$

A (7) és (10) egyenletek alapján a (9) egyenlet végleges alakja:

$$q_k = \left( \frac{P_m}{R\omega} \cos \varphi e \right) e^{-\frac{t}{RC}} \quad (11)$$

A teljes töltés tehát a (8) egyenlet alapján:

$$q = \frac{P_m}{R\omega} \cos \varphi \left( \cos \omega t - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (12)$$

A fenti egyenlet  $t$  szerinti differenciálásával kapjuk az eredő áram  $i$ ,  $C$ -vel való osztása útján pedig az eredő kondenzátorfeszültség  $p_c$ -értékét:

$$i = -\frac{P_m}{R} \cos \varphi \left( \sin \omega t - \frac{1}{R\omega C} e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (13)$$

$$p_c = \frac{P_m}{R\omega C} \cos \varphi \left( \cos \omega t - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (14)$$

Gyakorlati feladatunk első része már most az, hogy a bekapcsolt  $C$  kapacitásértékhez olyan  $R$  értéket válasszunk, amelynél a kiegyenlítőfolyamat ampli-

túdója  $1/200$  sec alatt kezdeti — maximális értékének —  $1\%$ -ára csökkenjen, tehát  $1/4$  periódus alatt már gyakorlatilag stacionér viszonyok legyenek. A legszaporább kíséréseinknél ( $100/\text{sec}$ ) elegendő lenne  $1/100$  sec-os töltésidő is, azonban a későbbi továbbfejlesztési terveinknek az  $1/200$  sec felelt meg. A (13) és (14) egyenletben szereplő exponenciális tag értéke  $1\%$ -ára való csökkentésének feltétele:

$$e^{-\frac{1}{200RC}} = \frac{1}{100} \quad (15)$$

vagyis:

$$\tau = RC = \frac{1}{920} \quad (16)$$

A  $\tau$  időállandóra vonatkozó feltételből kiszámíthatók az ellenállásnak használatos kapacitásértékekhez szükséges értékei. Ezekből, valamint az alábbiakban kiszámított értékéből az (5) egyenlet alapján kiszámíthatjuk a töltőáramkörben keringő effektív stacionér  $i_{\text{eff}}$ -et is. Ezeket kerek számokban az I. táblázat tartalmazza.

### I. TÁBLÁZAT

*A csillapítóellenállás és effektív stacionér áramerősség különböző kapacitásértékekhez tartozó értékei*

C	$\mu F$	2,5	5	10	20	40	80	120	240
R	$\Omega$	432	216	108	54	27	13,5	9	4,5
$i_{\text{eff}}$	A	0,3	0,6	1,1	2,3	4,5	9,1	13,6	27,2

A (16) egyenlet alapján a (4) egyenletből a fázisszög értéke:

$$\text{tg } \varphi = \frac{920}{\omega}; \quad \varphi \approx 71^\circ \quad (17)$$

ami kereken  $\varphi' = 90 - \varphi \approx 19^\circ$  kondenzátorfeszültség fáziskésést jelent a hálózati feszültséghez képest, minthogy a (6) egyenlet így is írható:

$$p_c = -\frac{P_m}{R\omega C} \cos \varphi \sin [\omega t + \varphi - (90 - \varphi)] \quad (18)$$

A (17) összefüggésből egyúttal azt a fontos tényt is láthatjuk, hogy az alkalmazott  $R$  értékek mellett minden  $C$  értéknél azonos időpillanatban következik be a kondenzátor feszültségmaximuma.

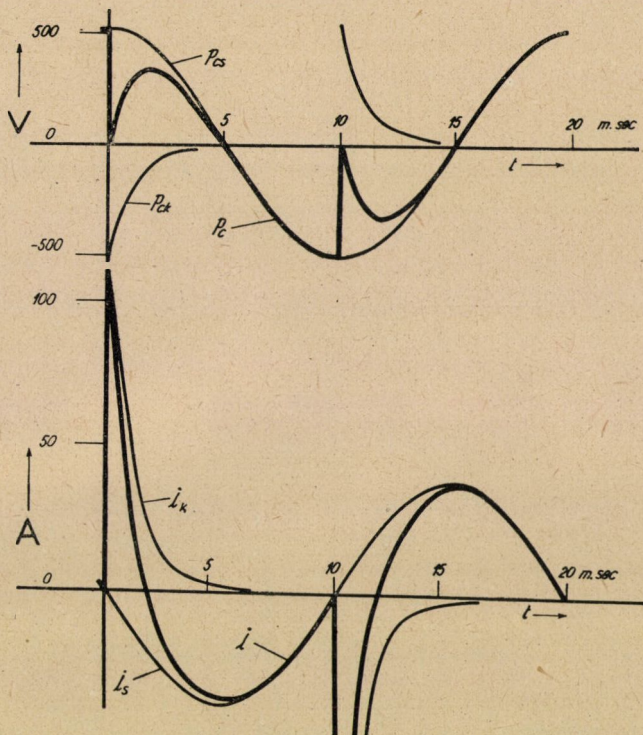
Kiszámítható továbbá a (6) egyenlet alapján a kondenzátor feszültségmaximum értéke, ami ugyancsak független  $C$  értékétől:

$$P_{cs} = \frac{P_m}{R\omega C} \cos \varphi \approx 509 \quad (19)$$



A kondenzátortelep tehát minden esetben kerekén 509 V-ra töltődik fel.

A (14) egyenlet alapján felrajzolhatjuk a kondenzátorfeszültség 4. ábra szerinti időbeli lefolyását, amely minden  $C$  értéknél azonos. Az áram lefolyását a (13) egyenlet szerint  $C = 240 \mu\text{F}$  esetében ugyancsak a 4. ábra szemlélteti. A



4. ábra. A kondenzátorfeszültség és töltőáram ( $C=240 \mu\text{F}$ ), valamint stacionér és kiegyenlítő komponenseinek időbeli lefolyása

katódsugár-oszcillográffal végzett megfigyelések mindenben alátámasztották az elméleti eredményeket.

## 2. Kisütő áramkör

Amíg a töltőáramkör keresztmetszetét a használt legnagyobb, kb. 30 amperes áramerősségnek megfelelően méreteztük, addig a kisütő áramkör ellenállását a lehető legkisebbre igyekeztünk csökkenteni. Így  $100 \text{ mm}^2$ -es réz főgyűjtősínt alkalmaztunk, a megcsapolásoknál pedig a kapacitásnak megfelelő keresztmetszetű elágazásokat építettünk be. A kivezetők ugyancsak igen masszív felépítésűek. A kör teljes ellenállása az átmeneti ellenállásokkal együtt sem haladja meg a néhány század ohmot.

A kisütő áramkör az I és II kivezetéseken keresztül záródik az  $E$  elemző szikraközön át. Ezt az állapotot tünteti fel a kapcsolási vázlatrajz is. Így süthető

ki a kondenzátortelep a »legkeményebben«, minthogy az áramkörben csupán annak maradó induktivitása van. Ennek értéke a szikraállványhoz vezető kábelekkel és a rövidrezárt elemző szikraközzel együtt csupán  $1,25 \mu \text{Hy}$ . Alapulvéve az eddigi irodalmi adatok\* szerinti legkisebb, mintegy  $25 \mu \text{Hy}$ -t kitevő értéket, ez az

$$I_{\max} = V \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (20)$$

összefüggés alapján kereken 4,5-szeres áramerősségcsúcsot jelent, különben azonos villamos adatok mellett. Megpróbálkoztunk kísérletképen a maradék induktivitással végzett kisütések után  $25 \mu \text{Hy}$ -vel működtetni a berendezést. Különösen teljes kapacitás mellett összehasonlíthatatlanul keményebb, élesebb és fülsiketítőbb volt a kisülések hangja. Már  $1,5 \mu \text{Hy}$  bekapcsolásánál jól megfigyelhető tompulást lehetett észlelni.

A berendezés sokoldalúbb alkalmazhatóságára való tekintettel egy 10 fokozatban megcsapolható légmagvas fojtótekerceset is beépítettünk. Hogy a kondenzátortelep I és II csatlakozókhoz tartozó áramkörének induktivitása a legkisebb maradjon, azért az  $L_3$  tekerceset a III csatlakozóban végződő egészen külön ágba építettük be. Ebben az esetben a szikraállvány természetesen az I és III kivezetőhöz csatlakozik. Az  $L_3$  tekercesnek a kezdeténél is van leágazása, s így ezen mellékkör maradék induktivitása is kapcsolható, ami  $2,75 \mu \text{Hy}$ -re rúg. Az indukcióstekercs három bakelitvázis egységből tevődött össze. Az első két egység csupasz réz, az utolsó pedig szigetelt alumíniumhuzalból készült. Mindhárom tekeres átmérője 120 mm. A három tekercesegység további adatait a II. táblázat szemlélteti.

II. TÁBLÁZAT  
Az indukciós tekercesek adatai

Megcsapolás	Indukció $\mu\text{Hy}$		Menet		Huzal	
	számtott $L_0+$	mért	szám	emelkedés mm	átmérő mm	keresztmetszet $\text{mm}^2$
1	2	3,65	3,5	20	10	79
2	4	5,20	6	20	10	79
3	8	9,80	11	20	7	38
4	16	19,6	23	20	7	38
5	32	32,0	34	10	5	20
6	64	58,0	57	10	5	20
7	125	110	26	6	3	7
8	250	235	79	6	3	7
9	500	450	149	4	2	3
10	1000	1010	150	4,2	2	3

\* A közelmúltban, munkám befejezte után jutottam birtokába J. van Calker [4,5] hasonló tárgyú közleményének, aki tőlem eltérő módon  $2,8 \mu \text{Hy}$ -t tudott elérni.

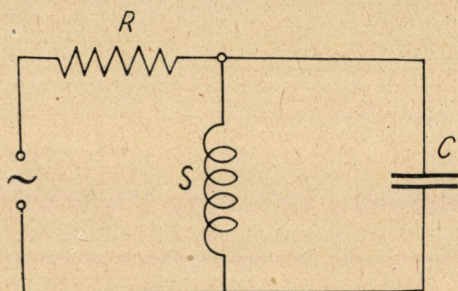
### 3. Gyújtóáramkörök

A gyújtóáramkörök a 3. ábra vékonyan kihúzott elemeiből tevődnek össze. Ezeket a  $K_2$  mágneskapcsolóval hozzuk működésbe. A  $K_1$  és  $K_2$  mágneskapcsolók működtetési úgy vannak kombinálva, hogy a munkaáramkör csak a gyújtás megindítása után legyen bekapcsolható, ami biztonsági szempontból előnyös. A 380/110 V-os  $Tr_1$  előtranszformátorra csak azért volt szükség, mert nem állt rendelkezésre 380 V-os primér feszültségű  $Tr_2$  nagyfeszültségű transzformátor. Az  $R_5$  75  $\Omega$ -os tolóellenállás, a nagyfeszültségű transzformátor csillapító ellenállása. A  $K_3$  egysarkú nyomógombos kapcsolóval a 20  $\Omega$ -os  $R_4$  ellenállás kapcsolható párhuzamosan az  $R_5$  ellenállással. Ennek szerepéről később lesz szó. A  $Tr_2$  110/40 000 V-os 2 KVA-os olajtranszformátor. E helyett a transzformátor helyett — amennyiben rendelkezésre áll — lényegesen kisebb teljesítményű is alkalmazható, mivel a felhasznált legnagyobb teljesítmény csupán 200 watt. A nagyfeszültségű transzformátor feltölti a  $C_{11}$  2500 cm kapacitású csillámkondenzátort. Ez az érték a Tesla-transzformátorral való összehangoláskor kísérletileg adódott. A kondenzátor a  $Tr$  Tesla-transzformátor primér tekercsén át az  $Sz$  szikraközön keresztül sül ki. Az  $Sz$  szikraköz eltér az eddig használatos cink, wolfrám, újzüst stb. szikraközöktől. Az egyik sarkot egy kb. 20 mm átmérőjű vasból készült, sík felületű, korongalakú elektród képezi. A másik egy 5 mm átmérőjű kihegyezett bálnélküli ívlámpa szénpálca. A szikratávolság 15 mm. Ezen elrendezéssel az  $R_5$  ellenállás könnyen beigazítható, úgyhogy a  $C_{11}$  kondenzátor csak minden második félperiódusban süljön ki egyszer. Ha u. i. az  $R_5$  ellenállást úgy állítjuk be, hogy akkora legyen az  $Sz$  szikraközön uralkodó feszültség, hogy a szikra éppen átüssön rajta, akkor csak minden második félperiódusban kapunk kisülést. A szikraköz csúcsos szénelektrodja mint izzó katóda jut jelentőséghez és csak abban a félperiódusban fog kisülés létrejönni, amelyben az negatív feszültségű. Hideg szénelektroddal gyakran nem indulnak meg a kisülések, ilyenkor egy-két másodpercre zárjuk a  $K_3$  kapcsolót, amikor is a nagyobb szekundérfeszültség hatására megkezdődik a szikrázás, kiizzik a széncsúcs és megindul a thermoelektronok emissziója. Próbálkoztunk a széncsúcsot külön külső áramforrás segítségével izzítani, ami be is vált, de a későbbiekben még sem alkalmaztuk, mert csak felesleges komplikációt jelentett. Az  $R_5$  ellenállás csökkentésével különben beállíthatók még az  $1 + 1$ ,  $2 + 1$  és  $2 + 2$  típusú kisülések is, ugyanúgy, mint azt egyszerű szikraközzel *Mika* és munkatársai [6] már korábban tették. Nagyobb energiáknál ezeknek nincs különösebb jelentőségük, a kisebb energiáknál pedig az I. táblázatban felsorolt ellenállásértékeknél kisebbet kell alkalmaznunk, hogy a kondenzátor töltődni tudjon a rendelkezésre álló idő alatt. Ehhez kb.  $\frac{1}{4}$  rész akkora ellenállás kell, mint a  $0 + 1$ , vagy  $1 + 1$  típusú kisülések esetében. Berendezésünkönél különben csak a  $0 + 1$  és az  $1 + 1$  típusú kisülésekkel dolgoztunk. Az előbbi, amelyet eddig csak lényegesen komplikáltabb elektronos, vagy mecha-



nikai úton sikerült megvalósítani, a nagy energiájú kisüléseknél igen jelentős. Amíg  $240 \mu\text{F}$ -os kapacitás esetében az  $1 + 1$  típusú kisülések mellett a  $8 \text{ mm}$  átmérőjű vas elektródok végei másodpercek alatt megolvadnak és sziporkázva elégnak, addig  $0 + 1$  típusú kisülésekkel egy  $10\text{--}15 \text{ mp}$ -es expozíciót jól kibírnak.

A fentiekben leírt gyújtóáramkörök üzemviszonyait, mindenekelőtt a fázisviszonyokat illetőleg a következőket mondhatjuk. Ahhoz, hogy a  $380 \text{ V}$ -os kondenzátortelep maximális kapocsfeszültsége pillanatában következzen be a gyújtás, az szükséges, hogy a  $C_{11}$  nagyfeszültségű kondenzátortelep kapocsfeszültsége fázisban legyen a munkakondenzátor kapocsfeszültségével, ami, mint láttuk,  $18^\circ 50'$ -et késik a hálózati feszültséghez képest. A feszültségnek a  $Tr_1$  transzformátoron való  $180^\circ$ -os fáziseltolódása esetünkben érdektelen. A  $C_{11}$



5. ábra. A gyújtókondenzátor töltőáramkörének helyettesítő kapcsolása

kondenzátor töltőáramkörét 5. ábra szerinti helyettesítő kapcsolás szemlélteti.  $R$  a sorbakapcsolt ellenállás ( $R_5$ ),  $S$  a  $Tr_2$  transzformátor primér tekercsének induktivitása, amely esetünkben  $0,09 \text{ Hy}$ ,  $C$  pedig a  $C_{11}$  kapacitás primér oldalra átszámított értéke, esetünkben  $1,44 \cdot 10^{-4} \text{ F}$ . A transzformátor szórását ( $0,0022 \text{ Hy}$ ) elhanyagolhatjuk. Az 5. ábra szerinti körben a hálózati feszültség és kondenzátorfeszültség fázisszöge a számítások szerint:

$$\operatorname{tg} \varphi' = R \left( \omega C - \frac{1}{\omega S} \right) \quad (21)$$

vagyis esetünkben:

$$\operatorname{tg} \varphi' \approx \frac{R}{100} \quad (22)$$

Mivel a munkakondenzátortelep hasonló fáziskésése  $\varphi' \approx 19^\circ$ , így akkor jutunk egyező fázishoz, ha  $R = 34 \Omega$ . A valóságban a nagyfeszültségű kondenzátor kissé a feszültségmaximum előtt gyújt, s így ennél  $3 \Omega$ -al nagyobb ellenállásérték mellett következik be a pontos gyújtás. A  $0 + 1$  típusú kisülésről az  $1 + 1$  típusra való áttérésnél kb.  $6 \Omega$ -al kell megváltoztatni az ellenállás

értékét. Így a  $0 + 1$  típusú kisülés beigazításához  $40 \Omega$ -ra, az  $1 + 1$  típusúhoz pedig  $34 \Omega$ -ra állítottuk az ellenállást. Ezzel a gyújtás csupán  $3^\circ$ -kal később, vagy előbb következik be a munkakondenzátor feszültségmaximumának időpillanatánál.

Az alkalmazott ellenállásérték elég nagy ahhoz, hogy a kondenzátorfeszültség viszonylag lassú növekedése következtében a  $0 + 1$  és  $1 + 1$  kisüléstípus üzembiztonsága meg legyen. A nagyfeszültségű kondenzátor csúcshőfeszültsége  $34$ , ill.  $40 \Omega$  előtétellenállásra számítva  $21,7$ , ill.  $19,3$  KV. Az alkalmazott  $15$  mm-es szikratávolság ezen feszültségértékeknek megfelelően kísérletileg adódott.

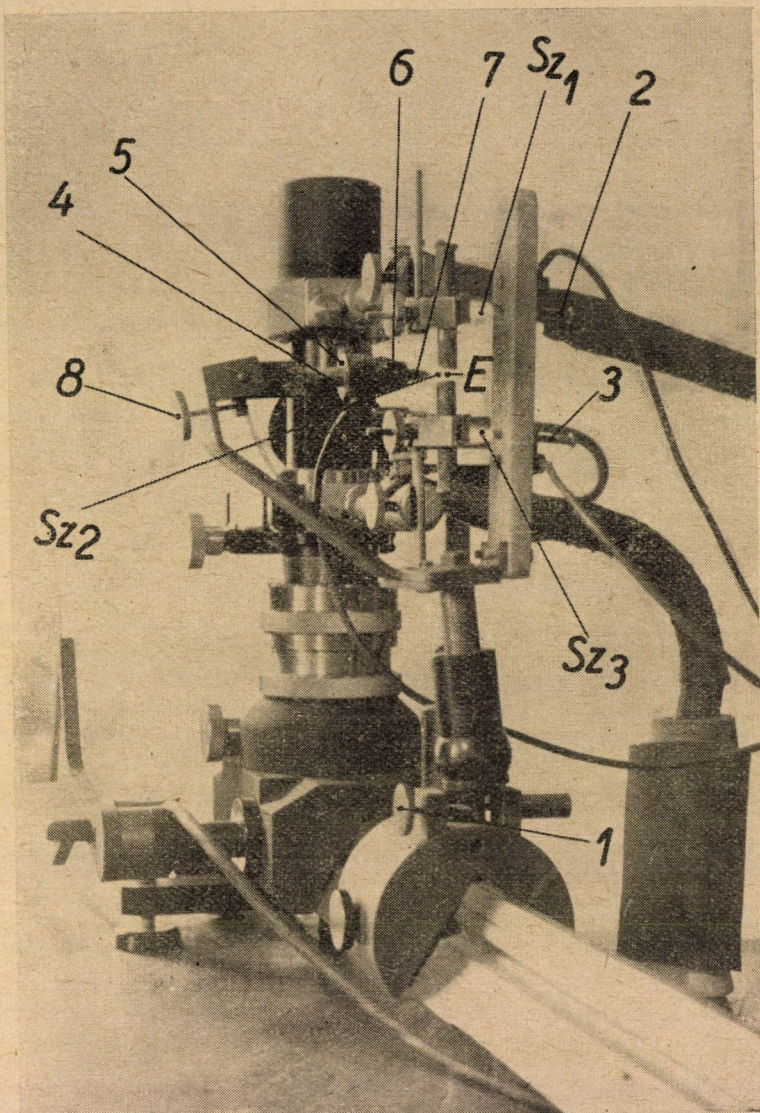
A fentiekből megállapítható, hogy a nagyfeszültségű rendszer csaknem az áramrezonancia pontjára ( $\omega S \approx 1/\omega C$ ) van hangolva. Csak így érhető el u. i. a kívánt fázisszög elegendő nagy csillapító ellenállásérték mellett. Pontosan beállíthatók a legkedvezőbb feltételek egy változtatható szórású transzformátorral, hasonlóan a *Scheibe—Schöntag*-féle rezonáns gerjesztőkben alkalmazott megoldásokhoz.

Ha jó hatásfokú transzformátorral dolgozunk, a kondenzátorfeszültség oszcillografálás helyett a trafó primér kapcsolófeszültségének oszcillografálásával is célt érünk ( $O_2$  elágazás). Ez lényegesen egyszerűsíti a mérést, minthogy a gondos megépítést igénylő nagyfeszültségű mérőhíd elmarad. Katódsugár oszcilloszkóppal könnyen ellenőrizhetjük a gyújtás szabályos működését, bár kellő gyakorlat után füllel is jól beállítható a  $0 + 1$  és az  $1 + 1$  típusú gyújtás.

A fentiekben leírt gyújtás vezérlési módot a mechanikai, vagy különösen az elektronos eljárással összehasonlítva, megállapítható, hogy precizitásban nem éri el azokat. Több mint tíz éven át szerzett tapasztalataink szerint azonban a színképlelmzés pontossága nem ezen múlik. Helyirányú kísérleteket végeztünk az alumíniumötvözetek magnézium elemzésével kapcsolatban. Ez a meghatározás a magnézium könnyű kiégése miatt elég kényes elemzési feladat. Mégis azt tapasztaltuk, hogy  $\pm 20\%$ -os kondenzátorfeszültség változásnál nem észlelhető sem az elemzés szórásában, de még a Mg Al vonalpár intenzitásvizonyában sem semminemű kimutatható változás.

A  $T_s$  Tesla-transzformátor primér tekerese  $6$  mm átmérőjű csupasz rézhuzalból készült  $12$  menetű,  $120$  mm átmérőjű,  $400$  mm hosszúságú tekeres. A szekundértekeresnek két, egyenként  $130—130$  egymással ellentétes irányú menete van. A teljes tekeres közepén — ahol a tekereselési irány megváltozik — külön kivezetés van. Erre a különleges megoldásra a kondenzátor-telep maradék induktivitással történő kisütése céljából volt szükség. A szekundér tekeres átmérője  $60$  mm, teljes hossza  $400$  mm. A rézhuzal  $1$  mm átmérőjű, cerimel szigetelésű. A Tesla-transzformátor szekundér tekerésének három pontja, a  $C_{12}$ ,  $C_{13}$  és  $C_{14}$ , egyenként  $2 \mu F$ -os kondenzátoron keresztül jut a IV, V, és VI kivezetőkre. A IV és VI kivezetések az  $S_2$  és  $S_3$  szikraközökhöz csatlakoznak. Ezen szikraközök másik sarkát maguk a vizsgálati elektródok, vagy azoknak befogói alkotják. Az  $S_2$  és  $S_3$  szikratávolság, amelyeknek legkedvezőbb értékei egyenként  $11—13$  mm, a *6. ábra* szerinti segédszikraállvány  $I$  csavarja segítségével egyszerűen igazítható be. A szikratávolságok beigazítása ettől függetlenül megelőzőleg  $2$  és  $3$  ellenanyával ellátott csavarok segítségével külön-külön történik, egyszer és mindenkorra. Az V kivezetés a  $4$  kalitárdon lévő  $5$  gyűrűhöz csatlakozik. A Tesla-áramok csekély szikraközön keresztül szikrázás útján jutnak a  $6$  fejbe, amelybe egy  $7$  csúcsos segédelektrod van befogva. Ennek anyaga színképileg tiszta szén, grafit, vagy réz, de speciális feladatokra más is lehet. Amíg az  $S_2$  és  $S_3$  szikraközöknek lényeges jelentőségük van, addig az  $5$  és  $6$  alkatrész külső peremei közötti szikraköz, csupán az erősen felmelegedő segédelektrodtartótól való hőszigetelés céljaira való. Ellenkező esetben u. i. a hozzávezető kábel szigetelése könnyen elégne. A segédelektrod csúcsa az  $E$  elemző szikraközbe nyúlik be. Az elemző szikraköz szikratávolságát a segédelektrod csúcsa





6. ábra. Az elemző- és segédszikraállvány

pontosan középen felezi, aminek beállítása a Tesla-kisülések alatt a 3 igazítócsavar segítségével történik. Ennek pontos állását az árulja el, hogy egyenletes kisülést kapunk egyszerre mindkét elektródhoz. Ezt az állapotot tünteti fel a 6. ábra. Jól láthatók ezen a Tesla-kisülések is. A segédelektrod benyúlása az elemző szikraközbe egyszerűség kedvéért ugyancsak az 1 állítócsavarral történik. Minthogy az  $Sz_1$  és  $Sz_3$  szikraközök távolsága nem túl kényes, ezért ennek az egyszerűsítésnek semmi hátránya sincsen.

A fentiekben leírt elrendezés segítségével tehát igen kicsiny induktivitás értékekkel is folyamatos és üzembiztos kisüléssorozatot tudunk létrehozni. A Tesla-transzformátor szekundér tekercsének IV és VI kivezetésin u. i. azonos



polaritású a feszültség, az V kivezetéshez képest viszont mindkettő ellentétes polaritású. Így tehát a Tesla-áramoknak legalább is jó része nem a nagy munkakondenzátortelepen záródik haszontalanul, hanem átüti a vizsgálati elektródok és a segédelektrod közötti távolságot, ionizálván az elemző szikraközt.

Ezzel az elrendezéssel a kör maradó induktivitása mellett ( $1,25 \mu \text{Hy}$ ) 6—8 mm-es elemzőszikraköztávolság is folyamatosan átüthető. Ennél nagyobb szikraközökre a gyakorlati életben nincs szükség.

Ha az elemző szikraközt az I-es III-as kivezetésekre kapcsoljuk át, úgy a kör  $2,75 \mu \text{Hy}$ -ra rúgó maradó induktivitás mellett már nagyobb szikratávolságok is átüthetőek. Ha megelégszünk kisebb szikratávolsággal, úgy az  $Sz_3$  segédzikraköz alkalmazása nem szükséges. Ilyenkor a segédelektrodot a  $\beta$  állítócsavar segítségével a szikraközből eltávolítjuk és az egyik elektród oldalához hozzáértetjük, amivel rövidrezárjuk a Tesla-transzformátor egyik féltekercsét, s így elkerüljük a tekercsek átütését. Az  $Sz_1$  és  $Sz_2$  legelőnyösebb segédzikraköztávolság itt is kb. 12 mm. Az induktitás növelésével nő az átüthető legnagyobb szikratávolság. A különböző induktitásértékekhez tartozó legnagyobb elemző szikraköz távolságokat az  $Sz_{1,2}$  segédzikraközökkel és azok nélkül a III. táblázat szemlélteti. A táblázatból láthatjuk, hogy a kis induktitás értékek mellett az  $Sz_1, Sz_2$  szikraköznek igen nagy jelentősége van. Az ily módon

### III. TÁBLÁZAT

*A kisülő áramkör különböző induktitás értékeihez tartozó legnagyobb begújtható elemzőszikraköz távolságok segédzikraközökkel és azok nélkül.*

I. $\mu \text{Hy}$	Szikratávolság mm	
	$Sz_{1,2} = 12$	$Sz_{1,2} = 0$
	$E_{\text{max}}$	
1,25	1,5	< 0,1
2,75	2	0,1
3,65	2,5	0,3
5,20	3	0,5
9,80	3,5	1
19,6	4	1,5
32,0	5	2
58,0	7	3
110	10	10
235	14	14
450	16	16
1010	16	16

elérhető 1,5—2 mm-es elemzőszikraköztávolság a gyakorlatban már elegendő. Így tehát az  $Sz_2$  segédzikraköz alkalmazása nélkül is tudunk folyamatos kisülést létrehozni, ami az irodalomban eddig nem ismeretes. Így kiküszöbölhető a segédelektrod zavaró szinképe, valamint elkerülhető a vizsgálati elektródok kelle-

metlen, egyenlőtlen, féloldalas elégése. Ha az induktivitás értékét  $110 \mu$  Hy-re növeljük, úgy már az  $Sz_1$  és  $Sz_2$  szikraköz rövidre zárható anélkül, hogy csökkenne a legnagyobb átüthetető elemző szikraköztávolság. Ez utóbbi megoldás lényegileg azonos az irodalomban eddig is használatos nagyfrekvenciás áramközlési móddal, amely a 2. ábra szerinti kapcsolásnak felel meg. Ilyenkor a III. táblázat 3. oszlopa szerinti legnagyobb elemzőszikraköztávolságok érhetők el.

Berendezésünket tovább kívánjuk fejleszteni. Sikeres kísérleteket folytattunk a töltőáramkörnek a kisütő áramkör működtetéséhez hasonló módon való vezérlésével. Ennek akkor van jelentősége, amikor ohmikus ellenállást is iktatunk a kisülési áramkörbe. Ebben az esetben u. i. a kondenzátor kisülése után a töltőáramkör vezérlése nélkül ív kisülés gyullad be. Ennek elkerülése végett két ellentétes félperiódusban működő gyújtóáramkörrel vezéreljük az elemző szikraközt, vagy egy a töltőáramkörbe sorbakapcsolt szikraközt.

Köszönetemet fejezem ki a Postakísérleti Állomásnak azért, hogy a gerjesztő néhány elektromos adatának mérésében segítségemre volt. Ezeket a méréseket *Molnár János* és *Horváth Lajos* mérnök kartársak végezték. Köszönettel tartozom *Mosó Dezső* és *dr. Wessprémy Barna* mérnök kartársaknak, akik a kettős Tesla-transzformátor és a segédszikraközök alap gondolatához hozzájárultak. Végül hálával emlékezem meg *Fekete Imre* szakmunkás munkatársamról, aki a berendezés több alkatrészének elkészítését és összeszerelését végezte.

#### IRODALOM

- [1] Pfeilsticker, K.: Ztschr. f. Elektrochem. **43** (1937), 718.
- [2] Pfeilsticker, K.: Ztschr. f. Metallkunde **30** (1938), 211.
- [3] Hasler, M. F., Dietert, H. W.: J. Opt. Soc. Amer. **33** (1943), 218.
- [4] Calker, J. van: Ztschr. f. angew. Phys. **4** (1952), 161.
- [5] Calker, J. van: Spectrochim. Acta, **5** (1952), 19.
- [6] Mika J., Macher F., Vorsatz B.: Anal. Chim. Acta. **3** (1949) 228.

#### Összefoglalás

A leírt berendezés előnye az eddigiekhez képest: 1. A kondenzátortelep kisütése a kör maradé induktivitása ( $1,25 \mu$  Hy) mellett is lehetséges, nemcsak segédelektroddal, hanem kisebb szikratávolságnál ( $1,5$  mm) e nélkül is. 2. A vezérlés egyszerű és azzal a 0 + 1 típusú kisülések is előállíthatók. A dolgozat tárgyalja az egyes áramkörökben végbemenő villamos jelenségeket, valamint ezek alapján az áramkörök helyes méretezését.

# KÁLISÓ ELŐÁLLÍTÁSÁNAK LEHETŐSÉGE MAGYARORSZÁGON\*

CSAJÁGHY GÁBOR, SCHERF EMIL és SZÉKYNÉ FUX VILMA

[Beérkezett 1952. ápr. 24.]

## 1. Bevezetés

Káliumtartalmú szilikátos kőzet feltárásának problémája azokban az országokban, amelyekben ilyen káliumtartalmú szilikátos kőzet van, de vízben oldható kálisó nincs, mindig akkor kerül előtérbe, amikor az utóbbi beszerzése bizonyos nehézségekbe ütközik. A kérdés technikai tanulmányozásának régi multja van. Az első világháború idején a szabadalmak tömkelege született meg. Ezeknek a szabadalmaknak részletes ismertetésére nem térünk ki, mert ezekről az eredményekről több irodalmi összeállítás jelent meg [7, 12, 13].

Az első világháború után ezen a téren már csak kevés munka történt. Ennek az az oka, hogy a kérdés a nagyobb kálifogyasztó államokra (Szovjetunió, USA) elvesztette jelentőségét, mióta ott a németországi és a franciaországi területekhez hasonló kálisótelepekre bukkantak.

A vízben oldható kálisó nélküli, de pegmatitjaiban tetemes káliföldpát készletű Finnországban újabb időben *Tomula* kísérletezett földpát feltárással [23, 24].

Magyarországon a kérdéssel *Györki József* foglalkozott [5]. Abban az időben Magyarországon még nem ismertünk káliumban dús magmás kőzetet. *Györki* a 0,98—5,58%  $K_2O$ -t tartalmazó *Mecsek-hegységi fonolit* minták ipari feldolgozásának lehetőségét vizsgálta vízben oldható kálisó gyártása szempontjából. Arra az eredményre jutott, hogy mágneses szeparációval az anyagot nem lehet dúsítani és a szanidin földpát nehéz feltárhatósága miatt az említett kőzetek káliforrásnak nem tekinthetők. Ezzel a kérdés el volt temetve.

## 2. A telkibányai kálitrachit petrokémiai jellemzése

Gyökeresen megváltozott a helyzet 1951 elején, amikor a telkibányai Kányahegy (Eperjes-Tokaji hegység) egyébként régen ismert — *Pálfytól* trachitnak [15], *Liffától* ortoklász-amfibol-riolitnak [11] leírt — kőzetéről meg-

\* A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának 1952. ápr. 1-i ülésén elhangzott előadás.

állapítottuk, hogy *kálitrachit*, amely ásványos és kémiai összetételével Földünk fiatal harmadkori vulkáni hegységeiben egészen különleges kőzetfajta képvisel.

A Kárpátok vulkáni övében a színorogén és posztorogén vulkáni működés a jellegzetes mészkáli lávák között csak elvétve hozott létre K—Na sorbeli tagokat. A kánahegyi kálitrachit-hoz hasonló összetételű, nagy  $K_2O$ -tartalmú kőzetet — a rendelkezésre álló elemzési adatok alapján — csak a hidrotermálisan erősen elbontott és nemesfémtartalmú lelőhelyekkel kapcsolatosan találunk. A világirodalomban hasonló nagy  $K_2O$ -tartalmú kőzetet csak *Kato* közöl Japán harmadkori arany-ezüst lelőhelyeiről [9]. Érdekes feladatnak ígérkezik a nagy  $K_2O$ -tartalom és az Au ércesedés közötti összefüggés még nem teljesen tisztázott kérdésének megoldása.

Annyi kétségtelen, hogy mind a kálitrachit, mind az Au-tartalmú kvarc-teléreik keletkezésében a Telkibánya-Alsókéked-i területen a magmás differenciációnak igen fontos hatása volt. A szarmatában lejátszódó vulkáni működés kitörési sorrendje egyszersmind jellegzetes differenciációs sort is mutat:

piroxénandezit — riolit — kálitrachit (1) — kálitrachit (2).

A terület felépítésében a piroxénandezit erősen uralkodik. A vulkáni működést a kálitrachit két szorosan egymáshoz csatlakozó, de egymástól jól elkülöníthető kitörése zárta le. Így a kálitrachit, mint a piroxénandezit láva kristályosodási derivátuma, mintegy maradékláva kőzete fogható fel. Az ilyen differenciált területek, ahol intermediér és savanyú lávák együttesen mutatkoznak, ércesedésre is igen alkalmasak [21].

A kálitrachit ásványos és kémiai összetételét egyébként röviden az alábbiakban foglaljuk össze: legfeltűnőbb porfíros beágyazása (térfogatban 70—75%-át jelenti) az átlagosan 1,2—4,0 mm átmérőjű szanidin (1. és 2. sz. mikroszkópos felvétel). A szanidin mellett csak elvétve találunk egy-két plagioklásztt. A színes porfíros elegyrészek erősen háttérbe szorulnak. Közöttük az opacitos szegélyű amfibol dominál, a hipersztén lényegesen ritkább. Az alapanyag a kálitrachit különleges összetételének megfelelően igen változatos. Leggyakrabban hialopilitos, vagy pilotaxitos, de gyakran mutat szép szferolitot (1. sz. mikroszkópos felvétel), illetve trachitos szövetet is (2. sz. mikroszkópos felvétel). A kőzet hidrotermális hatásra gyakran elváltozik, a szanidin szericitesedik, kaolinosodik, az amfibol, hipersztén helyét klorit, epidot, kalcit, limonit foglalja el (1. sz. mikroszkópos felvétel). A mikroszkópos vizsgálattal megállapított kálitrachit jelleget a kémiai elemzés teljes mértékben igazolta. Sőt a felszínről és a részben még járható régi bányatáró kőzetéből gyűjtött több mint 60 minta (lásd a mellékelt táblázatot) átlagos  $K_2O$ -tartalma várakozásainkat is felülmúlta.

<i>Átlagos <math>K_2O</math>-tartalom</i> .....	10,48%
<i>Átlagos <math>Na_2O</math>-tartalom</i> .....	0,57%

A második kitörés  $K_2O$ -tartalma az átlagosnál jóval nagyobb (12—14%).  
*Maximális  $K_2O$ -tartalom* 14,01%,  *$Na_2O$*  0,29%.



Utóbbi kőzet  $K_2O$ -tartalma a káliföldpát elméleti  $K_2O$ -tartalmát (16,9%) megközelíti, sőt felülmúlja a természetben előforduló ortoklászét is. Így pl. meghatároztuk egy pegmatitból származó ortoklász  $K_2O$ -tartalmát, s ez mindössze 12,39%,  $Na_2O$ -tartalma 2,84% volt, ami azt jelenti, hogy a megelemezett kálitrachit csaknem tiszta szanidin és benne a  $K_2O : Na_2O$  arány lényegesen kedvezőbb.

Az átlagosan nagy  $K_2O$ -tartalom és a földtani felvétel alapján várható mennyiség készítettek bennünket arra, hogy a kálium termelésének kérdésével foglalkozzunk. Ezért sorozatos laboratóriumi kísérleteket végeztünk.

A telkibányai kálitrachit kőzetből legújabban 3 teljes elemzést készítettek : Csajághy Gábor, Földváriné Vogl Mária [21] és Tolnay Vera.

A feltáráshoz használt kálitrachit elemzési adatai a következők :

*Kálitrachit. Kányahegy (Eperjes-Tokaji hegység)*

°.	Niggli értékek és bázisok	Molekulanormák
$SiO_2$ .....	60,93	si 262
$TiO_2$ .....	0,93	al 37
$Al_2O_3$ .....	14,65	fm 14
$Fe_2O_3$ .....	3,24	c 18
$FeO$ .....	0,29	alk 31
$CaO$ .....	3,98	k 0,96
$MgO$ .....	0,33	mg 0,08
$MnO$ .....	0,05	ti 3
$K_2O$ .....	10,60	c/fm 1,34
$Na_2O$ .....	0,43	q +38
$P_2O_5$ .....	0,14	L 43,4
$H_2O$ .....	1,40	M 15,4
$H_2O^-$ .....	0,66	Q 41,2
$CO_2$ .....	2,64	
	100,27	
		Or 61,9
		Ab 3,9
		An 6,6
		En 1,1
		Fs 2,7
		Cc 4,8
		Cp 0,3
		Mt 0,6
		Ru 0,7
		W 5,2
		Q 12,2
		Q=12,2

Elemző : Tolnay Vera.

A mikroszkópos és kémiai elemzés alapján a kálitrachit ásványos összetétele a következő :

73% földpát (szanidin),

15% színes elegyrész (főleg átalakult amfibol),

12% kvarc (az alapanyagban).

### 3. Laboratóriumi kísérletek eredménye

A terjedelmes szabadalmi és tudományos irodalom áttanulmányozása után [2, 12, 13] arra az eredményre jutottunk, hogy a földpát  $K_2O$ -tartalmának szabadabb tételére a  $CaO + CaCl_2$ -dal való feltárás ígérkezik a legjobbnak. Az elgondoláshoz az alapot a kémiai analitikából jólismert Lawrence—Smith-féle

alkáli-meghatározási módszer adta, amellyel kvantitatív hatásfokú K-felszabadítás érhető el.

Előzetes kísérleteinkben *Neumann* és *Draisbach* vizsgálati eredményeit vettük alapul. Főmegállapításait a következő pontokban lehet összefoglalni:

1. A legjobb feltárási eredményt a földpát + CaO + CaCl<sub>2</sub> együttes használata adta.

2. A porítás finomsága kedvezően befolyásolta a hatásfokot.

3. A feltárás legkedvezőbb hőfoka 650° körül van. 750°-tól kezdve a vízben oldhatóvá vált K<sub>2</sub>O mennyisége hirtelen erősen csökken, úgyhogy 850°-tól kezdve a hatásfok már egészen kicsi volt. *Neumann* és *Draisbach* e jelenséget a képződő káliumkloridnak nagyobb hőfokon való elpárolgásával magyarázták.

4. 650°-on felül végzett feltárások lúgzási maradéka hidraulikus tulajdonságokat mutatott. Véleményük szerint a módszer esetleg nagyipari alkalmazásra is használható. Tekintetbevéve azonban azt, hogy a feltárási maradék a káli-termelés tízszerese lenne, szerzők nem hiszik, hogy ilyen gyár versenyképes áron állíthatna elő kálisót [13].

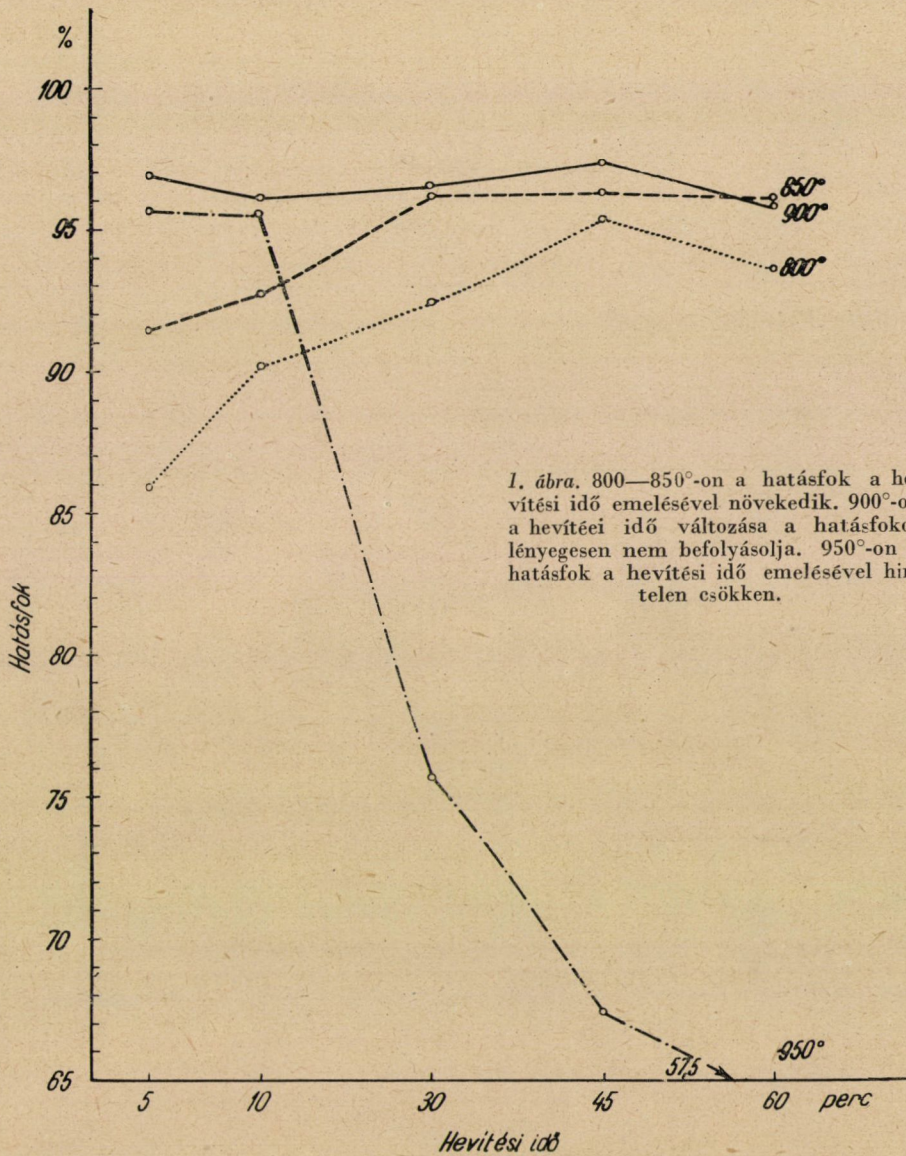
A CaO + CaCl<sub>2</sub> keverékével dolgozó feltárási módszert *Tomula* vizsgálta meg újra [23, 24]. Kísérleteinek célja a finn pegmatitokban lévő ortoklászok K<sub>2</sub>O-tartalmának elkülönítése volt. Szerinte a káliumot a földpátrácsból az in statu nascendi ható elemi Cl ragadja ki.

Tekintettel az előző szerzők eredményeire és arra, hogy a Lawrence—Smith-féle eljárással a jelenlévő NH<sub>4</sub>Cl-ből és CaCO<sub>3</sub>-ból az alacsonyabb hőfokon való hevítéskor keletkező sósav szintén CaCl<sub>2</sub>-ot létesít, elhatároztuk, hogy saját kísérleteinknél eleve CaCl<sub>2</sub>-dal dolgozunk, melyet azonban nem egymagában, hanem más szerzők tapasztalatai értelmében CaO-dal keverve alkalmaztunk.

Előzetes kísérleteinkből, amelyeket *Neumann* és *Draisbach*, illetve *Tomula* elgondolása alapján végeztünk, világossá vált, hogy 600° körüli hőmérsékleten kvantitatív hatásfokú kálisó elkülönítése nem érhető el. Mikor azonban a hőfokot próbaképpen 800—850°-ra emeltük, az I. táblázatban feltüntetett meglepően jó eredményeket kaptuk.

I. TÁBLÁZAT

Sor-szám	Hevítési idő összesen P	Hevítési idő a maximális hőfokon P	Maximális hőfok C°	Trachit g	CaO g	CaCl <sub>2</sub> g	Hatásfok %
1.	175	90	800	3,0	3,0	3,0	92,8
2.	195	90	850	3,0	3,0	3,0	94,2
3.	210	90	850	3,0	3,0	2,0	88,9
4.	200	90	850	3,0	4,0	3,0	98,7
5.	180	90	850	3,0	4,0	2,5	98,4
6.	195	90	850	3,0	4,0	2,0	97,0
7.	185	90	850	3,0	4,0	—	4,6



1. ábra. 800—850°-on a hatásfok a hevítési idő emelésével növekedik, 900°-on a hevítési idő változása a hatásfokot lényegesen nem befolyásolja, 950°-on a hatásfok a hevítési idő emelésével hirtelen csökken.

A lefelé irányuló görbe 950°-ra vonatkozik.

Ezért későbbi — több mint 70 — kísérletünket 800—900°-on végeztük és a kísérleti körülmények rendszeres változtatásával az ezen a hőfokon legjobbnak ígérkező keverési arányt és hevítési időt igyekeztünk megállapítani. Tomulától eltérően kísérleteinkben CaO helyett mindenkor az olcsóbb CaCO<sub>3</sub>-at használtuk és a CaCl<sub>2</sub> mennyiségét a lehetőség szerint csökkentettük. Erre vonatkozó kísérleti eredményeinket a II. táblázatban foglaltuk össze :

## II. TÁBLÁZAT

Sor- szám	Hevítési idő összesen p	Hevítési idő a maximális hőfokon p	Maximális hőfok C°	Trachit g	CaCO <sub>3</sub> g	CaCl <sub>2</sub> g	Hatásfok %
8.	215	120	850	3,0	7,14	3,0	97,8
9.	225	120	850	3,0	7,14	2,5	97,3
10.	225	120	850	3,0	7,14	2,0	96,4
11.	235	120	850	3,0	7,14	1,5	90,6
12.	170	90	750	3,0	7,14	2,0	92,1
13.	170	90	750	3,0	6,25	2,0	92,1
14.	180	90	800	3,0	7,14	2,0	96,9
15.	190	90	800	30,0	71,40	20,0	86,5
16.	205	90	850	3,0	8,93	2,0	96,5
17.	185	90	850	3,0	8,93	1,5	84,4
18.	205	90	850	3,0	7,14	2,0	96,7
19.	185	90	850	3,0	7,14	1,5	92,1
20.	200	90	850	3,0	6,25	2,0	96,3
21.	200	90	850	3,0	5,25	2,0	95,6
22.	210	90	850	3,0	5,25	2,0	97,3
23.	235	90	900	3,0	7,14	2,0	93,3
24.	155	60	800	3,0	6,25	1,75	95,6
25.	170	60	850	3,0	7,14	2,0	97,8
26.	170	60	850	3,0	7,14	1,5	93,6
27.	105	60	350	3,0	6,25	2,0	83,7
28.	165	60	850	3,0	6,25	1,75	96,0
29.	105	60	850	3,0	5,35	3,0	94,7
30.	105	60	850	3,0	5,35	2,0	90,7
31.	105	60	850	3,0	4,17	1,75	77,4
32.	170	60	850	60,0	125,0	36,0	93,9
33.	180	60	900	3,0	6,25	1,75	95,7
34.	185	60	900	30,0	71,4	20,0	96,8
35.	185	60	900	30,0	62,5	20,0	97,3
36.	165	60	950	3,0	6,25	1,75	57,6
37.	190	50	900	80,0	166,7	48,0	96,4
38.	140	45	800	3,0	6,25	1,8	97,1
39.	140	45	800	3,0	6,25	1,75	95,3
40.	90	45	850	3,0	6,25	2,0	86,2
41.	150	45	850	3,0	6,25	1,75	96,2
42.	155	45	850	3,0	6,0	1,75	92,4
43.	170	45	900	3,0	7,14	2,0	97,8
44.	170	45	900	3,0	6,25	2,0	96,1

Sor- szám	Hevítési idő összesen p	Hevítési idő a maximális hőfokon p	Maximális hőfok C°	Trachit g	CaCO <sub>3</sub> g	CaCl <sub>2</sub> g	Hatásfok %
45.	170	45	900	3,0	6,25	1,75	97,3
46.	175	45	900	3,0	5,35	2,0	90,6
47.	175	45	900	3,0	5,35	1,75	88,7
48.	150	45	950	3,0	6,25	1,75	67,3
49.	125	30	800	3,0	6,25	1,75	92,3
50.	135	30	850	3,0	6,25	1,75	96,2
51.	135	30	850	60,0	125,0	36,0	87,8
52.	155	30	900	3,0	6,25	1,75	96,5
53.	160	30	900	3,0	5,35	2,0	91,4
54.	135	30	950	3,0	6,25	1,75	75,6
55.	115	15	800	3,0	6,25	1,75	90,1
56.	115	15	850	3,0	6,25	1,75	92,7
57.	140	15	900	3,0	6,25	1,75	96,0
58.	125	15	950	3,0	6,25	1,75	95,6
59.	125	15	950	3,0	6,0	1,7	91,4
60.	105	5	800	3,0	6,25	1,75	85,9
61.	105	5	850	3,0	6,25	1,75	96,4
62.	125	5	850	3,0	6,25	1,75	91,3
63.	130	5	900	3,0	6,25	1,75	96,9
64.	115	5	950	3,0	6,25	1,75	95,7
65.	115	5	950	3,0	6,0	1,7	91,0

A táblázatban feltüntettük a hevítés összes idejét, beleértve azt az időt is, amely szükséges ahhoz, hogy a kemencében a feltárási keverék hőfokát szoba-hőmérsékletről a jelzett maximális hőfokra emeljük. A harmadik oszlop a kísérlet maximális hőfokán való hevítési időt tünteti fel. Az ötödik, hatodik, hetedik oszlop az egyes kísérleteknél felhasznált trachit, CaCO<sub>3</sub> és CaCl<sub>2</sub> grammokban kifejezett mennyiségét tartalmazza. Az utolsó oszlop jelzi, hogy a trachit K-tartalmának hány százalékát kaptuk vissza vízzeloldható alakban.

A kísérleteknél rendszeresen változtattuk a hevítési időt, a maximális hőfokot, a CaCO<sub>3</sub> és CaCl<sub>2</sub> mennyiségét. E tényezők változásának hatása a kísérleti sorozatból összeállított kisebb táblázatokból (III., IV., V., VI.) és grafikonból (1. ábra.) különösen jól kitűnik.

A kísérleti eredmények szerint :

1. 800—900° közötti hőmérsékleten legjobb az eredmény. Ez a megállapítás akkor is érvényes volt, amikor a trachit eredeti mennyiségét (3 g) 27-szeresére, azaz kereken 80 g-ra emeltük. Ezt azért fontos megemlíteni, mert egyes kutatók



## III. TÁBLÁZAT

A kísérletekhez bemért mennyiség: trachit 3 g,  $\text{CaCO}_3$  6,25 g,  $\text{CaCl}_2$  1,75 g  
 Keverési arány: ..... » 1 s. r. » 2,08 s. r. » 0,58 s. r.

Hevítési idő p	Max. hőfok 800° Hatásfok %	Max. hőfok 850° Hatásfok %	Max. hőfok 900° Hatásfok %	Max. hőfok 900° Hatásfok %
60	95,6	96,0	95,7	57,6
45	95,3	96,2	97,3	67,3
30	92,3	96,2	96,5	75,6
15	90,1	92,7	96,0	95,6
5	85,9	91,3	96,9	95,7

Állandó: bemért mennyiség. Változó: maximális hőfok és hevítési idő a maximális hőfokon.

1 g-os bemérésnél jó eredményt kaptak, de mikor a földpát mennyiségét 10 g-ra növelték, a hatásfok csökkent.

2. A maximális hőfokon (850—900°) való hevítésre 30—45 p bőségesen elég még akkor is, ha a trachitmennyiség 80 g.

3. 800—850°-on a hatásfok a hevítési idő növelésével emelkedik. 900°-on a hevítési idő változása a hatásfokot lényegesen nem befolyásolja. Ezzel szemben 950°-on a hevítési idő növelésével a hatásfok lényegesen csökken. Ennek az az oka, hogy 800°-on feltárás csak hosszabb (45—60 p) hevítési idővel érhető el, míg 950°-on hosszabb hevítési idő alatt a keletkező KCl részben elillan.

Ez adta a gondolatot arra, hogy a hőfok további emelésével hasonló körülmények között szállasztási kísérleteket is végezzünk. Ezeknek a kísérleteknek az eredményét a IV. táblázatban foglaltuk össze:

## IV. TÁBLÁZAT

## Szállasztási kísérletek

Sor- szám	Hevítési idő összesen	Maximális hőfok C°	Trachit g	$\text{CaCO}_3$ g	$\text{CaCl}_2$ g	A bevitt $\text{K}_2\text{O}$ %-a a feltárási mara- dékban
	p					%
66.	180	1125	3,0	6,25	1,75	0,51
67.	180	1125	3,0	6,25	0,87	1,53
68.	155	1200	3,0	6,25	0,75	1,09
69.	155	1200	3,0	6,25	0,60	2,51
70.	180	1100	3,0	7,95	1,80	1,61
71.	180	1100	3,0	7,95	1,50	1,33
72.	180	1170	3,0	7,95	1,20	1,42
73.	180	1170	3,0	7,95	0,90	1,52
74.	180	1140	3,0	7,95	0,60	9,09
75.	180	1140	3,0	7,95	0,30	38,21

A táblázat szerint 1100—1200° között a feltárás folyamán keletkező KCl csaknem teljes egészében elszállasztható. A feltárási maradékban a trachit  $\text{K}_2\text{O}$ -tartalmának csak 1—2%-a marad vissza. Ettől csak akkor van eltérés,

amikor a  $\text{CaCl}_2$  mennyiségét 1 s. r. trachithoz viszonyítva 0,2—0,1 s. r.-re csökkenttük. Előző kísérleteinkben használt legkedvezőbb keverési arány mellett,  $1100^\circ$  körüli hőmérsékleten, a bevitt  $\text{K}_2\text{O}$ -tartalomnak 99,49%-a (66. sz. kísérlet), gyakorlatilag 100%-a elszállasztható. Ezeknek a kísérleteknek az üzemi megvalósításnál technológiai szempontból lehet különös jelentősége.

Az V. és VI. táblázat a  $\text{CaCl}_2$  mennyiségének változását tünteti fel.

## V. TÁBLÁZAT

A kísérletekhez bemért mennyiség: trachit 3 g,  $\text{CaO}$  4 g.  $\text{CaCl}_2$  változó  
 Keverési arány: ..... » 1 s. r. » 1,33 s. r. » »  
 Maximális hőfok:  $850^\circ$ . hevítési idő a maximális hőfokon 90 p.

$\text{CaCl}_2$ mennyiség g	Hatásfok %
3,0	98,7
2,5	98,4
2,0	97,0
—	4,6

Állandó: maximális hőfok. hevítési idő a maximális hőfokon. Változó:  $\text{CaCl}_2$  mennyisége.

## VI. TÁBLÁZAT

A kísérletekhez bemért mennyiség: trachit 3 g,  $\text{CaCO}_3$  7,14 g.  $\text{CaCl}_2$  változó  
 Keverési arány: ..... » 1 s. r. » 2,38 s. r. » »  
 Maximális hőfok:  $850^\circ$ , hevítési idő a maximális hőfokon: 120 p.

$\text{CaCl}_2$ mennyiség g	Hatásfok %
3,0	97,8
2,5	97,3
2,0	96,4
1,5	90,6

Állandó: maximális hőfok, hevítési idő a maximális hőfokon. Változó:  $\text{CaCl}_2$  mennyisége.

3 g trachitot számítva  $850^\circ$ -on, a  $\text{CaCl}_2$  szükséges mennyisége 2,0—1,5 g között van. A  $\text{CaCl}_2$  mennyiségének további csökkentése (1 s. r. trachitra számítva 0,5 s. r.  $\text{CaCl}_2$ ) kedvezőtlenül befolyásolja a hatásfokot. Az V. táblázatból az is kitűnik, hogy a  $\text{CaO}$  feltáró hatása  $\text{CaCl}_2$  nélkül egészen jelentéktelen.

A hatásfok változását a  $\text{CaCO}_3$  mennyiség változásának függvényében a VII. táblázat tünteti fel.

A  $\text{CaCO}_3$ -nak gyakorlati szempontból használható legkisebb mennyisége 3 g trachitot számítva 6,25 g, azaz 1 s. r. trachitra számítva 2,08 s. r.  $\text{CaCO}_3$ . A  $\text{CaCO}_3$  mennyiségének további növelése  $850^\circ$ -on a hatásfokot nem növeli.

## VII. TÁBLÁZAT

A kísérletekhez bemért mennyiség: trachit 3 g,  $\text{CaCO}_3$  változó,  $\text{CaCl}_2$  2,0 g  
 Keverési arány: ..... » 1 s. r. » » » 0,66 s. r.  
 Maximális hőfok:  $850^\circ$ , hevítési idő a maximális hőfokon: 90 p.

$\text{CaCO}_3$ mennyiség g	Hatásfok %
8,93	96,5
7,14	96,7
6,25	96,3
5,25	95,6

Állandó: maximális hőfok, hevítési idő a maximális hőfokon. Változó:  $\text{CaCO}_3$  mennyisége.

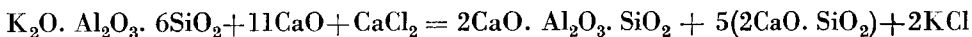
Laboratóriumi kísérleteink végső eredményeként a földpát feltárássra a következő keverési arány adódott:

trachit 3 g,  $\text{CaCO}_3$  6,25 g,  $\text{CaCl}_2$  1,75 g,  
 trachit 1 s. r.,  $\text{CaCO}_3$  2,08 s. r.,  $\text{CaCl}_2$  0,58 s. r.,  
 hőfok  $850\text{--}900^\circ$ ,  
 hevítési idő 30—45 perc a maximális hőfokon.

Valamely bonyolult többfázisú vegyi folyamatot csak akkor tudunk irányítani, ha pontosan ismerjük az egyes fázisok lefolyását. Földpát feltárási eljárásunk lényegének ismeretében ítélni lehet meg annak gyakorlati lehetőségeit is. A végbemenő reakció mechanizmusának ismerete tehát nemcsak igen érdekes elméleti kérdés, hanem gyakorlatilag is fontos.

## 4. A laboratóriumi kísérletek ásványtani és rácsszerkezeti értelmezése

Kísérleteinkben tulajdonképpen bonyolult  $\text{SiO}_2\text{—CaO—Al}_2\text{O}_3$ -rendszerrel van szó, amelyben gehlenit, anortit és más Ca-szilikát képződésével kell számolni [3, 4, 16, 17]. Kísérleti körülményeink mellett (maximálisan  $850\text{--}900^\circ$ ) a reakció szilárd fázisban megy végbe, ahol a finom eloszlású anyagból gehlenit ( $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ ), de különösen dikalciumszilikát ( $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) jóval olvadáspontja alatt is képződhetik [6, 10]. Abból a feltevésből kiindulva, hogy a földpát feltárása a szerkezet tökéletes elroncsolásán a káliumnak klórral, a szilíciumdioxidnak kalciumoxiddal való lekötésén alapszik, a következő egyenletet állítottuk fel:



szanidin		gehlenit		dikalciumszilikát	
M. s.: 556,49	616,88	110,99	274,16	861,10	149,10
			feltárási maradék		

Az egyenlet helyességének igazolására kísérletsorozatainkat a 80 g-os kísérletünknel az oldhatatlan maradék elemzésével is kiegészítettük. Az izzítás és az oldhatóvá vált kálium kilúgzása után a kilúgzott maradékot megelemeztük és azt a következő összetételűnek találtuk: (A táblázat jobb oldalán a feltárás szempontjából lényeges alkatrészek mol. arányait számítottuk ki.)

Mol. arány	
SiO <sub>2</sub>	27,48% ..... 0,4565 mol ..... 6,971 mol
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,69 „ ..... 0,0653 » ..... 1,000 »
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,79 „
CaO	57,14 „ ..... 1,0189 » ..... 15,525 »
MgO	0,77 „
K <sub>2</sub> O	0,04 „
Na <sub>2</sub> O	0,07 „
—H <sub>2</sub> O	0,61 „
+H <sub>2</sub> O	3,70 „ ..... 0,2104 » ..... 3,205 »
CO <sub>2</sub>	0,58 „
Cl	1,88 „
	100,75 %
lev. a Cl-al ekv. O-t	0,42 „
	100,33%

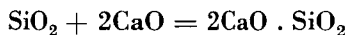
Az egyenlet értelmében a kilúgzási maradékban 12 molekula CaO-ra 6 molekula SiO<sub>2</sub>-nek és 1 molekula Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-nak kellene jutnia. A valóságban a fent közölt elemzés és az oldhatatlan maradékból számított molekula arányok szerint azt tapasztaltuk, hogy 1 molekula Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ra kb. 15CaO és 7SiO<sub>2</sub> molekula jutott. Ez azonban nem bizonyít az egyenlet helyessége ellen, mert kísérleteinknél nem tiszta földpáttal, hanem trachittal dolgoztunk, melyben a káliföldpáton kívül színes elegyrész és az alapanyagban kvarc is van.

Ha már most tekintetbe vesszük a 2. fejezetben adott ásványos összetétel és feltételezzük, hogy a színes elegyrészek a feltárásnál ugyanannyi CaO-t és CaCl<sub>2</sub>-t fogyasztanak, mint a káliföldpát, akkor a fenti egyenlet értelmében 73% földpát és 15% színes elegyrész feltárásához szükséges:

(A jelenlévő 5% kalcit CaO-t nem fogyaszt.)

1.  $556,49 : 618,88 = 83 : x_1 \text{CaO}$ , amiből  $x_1 = 92,31 \text{ g CaO}$ .

Az alapanyagban jelenlévő 12% kvarc feltárásához az alanti egyenlet értelmében a következő mennyiségű CaO szükséges:



m. s.: 60,06    112,16    172,22

2.  $60,06 : 112,16 = 12 : x_2 \text{CaO}$ , amiből  $x_2 = 22,41 \text{ g CaO}$ .

A fentiek szerint tehát 100 g trachit feltárásához:

$$x_1 = 92,31 \text{ g CaO}$$

$$x_2 = 22,41 \text{ g CaO}$$

Összesen 114,72 g CaO szükséges.

A feltárásnál 80 g trachitból, 166,7 g  $\text{CaCO}_3$ -ból, 48,0 g  $\text{CaCl}_2$ -ből indultunk ki. A kísérletileg megállapított legkedvezőbb keverési arány szerint, mely mellett a feltárási gyakorlatilag még kvantitatív módon, de a legkisebb vegyszer-mennyiség felhasználásával megy végbe

1 s. r. trachit feltáráshoz 2,083 s. r.  $\text{CaCO}_3$ , ill.

1 s. r. trachit feltáráshoz 1,167 s. r.  $\text{CaO}$  szükséges.

Ezzel szemben fenti elméleti megfontolásaink szerint

1 s. r. trachit feltáráshoz 2,0475 s. r.  $\text{CaCO}_3$ , ill.

1 s. r. trachit feltáráshoz 1,1472 s. r.  $\text{CaO}$  szükséges.

A  $\text{CaCO}_3$ -ra elméletileg kiszámított érték tehát majdnem szabatosan egyezik a kísérletileg megállapított, legkedvezőbb minimális mennyiséggel. Mindez elméleti megfontolásaink helyességét igazolja.

A  $\text{CaCl}_2$ -ra a megegyezés nem ilyen jó. Ennek oka, hogy a  $\text{CaCl}_2$ -ot feleslegben kell alkalmazni, mivel az mint illékony vegyület 850—900°-on nagyobb mértékben szublimál.

Azonban felállított egyenletünk helyességét nemcsak a feltáráshoz elméletileg megállapított és kísérletileg felhasznált  $\text{CaCO}_3$  mennyiségének csaknem szabatos egyezése, hanem a röntgen, a mikroszkópos ásványtani vizsgálat eredménye, valamint kristálykémiai megfontolások is igazolják.

Kísérletsorozatunkkal kapcsolatban *Nemecz* Ernő két röntgenfelvételt készített: 1. az eredeti finom porrá őrölt kálitrachitról; 2. a ki nem lúgzott feltárási maradékról.

1. Eredeti kálitrachit				2. Feltárási maradék	
$d_{hkl}$ kX-ben		I.	$d_{hkl}$ kX-ben	$d_{hkl}$ kX-ben	
4,21	fp., q.	(e)	1,797 fp.	3,15	ge.
3,74	fp.	(ke)	1,541 q.	2,761	ge.
3,32	fp., q.	(ie)	1,496 fp.	2,605	
3,21	fp.	(ke)	1,431 fp.	2,189	$\beta 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
3,00	fp.	(ke)	1,376 q.	1,974	$\beta 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$
2,898	fp.	(k)	1,284 fp.		
2,578	fp.		1,254 fp.		
2,161			1,180		
2,124			1,082		

(fp=földpát, q=kvarc, ge=gehlenit).

(ie=igen erős, e=erős, ke=közepesen erős, k=közepes).

Az eredeti kőzet diagrammjában a vonalak többsége földpáttól (fp) ered. A földpát közelebbi meghatározása csak precíziós felvétellel történhetnék. Fenti adatokból csak arra lehet következtetni, hogy a földpát adulár, mikroklin vagy szanidin. A földpát mellett kvarc (q) is jelentkezik. Mikroszkópos vizsgálataink — mint az előzőkből kitűnik — a szanidin és kvarc jelenlétét biztosan



igazolták. Néhány vonal a kőzet más elegyrésztől — mikroszkópos vizsgálataink alapján — amfiboltól, hiperszténtől, stb. származik.

A feltárt minta jellegzetessége, hogy benne az intenzitás alapján diagnosztikus értékkel *egyetlen földpát vonal sem jelentkezik*. Ez azt bizonyítja, hogy a kőzetfeltárás, *a szanidin szerkezet elroncsolódása, illetve átalakulása tökéletes volt*. Helyette csak a gehlenit (ge) legerősebb vonalai jelentkeztek és két másik vonal, mely a gehlenittől eltér és  $\beta$   $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ -nek tekinthető, mert annak legerősebb vonalával egyezik. A röntgenfelvételek eredménye tehát felállított egyenletünkkel tökéletes összhangban van.

A feltárási maradékot mikroszkóppal is megvizsgáltuk. A maradék kisebb részét víztiszta, átlátszó, jól határolt, nagy törésmutatójú gehlenitszemek alkotják, amelyeknek optikai sajátosságai az irodalmi értékekkel tökéletesen egyeztek. Az uralkodó másik elegyrész át nem látszó, gyakran szivacsos szerkezetű, szabálytalan szemeket képez. A szemek gyakran sárgára, halványbarnára, vörösbarnára színezettek. A törésmutatói nagyok ( $\beta = 1,72$ ). Az említett kísérleti körülmények mellett  $\beta$   $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  (1456—675° között stabilis) képződik [10]. Erre utalnak a röntgenfelvételen kapott vonalak is. A törésmutató is jól egyezett a  $\beta$   $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  értékeivel, s erre mutatnak egyéb tulajdonságai is. A szintelen, víztiszta, átlátszó szemek között néhány szem törésmutatója kisebb volt 1,65-nél, s egyéb sajátosságai is eltértek a gehlenittől. A cement nyersanyagok vizsgálatából közismert, hogy 675°-on a  $\beta$   $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$   $\gamma$   $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ -tá alakul át. E víztiszta szemeket valóban  $\gamma$   $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ -nak határoztuk meg. Az átalakulás teljes megakadályozása csak különleges eljárásokkal, pl. kis mennyiségű idegen anyagoknak a  $\beta$   $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  rácsába való felvételével [10] sikerül.

A szilárd fázisban lejátszódó kémiai folyamatok [10, 22] alapfeltétele, hogy a reakcióba lépő ásvány, illetve vegyület kérdéses alkatrésze a rácsban lévő kötőerő hatása alól megszabaduljon és a reakciótárrsal kölcsönhatásba lépjen. A kérdéses anyag kémiai reakcióképessége szoros összefüggésben van rácsszerkezeti felépítésével. Ugyanazon anyag különböző módosulatainak reakcióképessége a rácsszerkezeti eltérések miatt igen különböző. A reakcióképesség a felületeken, különösen az éleken és csúcson a legnagyobb, mivel az itt helyetfoglaló tömegpontok a rácserők egyoldalú hatása alatt állanak. A felület nagyságával tehát a reakcióképesség nagymértékben növelhető. Kísérleteinknél elért kiváló hatásfok egyik fő oka, hogy a feltáráshoz kerülő trachitot rendkívüli finomságban (0,05—0,02 mm) alkalmaztuk.

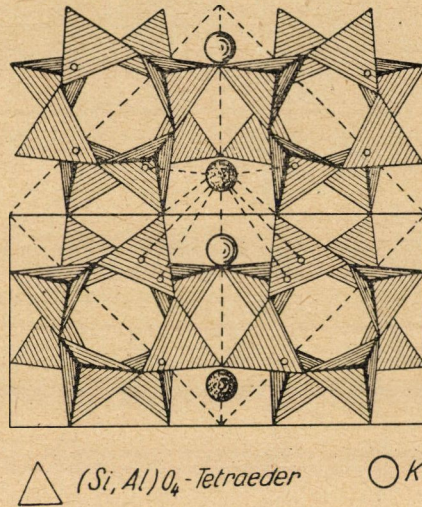
Lényegesen növelhető a reakcióképesség a kristályrács fellazításával, vagyis a hőfok emelésével, amikor is a rács egyes tömegpontjai maximális rezgésszámot elérve kötésüktől megszabadulnak és a reakciótárs részeivel csereviszonyba lépve, új vegyület rácsát építik fel [10]. Ezt a kedvező hatást kísérleteinknél 850—900° között értük el.

Feladatunk kristálykémiaiilag a földpátos (szanidines) kötésben lévő kálium kiszabadítása volt. Közismert, hogy a  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  összetételű szanidin,

mint a többi földpátok is, a vázsilikátok sorába tartozik — mint a 2., 3. ábrából is látható —  $\text{SiO}_4$ -tetraederek összekapcsolódásából áll. A Si-ot  $\frac{1}{4}$  részben Al helyettesíti, s az így felszabaduló elektrosztatikus vonzóerőt köti le a K.

A  $\text{SiO}_4$ -tetraederek 4-es gyűrűkké, s a gyűrűk az a-tengellyel párhuzamosan futó láncokká egyesülnek (2. ábra). A láncok az elemi cella két felének közepén helyezkednek el, a szanidin elemi cellájában két molekula  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ -t találunk. Az egymással szomszédos gyűrűs láncok O közvetítésével kettős láncokká kapcsolódnak össze. A nagy ionrádiuszú K — mint a 2., 3. ábrából is látható —

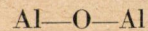
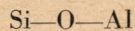
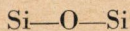
*Szanidin*



2. ábra. Kép a pszeudotetragonális a-tengely irányában.

8-as koordinációban (1 K-ot 8 O vesz körül egyenlő távolságban) a tetraeder-váz üregeibe illeszkedik [3, 8, 18, 20].

A K a szanidin stabilis rácsába erősen lekötött. A szanidin vázsilikátos szerkezetében háromféle kötés létesül:

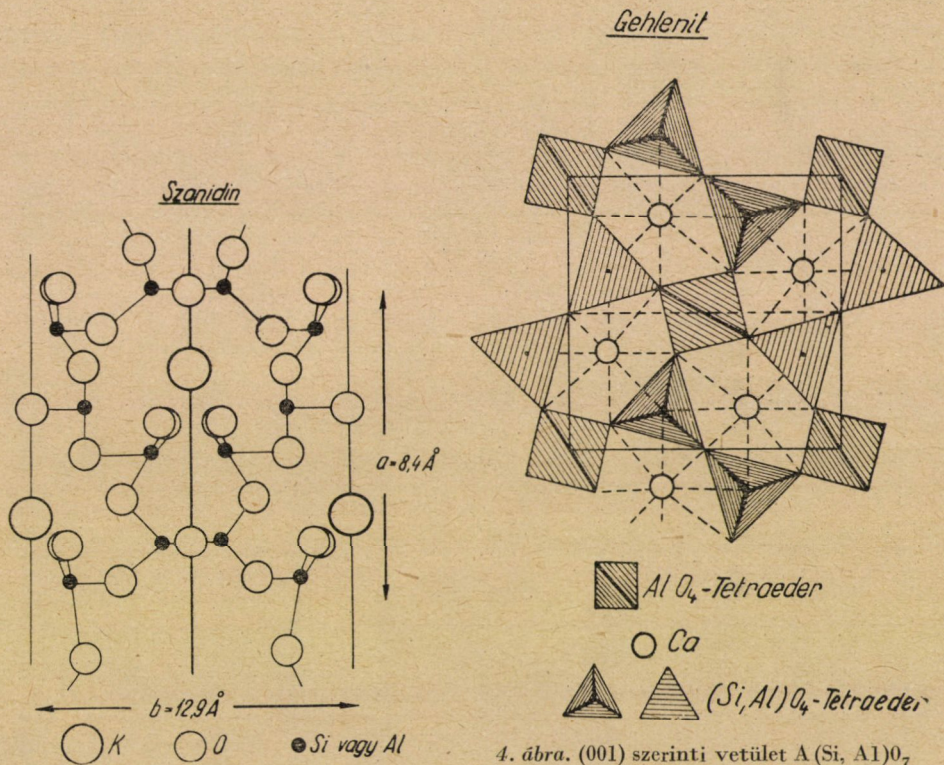


Ezek elektrosztatikai vonzás tekintetében nem egyenlő értékűek. Ugyanis az első esetben minden  $\text{Si}^{4+}$  atomnak  $+4e$  elemi töltése van, egyúttal 4 szomszédos O atommal érintkezik. Mindegyik O-atomra tehát, amely  $-2e$  töltésű, a vele érintkező Si-atomok felől egy-egy  $+1e$ , összesen  $+2e$  töltés hat, ami éppen semlegesíti. A Si—O—Al kötésnél ellenben az O-atomok  $\frac{1}{4}$ , az Al—O—Al kötésnél  $\frac{1}{2}$  elektrosztatikus vonzása lekötetlen marad. A földpát elemi cellájában 9 Si—O—Si, 6 Si—O—Al, 1 Al—O—Al kötés van, tehát minden elemi cellában  $6 \cdot \frac{1}{4} + 1 \cdot \frac{1}{2} = 2$  elektrovalencia marad fenn, amit a tetraeder-vázba



telepedett 2 K-atom + 2e töltése semlegesít. Az egyik K-atom  $4 \cdot \frac{1}{4} = 1$ , a másik K-atom  $2 \cdot \frac{1}{4} + 1 \cdot \frac{1}{2} = 1$  elektrovalenciát köt le.

A hőfok emelésével a kálium reakcióképessége lényegesen megnő s az egyidejűleg alkalmazott erélyes kémiai beavatkozással ( $\text{CaO} + \text{CaCl}_2$ ) a szanidin szerkezetből kiszabadítható kálium és  $\text{CaCl}_2$  egymással kölcsönhatásba lép, KCl és Ca-szilikát képződik. Az erélyes kémiai beavatkozás a szerkezet összeesését, a háromdimenziós vázszerkezet kétdimenziós rétegrácsá váló alakulását eredményezi.



3. ábra. (001) szerinti vetület. A nagy ionrádiusú K a  $(\text{Si, Al})\text{O}_4$  tetraederváz üregeibe illeszkedik.

4. ábra. (001) szerinti vetület A  $(\text{Si, Al})\text{O}_7$  kettős csoportokból és  $(\text{AlO}_4)$  tetraederekből felépülő szerkezetbe illeszkednek be 8-as koordinációban másodrendű kationként a Ca-ionok.

A szanidin szerkezet 4-es gyűrűi meghasadnak, a  $\text{Si-O-Al}$  és  $\text{Al-O-Al}$  kapcsolódásokból a rácsba lépő Ca-val gehlenit, a  $\text{Si-O-Si}$  kötésekből Ca-val dikalciumszilikát képződik.

Kísérleti eljárásunk a természetben lejátszódó földpátalakulásokhoz (kaolinosodás, szericitedés, montmorillonitosodás stb.) hasonló folyamat. A kálium kiszabadítását a földpátszerkezet kétdimenziós rétegrácsá váló alakításával érjük el.

A gehlenit szerkezeti felépítése és a (001) szerinti jó hasadása alapján újabban a rétegszilikátok közé sorolják, de rámutatnak a csoport-szilikátokkal való

szoros összefüggésére is. Ezt szerkezeti képlete is elárulja,  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 = \text{Ca}_2(\text{Al}(\text{Al}, \text{SiO}_7))$ . A gehlenit olyan hálószerkezetnek fogható fel, amelyben  $(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_7$  kettős csoportok  $(\text{AlO}_4)$  tetraederekkel váltakoznak. Ezek összekapcsolódásából keletkező komplexumokba illeszkednek 8-as koordinációban a (001)-el párhuzamos elrendeződésben a Ca-atomok (4. sz. ábra), [14, 19].

A gehlenit elemi cellájában szintén két molekula,  $\text{Ca}_2(\text{Al})\text{Al}, \text{SiO}_7$  van. A cellában csak kétféle kötéstípust találunk:  $\text{Si}-\text{O}-\text{Al}$ ,  $\text{Al}-\text{O}-\text{Al}$ . Első esetben, mint a földpátrácsban is láttuk, az O-atomok  $\frac{1}{4}$ , az  $\text{Al}-\text{O}-\text{Al}$  kötésnél az O-atomok  $\frac{1}{2}$  elektrosztatikus vonzása marad telítetlen. Mivel pedig a gehlenit rácsban 16  $\text{Si}-\text{O}-\text{Al}$  és 8  $\text{Al}-\text{O}-\text{Al}$  kötés van, minden elemi cellában  $16 \cdot \frac{1}{4} + 8 \cdot \frac{1}{2} = 8$  elektrovalencia marad fenn, amit  $4\text{Ca} + 8e$  töltése semlegesít.

A  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$  kötésekből hasonló rétegszilikát  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  képződik. Ez a vegyület a cementek fontos elegyrésze. Rácsszerkezete még nem teljesen ismert. Annyi bizonyos, hogy különböző modifikációinak eltérő viselkedése pl. különböző oldódása szoros összefüggésben van a Ca hőmérséklet függvényében változó koordinációs számával. A legalacsonyabb hőfokú  $\gamma$  dikalciumszilikát rácsában a Ca koordinációs száma 6, a  $\beta$  dikalciumszilikátban valószínűleg 8, (egyes szerzők szerint 4) az  $\alpha$  dikalciumszilikátban 10. A koordinációs szám alapján valószínű, hogy feltárási maradékban uralkodó  $\beta$  dikalciumszilikát szerepe a reakcióban szerkezetileg a gehlenitéhez hasonló lehet.

### 5. Gyakorlati következtetések

Felállított egyenletünk értelmében a kálitrachit feltárását *CaCO<sub>3</sub>-tal és CaCl<sub>2</sub>-dal végezzük*. Előbbi hazai viszonylatban *korlátlanul áll rendelkezésre*, utóbbiként egy esetleg *felállítandó ammóniaszódagyár káros CaCl<sub>2</sub> véglúgjait gondoljuk felhasználni*. Így a szódagyárat megszabadítjuk egyik legnagyobb gondjától, az állati és növényi életre egyaránt káros hulladék-lúgtól.

KCl mellett keletkező feltárási maradék a hidraulikus modulus kellő beállításával *cement alapanyag lehet*. Munkaközösségünk vizsgálata szerint benne alkáli csak nyomokban marad vissza, így minősége előreláthatóan megfelelő lesz. A cement biztosítja *eljárásunk gazdaságosságát* s a kálisó termelési költségeit minimálissá teszi.

Laboratóriumi kísérleteink alapján egy kísérleti üzem tervezése megindulhat. Amennyiben a félüzemi kísérletek a laboratóriumiakhoz hasonló sikerrel zárulnak, gondolni lehet az eredményes nagyipari megvalósításra is. Ez esetben joggal hisszük, hogy munkánkkal a hazai kálisóellátást több évszázadra biztosítottuk.

## IRODALOM

1. *Alexandrov V. G.* : A talaj fel nem vehető káliumának átalakulása felvehetővé baktériumok hatása alatt. (Mezőg. Dok. Közp. 2549. sz.)
2. *Cushman és Gogeshall* : 987 436/1911 és 987 554/1911. sz. USA szabadalmak. (Ismeretve Chem. Eng. 1913. évf. 224. és Metallurg Chem. Eng. 15. évf. 99. 1915.)
3. *Eitel W.* : Physikalische Chemie der Silikate. 2. Aufl. 33., 42., 404—406. Leipzig, 1941.
4. *Greig J. W.* : Amer. Journ. of Sci. (15.) 13, 35—41. (1927).
5. *Györki J.* : Néhány alkálitartalmú kőzetünk technológiai szempontból. (Földt. Közl. LXIII. 189—192. 1933.)
6. *Jander W.—Petri J.* : Die Bildung von Anorthit und Gehlenit durch Reaktion im festen Zustande. Z. Elektrochem. 44, (1938), 747—754.
7. *Jesser L.* : Chemische-technische Verwertung des Kalifeldpats. (Doelter Handb. d. Mineralchemie. II. 2. 567—579. (1917).)
8. *Jevstropjev K. Sz.—Toropov N. A.* : A szilícium kémiája és a szilikátok fizikai kénúája. 44—45. Budapest, 1951.
9. *Kato T.* : The last stage of magmatic differentiation as represented by tertiary gold-silver veins. II. Internat. Geol. Congr. C. R. XV. Session, South Africa 1929. 9—27.
10. *Kühl H.* : Zement-Chemie I. 194—199. II. 58—64. Berlin (1951).
11. *Liffa A.* : Az Eperjes-Tokaji hegység geológiai felvételének eddigi eredményei és a felvétel ezidőszerinti helyzete. (Beszámoló a Földt. Int. vitáuléseinek munkálatairól. Füg. a Földt. Int. 1943. Évi Jelentéséhez.)
12. *Messerschmidt A.* : Die Nutzbarmachung der kalihaltigen Gesteine (Actes de la IV. Conférence Internationale de Pédologie, Roma, 12—13. Mai. 1924. Vol. II. 697—703. Roma, 1926.)
13. *Neumann B. és Draibach F.* : Die Aufschliessung von Feldpat zum Zwecke der technischen Kaligewinnung. (Zeitschr. f. angewandte Chemie, 29. évf. I. rész, 313—319. 326—331. 1916.)
14. *Náray-Szabó I.* : Kristálykémia, 101. Budapest, 1944.
15. *Pálffy M.* : Magyarország arany- és ezüstbányáinak geológiai viszonyai és termelési adatai. M. Áll. Földt. Int. gyakorlati füzetek. Bpest, 1929.
16. *Rankin G. E. und Shepherd E. S.* : Zeitschr. f. anorg. Chemie 71 (1911), 19—64
17. *Rankin G. E.* : Zeitschr. f. anorg. Chemie, 92, (1911), 213—296.
18. *Schiebold E.* : Zeitschr. f. Krist. 66 (1928) 488—493.
19. *Strukturbericht*, II. (1928—1932), 148. Leipzig, 1937.
20. *Strunz H.* : Mineralogische Tabellen, 62. 225. Leipzig, 1949.
21. *Székyiné Fux V.—Herrmann M.* : Telkibánya—Alsókékéd környékének petrogenézise. Földt. Közl. LXXXI. 7—9. 250—263. Bpest, 1951.
22. *Tammann G.* : Über chemische Reaktionen in Gemengen fester Stoffe bei erhöhter Temperatur. Zeitschr. f. angew. Chemie. 39 (1926) 869—875.
23. *Tomula E. S.* : Über den Abbau des Kalifeldpats zur Gewinnung löslicher Kalisalze. I. Soumalaisen Tiedekatemia Toimintuksia (Annales Academiae Fennicae Ser. A. Tom. XLIX. No 5. 1—24. Helsinki, 1938.
24. *Tomula E. S.* : Über den Abbau des Kalifeldpats zur Gewinnung löslicher Kaliverbindungen. II. (Annales Academiae Fennicae Ser. A. Tom. LIX. No 12. 1—23. Helsinki, 1943.)

## Összefoglalás

A hazai földtani kutatás új eredményeként a telkibányai Kánya-hegy kőzetéről felismertük, hogy káliumban rendkívül gazdag *kálitrachit*. Ez azonban egymagában csak holt értéket jelent.

Munkaközösségünknek sikerült laboratóriumi méretekben a *K-nak földpátból való kvantitatív kinyerés* s ezzel a káliföldpát feltárásának több mint félszázados problémáját megoldani.

A kvantitatív kinyerés mellett tisztáztuk a folyamat *kémiai mechanizmusát és rácsszerkezeti lefolyását*.

A laboratóriumi kísérletek és elméleti eredmények a nagyüzemi megvalósításra is lehetőséget adnak, s ezzel a hazai kálisó ellátását biztosítják.



Kálitrachit minták  $K_2O$  és  $Na_2O$ -tartalma

(Telkibánya — Alsókéked)

## a) Minták a Kányahegy felszínéről

Sorsz.	Lelelőhely	$K_2O$ %	$Na_2O$ %
1.	Kányahegy tetején (622 m) lévő gúla mellől .....	9,31	0,35
2.	Kányahegyi gúlától É-ra 86 m a gerincen .....	8,77	0,70
3.	Kányahegyi gúlától D-re 80 m a gerincen .....	11,31	1,21
4.	Kányahegy Ny-i lejtőjén a Jószerencse telér kibúvásánál ....	11,78	0,54
5.	Kányahegy Ny-i lejtőjén a Cserkész-ösvényen 50 m-re a gúlához felvezető erdőirtás D-i szelétől .....	8,88	1,59
6.	Kányahegy Ny-i lejtőjén a Cserkész-ösvényen a Mária-táró tengelyétől 80 m-re .....	8,38	0,72
7.	Kányahegy Ny-i lejtőjén a Cserkész-ösvény horpájától 13 m-re .....	11,03	1,04
8.	Kányahegy gerincén Jupiter-horpasorban, a gúlától D-re 110 m-re .....	10,63	1,47
9.	Kányahegy gerincén Jupiter-horpasor, 180 m-re a gúlától ....	12,17	0,82
10.	Kányahegy gerincén, Kányahegy DK-i oldalán. 570 m Adria felett .....	9,09	1,56
11.	Kányahegy DK-i lejtőjén, 565 m Adria felett .....	10,27	0,94
12.	Kányahegy DK-i lejtőjén, a Jupiter-táró bejáratánál .....	10,89	0,78
13.	Kányahegy DK-i gerincén, a 157. sz. háromszög-kőtől 210 m-re ..	10,30	0,55
14.	Jószerencse-telér horpásorából, Mária-táró tengelyétől D-re, kb. 80 m-re .....	11,11	0,22
15.	Jószerencse-telér horpásorából, a Mária-táró tengelyétől D-re, 120 m-re .....	11,08	1,34
16.	Jószerencse-telér horpásorából, Mária-táró tengelyétől D-re, 280 m-re .....	11,86	0,70
17.	Jószerencse-telér horpásorából, Mária-táró tengelyétől D-re, 340 m-re .....	12,32	0,65
18.	Jószerencse-telér horpásorából, Mária-táró tengelyétől D-re, 610 m-re .....	10,09	1,41
19.	Jószerencse-telér horpásorából, Mária-táró tengelyétől D-re, 790 m-re .....	10,15	0,58
20.	Jószerencse-telér horpásorából, Mária-táró tengelyétől D-re, 980 m-re, nem messze a riolit határtól .....	9,74	1,68
21.	Lobkowitz-telér horpásorából, a Mária-táró tengelyétől É-ra, kb. 450 m-re .....	10,13	0,54
22.	Lobkowitz-telér horpásorából, a Kányahegy Ny-i oldaláról, a Mária-táró tengelyétől É-ra, kb. 400 m-re .....	11,57	0,60
23.	Lobkowitz-telér horpásorából, a Kányahegy Ny-i oldaláról, a Mária-tárhoz vezető erdei út mellől, a riolit-határról .....	8,81	0,82
24.	Lobkowitz-telér horpásorából, a Mária-táró tengelyétől É-ra, 150 m-re .....	12,04	0,38
25.	Lobkowitz-telér horpásorából, a Mária-táró mérnöki sokszög-pontjától D-re, 94 m-re .....	11,35	0,62
26.	A Mária-táró melletti 15. sz. karótól D-re 318 m-re a riolit-határról ..	9,75	1,52
27.	A Lobkowitz-telér horpásorából, a 15. sz. mérnöki sokszög-karótól D-re 748 m-re, a riolit-határról .....	11,02	0,62
28.	Zsófia-telér horpásorából, a Kányahegy ÉK-i oldalán lévő második trachit tömegből (riolit-határ közeléből) .....	10,58	0,36
29.	Zsófia-telér horpásorából, a Kányahegy ÉK-i oldaláról .....	10,83	0,38
30.	Zsófia-telér horpásorából, a Kányahegy ÉK-i lejtőjéről .....	13,47	0,42
31.	Az akalkuti borda végződésétől Ny-ra eső völgyből, az Akalkúttól É-ra 25 m-re .....	8,35	0,81
32.	Az akalkúti bordán lévő horpásoron, a fűzérkomlói út kereszteződése és a Hármashatár között .....	8,11	0,39
33.	Az Akalkút fölött lévő borda 177. horpájától .....	8,82	0,60
34.	Kányahegy ÉNy-i oldal, 308. kutatóárokából .....	9,31	0,82

Sorsz.	Leleghely	K <sub>2</sub> O %	Na <sub>2</sub> O %
--------	-----------	--------------------	---------------------

## b) Minták a Nagy-Hasdát tetőről

35.	Nagy-Hasdát tető .....	11,69	0,81
-----	------------------------	-------	------

## c) Minták a Kányahegy Ny-i lejtőjén fekvő Mária-tárból

36.	Mária-táró, jobboldal 5. sz. sokszögpont .....	10,87	0,95
37.	Mária-táró, baloldal, 9. sz. sokszögpont .....	9,87	0,84
38.	Mária-táró, jobboldal, 12. sz. sokszögpont .....	8,60	1,27
39.	Mária-táró, baloldal, 13. sz. sokszögpont .....	8,71	1,48
40.	Mária-táró, jobboldal, 16. sz. sokszögpont .....	8,50	1,12
41.	Mária-táró, Jószerencse-telér termelő vágatából, 19. sz. sokszög- ponttól 11 m-re .....	9,87	1,15
42.	Mária-táró, Jupiter-vágat É-i hajtásából, a vájatvég előtt 28 m-re (riolit-határ közeléből) .....	6,31	1,33
43.	Mária-táró, Jupiter-vágat É-i hajtásából, vájatvégről (riolit-határ közeléből) .....	6,43	0,74
44.	Mária-táró, jobboldal 7. sz. sokszögpont .....	8,19	1,36
45.	Mária-táró, Jószerencse-telér és a Jupiter-telér összekötővágatából, a 19. sz. sokszögponttól 29 m-re .....	9,12	0,80
46.	Mária-táró, a Jupiter-telér és Jószerencse-telér összekötő vága- tából .....	9,30	0,41
47.	Mária-táró, Jupiter-telér É-i vágata, a Jószerencse-telérhez vezető összekötő vágattól 38 m-re .....	8,58	0,42
48.	Mária-táró, Jupiter D-i vágat 14 m-re a Jószerencse-telér felé vezető összekötő vágattól .....	8,09	0,44
49.	Mária-táró, Jupiter D-i vágat, a Jószerencse-telér felé vezető összekötő vágattól 53 m-re .....	8,39	0,65
50.	Mária-táró, Jupiter D-i vágat, 63 m-re a fenti összekötő vágattól .....	8,59	0,60
51.	Mária-táró, Jupiter D-i vágat, 103 m-re a fenti összekötő vágattól .....	10,36	0,95

## d) Minták a Kányahegy ÉK-i lejtőjén fekvő Zsófia-tárból

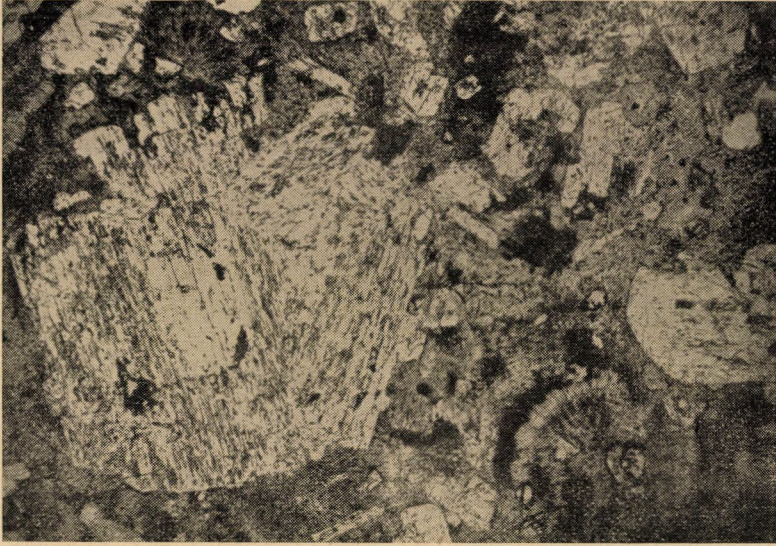
52.	Zsófia-táró, 46,5 m-re a bejáratától .....	8,59	0,65
53.	Zsófia-táró, 47,2 m-re a bejáratától .....	9,07	0,56
54.	Zsófia-táró, a táró és telér kereszteződéséből .....	8,83	1,24
55.	Zsófia-telér, a 4-es sokszögponttól D-re .....	14,01	0,29
56.	Zsófia-telér, a 4-es sokszögponttól D-re 395 m-re a tárótöréstől ..	14,00	0,85

## e) Erősen elváltozott minták a telérek mellől és a közet-határról

57.	Kányahegy É-i lejtő, 276. horpától, riolit-határról .....	4,62	1,70
58.	Mária-táró, jobboldal, 17. sokszögpont .....	3,77	0,62
59.	Mária-táró, Jószerencse-telér, 18. sz. sokszögpont .....	3,57	0,70
60.	Mária-táró, jobboldal, 16. sz. sokszögponttól 13,4 m-re .....	6,89	0,89
61.	Kányahegy É-i oldal, 249. sz. horpa, riolit-határról .....	5,76	0,49
62.	Mária-táró, a Jószerencse-telér teljesen elkaolinosodott mellék- közete .....	2,83	0,44
63.	Lobkowitz-telér horpasorából a 15. sz. sokszögponttól D-re, 263 m-re .....	6,59	2,15

Az elemzéseket: Emszt Mihály, Földvári Aladárné, Guzy Károlyné, Nemes Lajosné, Serényi Erzsébet, Simó Béla, Tolnay Vera készítették.





*1. sz. mikroszkópos felvétel*

Kálitrachit a telkibányai Kányahegy tetejéről. A sferolitos alanyagban jól láthatók a szanidin szericitesedett, gyakran több mm-es kristályai.  $K_2O$ -tartalom 10.6%. 15 x.



*2. sz. mikroszkópos felvétel*

Kálitrachit a Zsófia-táróból. A Zsófia-telér jellegzetes mellékközete trachitos szövettel és nagy szanidin beágyazásokkal.  $K_2O$ -tartalom 14.01%. 15 x. + Nik.



# A TITÁN ÉS BÓR HATÁSA AZ ALUMÍNIUM VILLAMOS VEZETŐKÉPESSÉGÉRE, SZEMCSEMÉRETÉRE ÉS SZILÁRDSÁGÁRA

DOMONY ANDRÁS, a műszaki tudományok kandidátusa és VASSEL K. RÓBERT

[Beérkezett 1952. nov. 6-án.]

A világirodalomban az utóbbi években több tanulmány jelent meg, melyek a Ti és B ötvöztetésének az alumínium, valamint ötvözeteinek tulajdonságaira gyakorolt hatásával foglalkoztak. Ezek eredményei összefoglalva a következők:

a) Mindkét elem külön-külön és együtt is igen jó szemcsefinomító hatással van az önthető és alakítható alumíniumra és ötvözeteire [1, 2, 4].

b) A szemcsefinomításnak megfelelően szilárdságnövelés is észlelhető [4].

c) A titán már 0,01% nagyságrendben is igen erősen rontja az alumínium vezetőképességét [5, 6, 7, 8].

d) A titánnal szennyezett alumínium vezetőképessége javítható bóros kezeléssel [7].

Az adatok rendszerint csak egyes kiragadott ötvöztartalomra vonatkoznak és így szükségesnek láttuk a kérdés rendszeres és a gyakorlat megszafta határokon belüli vizsgálatát. Kísérleteinknél igen nagy tisztaságú (99,99+%) alumíniumból indultunk ki, azonban a gyakorlati helyzetnek megfelelően kohóalumíniumra is kiterjesztettük méréseinket.

## A) Az ötvözetek és próbatestek készítése

Kiindulási anyag részben négykilences alumínium (jele O. O. 201), részben pedig szabványos kohóalumínium (jele O. O. 251) volt.

Csak titánötvöztetésű anyagot 16-ot készítettünk, jelük T. O. 201—215 és T. O. 251. A titánötvöztetés a nagyobb tisztaság elérése érdekében kivétel nélkül káliumtitanofluorid por segítségével történt.

Csak bórötvöztetésű anyagot 21-et készítettünk, jelük B. O. 201—220 és B. O. 250. A bórral való ötvöztetés káliumborofluorid segítségével történt.

Titán és bór együttes ötvöztetésével 21 anyagot készítettünk, jelük T. B. 201—221. Az ötvöztetésnél előbb titán- vagy bórötvöztetet készítettünk, melyeket utána változó mennyiségű bór- vagy káliumtitanofluoriddal kezeltünk.

Az előbbieken felsorolt anyagok vegyelemzése (szinképelemzése) a következőt mutatta Fe-, Si-, Ti- és B-tartalomra (I. táblázat). Elemzést végeztünk ezenkívül Cu-ra és V-ra, azonban ezen elemek bármelyik próbatestben csak

## I. TÁBLÁZAT

*A vizsgált próbatetek vegyi összetétele*

Ötvözet jele	Fe%	Si%	Ti%	B%	Ti   B%	Fe+Si+Ti+B%
O. O. 201.....	0,003	0,005	0,001	—	0,001	0,009
251.....	0,260	0,230	0,012	—	0,012	0,502
T. O. 201.....	0,004	0,010	0,580	—	0,580	0,594
202.....	0,008	0,011	0,600	—	0,600	0,619
203.....	0,013	0,018	0,030	—	0,030	0,061
204.....	0,015	0,023	0,030	—	0,030	0,068
205.....	0,009	0,018	0,280	—	0,280	0,307
206.....	0,009	0,020	0,210	—	0,210	0,239
207.....	0,009	0,021	0,730	—	0,730	0,760
208.....	0,010	0,027	0,580	—	0,580	0,618
209.....	0,008	0,010	0,140	—	0,140	0,158
210.....	0,010	0,009	0,015	—	0,015	0,034
211.....	0,007	0,009	0,019	—	0,019	0,035
212.....	0,360	0,230	0,052	—	0,052	0,642
213.....	0,500	0,250	0,085	—	0,085	0,835
214.....	0,510	0,280	0,100	—	0,100	0,890
215.....	0,590	0,260	0,140	—	0,140	0,990
251.....	0,650	0,200	0,150	—	0,150	1,000
B. O. 201.....	0,020	0,078	—	0,390	0,390	0,488
202.....	0,290	0,095	—	0,340	0,340	0,725
203.....	0,230	0,125	—	0,280	0,280	0,635
204.....	0,050	0,070	—	0,220	0,220	0,340
205.....	0,015	0,030	—	0,160	0,160	0,205
206.....	0,012	0,017	—	0,150	0,150	0,179
207.....	0,012	0,010	—	0,058	0,058	0,080
208.....	0,012	0,024	—	0,035	0,035	0,071
209.....	0,010	0,012	—	0,023	0,023	0,045
210.....	0,009	0,010	—	0,012	0,012	0,031
211.....	0,023	0,110	—	0,260	0,260	0,393
212.....	0,015	0,080	—	0,890	0,890	0,985
213.....	0,010	0,060	—	0,220	0,220	0,290
214.....	0,012	0,050	—	0,200	0,200	0,262
215.....	0,210	0,340	—	0,180	0,180	0,730
216.....	0,230	0,300	—	0,170	0,170	0,700



Ötvözet jele	Fe%	Si%	Ti%	B%	Ti+B%	Fe+Si+Ti+B%
B. O. 217.....	0,190	0,280	—	0,180	0,180	0,650
218.....	0,200	0,260	—	0,160	0,160	0,620
219.....	0,200	0,260	—	0,070	0,070	0,530
220.....	0,180	0,260	—	0,030	0,030	0,470
250.....	0,005	0,098	—	0,082	0,082	0,185
T. B. 201.....	0,010	0,056	0,005	0,170	0,175	0,241
202.....	0,017	0,045	0,006	0,080	0,086	0,148
203.....	0,020	0,054	0,020	0,077	0,097	0,171
204.....	0,010	0,040	0,010	0,057	0,067	0,117
205.....	0,009	0,030	0,029	0,055	0,084	0,123
206.....	0,016	0,030	0,145	0,030	0,175	0,221
207.....	0,014	0,028	0,165	0,020	0,185	0,227
208.....	0,009	0,040	0,004	0,074	0,078	0,127
209.....	0,008	0,040	0,065	0,038	0,103	0,151
210.....	0,007	0,100	0,013	0,040	0,053	0,160
211.....	0,008	0,100	0,100	0,080	0,180	0,288
212.....	0,006	0,090	0,038	0,070	0,108	0,204
213.....	0,007	0,100	0,027	0,100	0,127	0,234
214.....	0,010	0,100	0,035	0,094	0,129	0,239
215.....	0,006	0,110	0,005	0,140	0,145	0,266
216.....	0,700	0,330	0,011	0,200	0,211	1,240
217.....	0,670	0,280	0,053	0,050	0,103	1,050
218.....	0,720	0,290	0,070	0,047	0,117	1,127
219.....	0,720	0,270	0,078	0,038	0,116	1,106
220.....	0,750	0,260	0,160	0,050	0,210	1,220
221.....	0,700	0,270	0,135	0,035	0,170	1,140

nyomokban található. A táblázatban külön oszlopban tüntettük fel a két vizsgált ötvözőelem együttes tartalmát, valamint a négy megadott elem össz-tartalmát. Előbbire azért van szükség, hogy mérleget vonhassunk az ötvözés hatékonyságáról mindkét alkotó jelenléte esetére is. Utóbbira pedig azért lesz szükség, mert vizsgálataink szerint több ötvözőelem jelenléte esetén a tulajdonságok — különösen a szilárdság — főleg az össz-»ötvözőelem«-tartalomtól függnnek.

### B) Villamos vezetőképességi mérések

A villamos vezetőképességet 20—30 C° hőmérsékleten mértük, a méréseket azonban mindenkor 20 C°-ra vonatkoztattuk,  $4 \cdot 10^{-3}$ /fok értékű hőfoktényező-

vel számolva. A hőfoktényező esetleges eltérő voltából eredő hiba véleményünk szerint kisebb, mint a villamos mérésekből és vegyelemzésből származó együttes hiba. A teljesség kedvéért azonban további kísérleteket szándékozunk folytatni a különböző Ti-, B-ötvözésű anyagok hőfoktényezőjének megállapítására. A méréseket számszerűleg a *II. táblázatban* foglaltuk össze. A mérések eredményeit

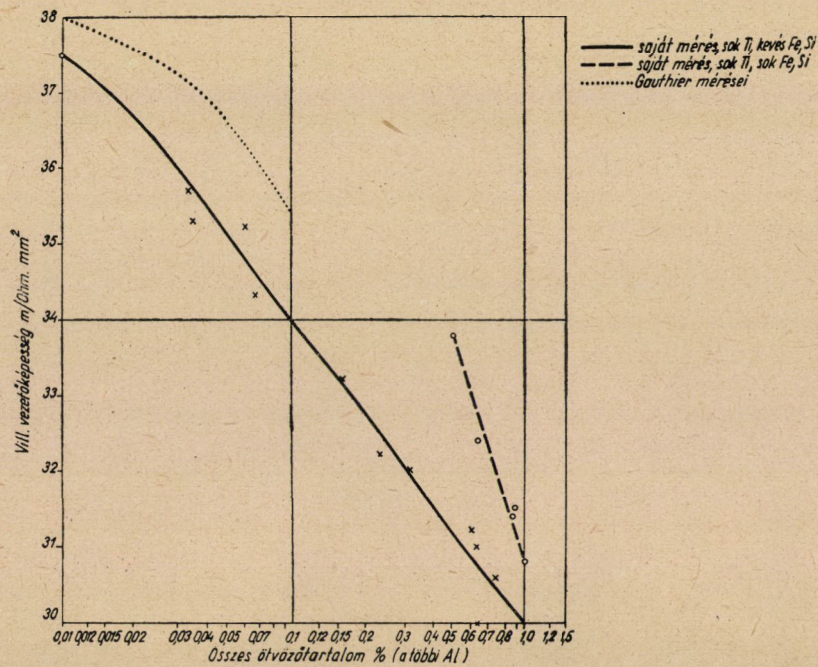
## II. TÁBLÁZAT

### *A vizsgált próbatestek villamos vezetőképessége*

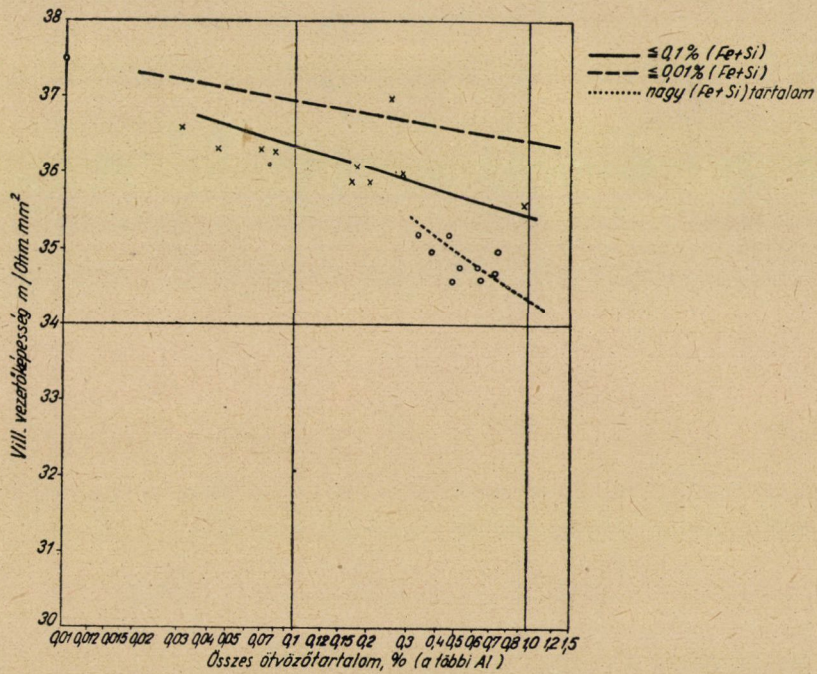
Ötvözet jele	Vill. vezető- képesség m Ohm mm <sup>2</sup>	Ötvözet jele	Vill. vezető- képesség m Ohm mm <sup>2</sup>	Ötvözet jele	Vill. vezető- képesség m Ohm mm <sup>2</sup>
O. O. 201.....	37,5	B. O. 201.....	34,6	T. B. 201.....	36,9
251.....	33,8	202.....	34,7	202.....	36,0
		203.....	34,5	203.....	35,8
T. O. 201.....	31,2	204.....	35,2	204.....	35,5
202.....	29,8	205.....	35,9	205.....	35,8
203.....	35,2	206.....	35,9	206.....	34,7
204.....	34,3	207.....	36,3	207.....	33,0
205.....	32,0	208.....	36,3	208.....	35,6
206.....	32,2	209.....	36,3	209.....	35,4
207.....	30,6	210.....	36,6	210.....	36,0
208.....	31,0	211.....	35,0	211.....	35,0
209.....	33,2	212.....	35,6	212.....	36,0
210.....	35,7	213.....	36,0	213.....	35,5
211.....	35,3	214.....	37,0	214.....	36,4
212.....	32,4	215.....	35,0	215.....	36,0
213.....	31,4	216.....	34,6	216.....	34,5
214.....	31,5	217.....	34,6	217.....	34,6
215.....	30,7	218.....	34,8	218.....	34,3
251.....	30,8	219.....	34,8	219.....	32,7
		220.....	35,2	220.....	31,2
		250.....	36,1	221.....	31,1

továbbá fél-logaritmusos diagrammokban ábráztuk, mert ez tapasztalatunk szerint jobban megfelel a valóságnak: 0,01% alatti ötvöztartalom befolyása még nem érzékelhető, 0,1% felett pedig már rendszerint több ötvöző-vagy szennyezőelem van jelen és a hatás összegeződik, a későbbiekben kifejtett törvényszerűségek szerint.

Az *I. ábra* tünteti fel a villamos vezetőképességet a csupán Ti-nal ötvözött próbatesteknél, amelyeknél a Ti-ötvözés a döntő, tehát a többi elem jelenléte (Fe, Si stb.) elenyésző. A mérések tehát a T. O. 201—211 próbatestekre vonatkoznak. Ugyanitt jelöltük be a nagyobb Fe + Si-tartalmú, több-kevesebb Ti-t tartalmazó anyagok vezetőképességét is, az O. O. 251 és T. O. 212—215 próbatestek alapján. Összehasonlítás kedvéért a diagrammban feltüntettük a világirodalomban több helyen hivatkozott adatokat, melyek eredetileg a francia Gauthiertől [5] származnak. Itt említjük meg, hogy Gauthier kiindulási anyaga 99,997% tisztaságú alumínium volt, míg a miénk 99,991% tisztaságú (O. O. 201 próbatest). Ez az összetételbeli különbség magyarázza a klasszikus és saját



1. ábra

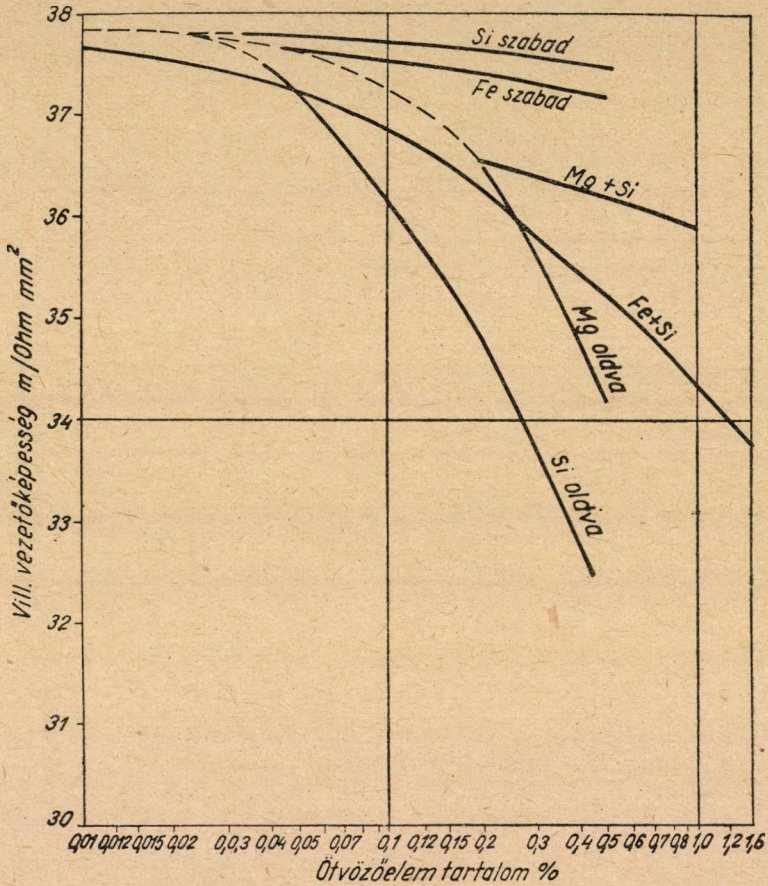


2. ábra



méréseink közötti különbséget. *Zeerleder* mérései [9] ugyanis bebizonyították, hogy a tiszta alumínium fajlagos vezetőképességét  $1-2 \text{ m/Ohm} \cdot \text{mm}^2$  értékkel rontja az első néhány ezredszázalékos mennyiségű szennyeződés.

A 2. ábrán feltüntettük a villamos vezetőképességet a csak B-ral ötvözött anyagoknál. Itt több esetben nagyobb mennyiségű Fe+Si-szennyezés is jelen van. Ezért a görbe csak minőségileg helyes. Az ábrán tüntettük fel azt a görbét is,



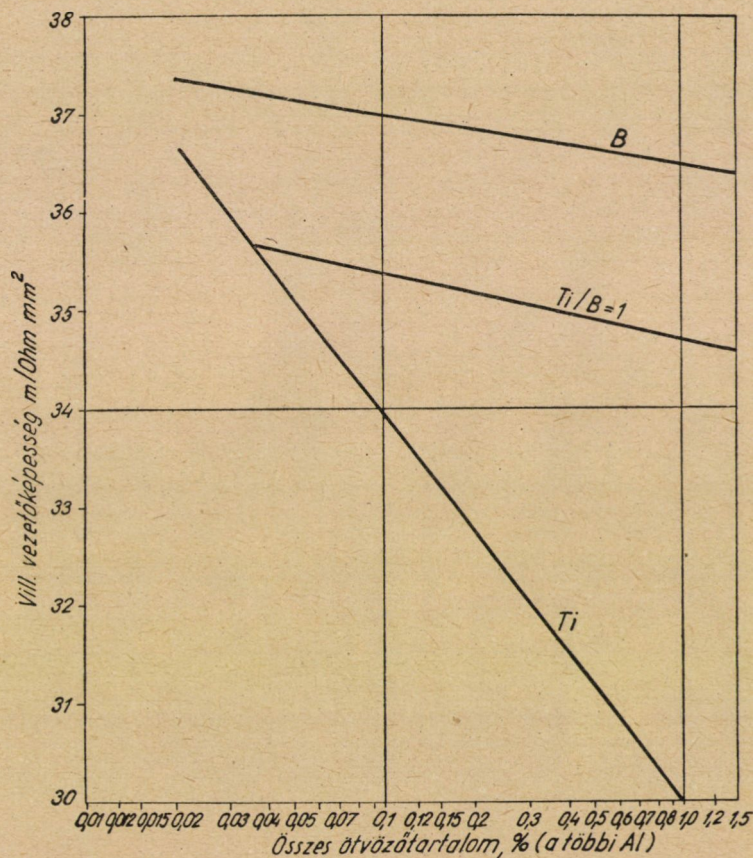
3. ábra

amely véleményünk szerint csupán B-ötvözés esetére érvényes. A mérési pontok a B. O. 201—220 és 250 anyagokra vonatkoznak.

A különböző kézi- és szakkönyvekben található adatok, valamint *Field* [10] és *Callendar* [11] mérései alapján feltüntettük a 3. ábrán a szabványos, csak Fe + Si-ötvözésű alumínium vezetőképességét, valamint a két elem hatását külön-külön. A Si-nél a vezetőképesség erősen függ az előzetes hőkezeléstől: 500 C°-on történő izzítás és gyors hűtés, azaz »oldathavítel«-kor a vezetőképesség



erősen romlik. Fe-nél ez a jelenség nem észlelhető, Fe + Si esetén sem, a Fe mintegy »megkötik« a Si-t. Hasonló a helyzet az ábrában ugyancsak feltüntetett Mg esetében, mely ismert módon oldódik az alumíniumban, erősen rontja a vezetőképességet, míg Si-mal,  $Mg_2Si$  alakjában megkötve kevésbé rontja azt. Így tehát mondhatjuk, hogy a Si-ot Fe-vel, a Mg-t pedig Si-vel megkötve az igen erős vezetőképességrontó hatás kiküszöbölhető vagy csökkenthető. A Mg-



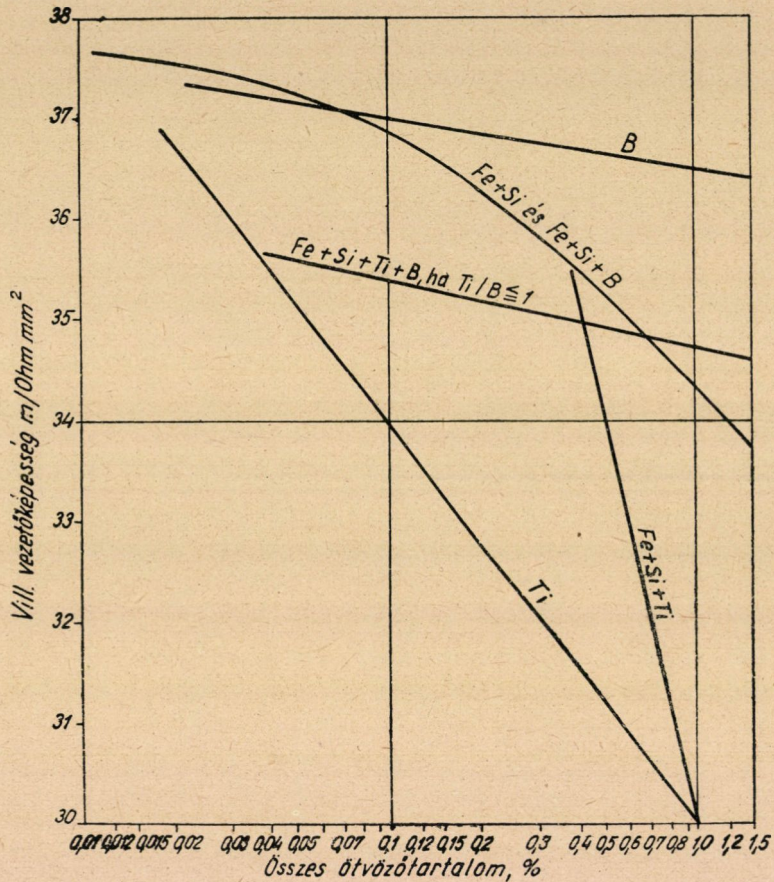
4. ábra

nak nagyobb az affinitása a Si-hoz, mint az Al-hoz, a Si-nak pedig az Mg-hoz, Fe-hoz, mint az Al-hoz.

Elvileg hasonló a helyzet a Ti és B ötvözésekor. A Ti- és B-ötvözésű próbatetek villamos vezetőképességét a 4. ábrán tüntettük fel, a T. B. 201—221 anyagokra vonatkoztatva. A diagrammon feltüntettük az előzőek alapján a Ti-ra és B-ra jellemző vonalakat és a Ti + B-ötvözés esetére jellemző vonalat, amely egyenlő súlyszázaléknyi Ti- és B-ötvözőre jellemző. Ha ehhez képest B-felesleget alkalmazunk, a vezetőképesség ennél jobb lesz, közeledik a »bórvonal-



hoz». A Ti + B-vonal kb. 0,03%-nál válik el a Ti-vonaltól, ami egyezne a szobahőmérsékleten is oldatban maradó Ti-mennyiségre ismert adatokkal. Nem ismeretes sajnos, hogy a Ti és B milyen vegyület alakjában ötvöződik az alumíniumban egyidejű jelenlétük esetén, azaz a bór miként oszlik el az ötvözetben. Az 1 : 1 súlyarány ugyanis  $TiB_4$ -nek felelne meg, az eddig ismert  $TiB_2$ , TiB,  $Ti_2B$ -vel



5. ábra

szemben. Valószínűleg  $TiB_2$  képződik, valamint  $AlB_2$ . A visszamaradó, B-ral le nem kötött Ti-felesleg továbbra is kifejti erős vezetőképességmentő hatását. Erre az erős hatásra az jellemző, hogy a normál Fe + Si-szennyezéshez képest (nagyságrendileg!) annival romlik a vezetőképesség, amennyi a Fe + Si- és a Ti-vonal megfelelő Ti-tartalomhoz tartozó ordinátáinak különbsége. Példa erre a T. O. 215 anyag vezetőképessége 0,14% Ti-tartalommal, amely egyező értékű a 0,58% Ti-tartalmú, T. O. 208 jelű anyagével.

Az előzők alapján az 5. ábrán tüntettük fel összegyűjtve nagy tisztaságú,

valamint nagyobb Fe + Si-tartalmú alumínium vezetőképességére vonatkozólag a Ti-, B- és Ti + B-ötvözésre jellemző vonalakat.

### C) Szemcsefinomítás

A próbatesteket, mint már említettük, mindig közel azonos hőmérsékleten öntöttük és a makroszkópi próbatesteket mindig a tuskónak ugyanazon részéből vágtuk ki, hogy a méréseket szemcsezámlálással közös alpra vonatkoztatva végezhesük. Az eredményeket a III. táblázat tartalmazza, feltüntetve a szemcseátmérőt, a szemcseeloszlás egyenletes vagy nem egyenletes voltát és a szemcsék alakját.

### III. TÁBLÁZAT

A vizsgált próbatestek szemcsemérete és szemcseeloszlása

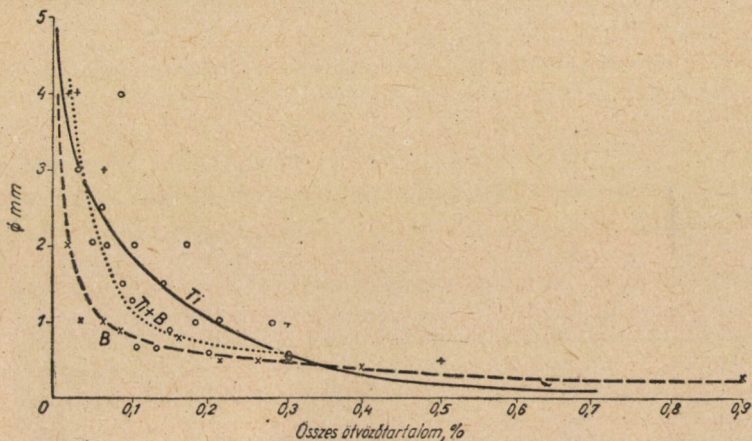
Ötvözet jele	Szemcseátmérő mm	Szemese alakja		Szemcseeloszlás
O. O. 201.....	5,0	hosszú	—	— egyenletes
251.....	0,45	—	gömbölyű	— „
T. O. 201.....	0,12	—	gömbölyű	— egyenletes
202.....	0,12	—	„	— „
203.....	3,0+1,0	hosszú	„	nem „
204.....	3,5	„	—	„ „
205.....	2,5+1,0	„	+ gömbölyű	„ „
206.....	2,8+1,0	„	„	„ „
207.....	0,1	—	„	— „
208.....	0,12	—	„	— „
209.....	3,0-1,5	hosszú	÷	nem „
210.....	4,1	„	—	„ „
211.....	3,5	„	—	„ „
212.....	0,2	—	gömbölyű	— „
213.....	0,18	—	„	— „
214.....	0,18	—	„	— „
215.....	0,18	—	„	— „
251.....	0,16	hosszú	—	— „
B. O. 201.....	0,5	—	gömbölyű	— egyenletes
202.....	0,35	—	„	— „
203.....	0,4	—	„	— „
204.....	0,5	—	„	— „
205.....	0,8	—	„	— „
206.....	0,8	hosszú	÷	nem „

Ötvözet jele	Szemeseátmérő mm	Szemese alakja		Szemeseeloszlás	
<b>B. O.</b> 207.....	1,0	—	gömbölyű	mm	egyenletes
208.....	1,0	—	”	”	”
209.....	2,0	—	”	”	”
210.....	4,0	hosszú	—	”	”
211.....	0,5	—	gömbölyű	—	”
212.....	0,3	—	”	—	”
213.....	0,5	hosszú	+ ”	nem	”
214.....	0,5	”	”	”	”
215.....	0,4	—	”	—	”
216.....	0,4	—	”	—	”
217.....	0,42	—	”	—	”
218.....	0,42	—	”	—	”
219.....	0,8	—	gömbölyű	—	egyenletes
220.....	2,0+1,0	hosszú	+ gömbölyű	nem	”
250.....	2,0+1,0	”	—	”	”
<b>T. B.</b> 201.....	1,0	—	gömbölyű	—	egyenletes
202.....	1,5	hosszú	—	nem	”
203.....	1,3	—	gömbölyű	”	”
204.....	2,5	hosszú	—	”	”
205.....	4,0	”	—	”	”
206.....	2,0+0,25	”	+ gömbölyű	”	”
207.....	2,0+0,2	”	”	”	”
208.....	1,5	”	—	”	”
209.....	2,0+0,4	”	—	”	”
210.....	2,0+0,2	”	+ gömbölyű	”	”
211.....	2,0+0,6	”	”	”	”
212.....	0,7	”	”	”	”
213.....	0,8	”	”	”	”
214.....	0,7	”	”	”	”
215.....	0,9	”	”	”	”
216.....	0,32	—	”	—	”
217.....	0,4	—	”	—	”
218.....	0,18	—	”	—	”
219.....	0,1	—	”	—	”
220.....	0,1	—	”	—	”
221.....	0,1	—	”	—	”

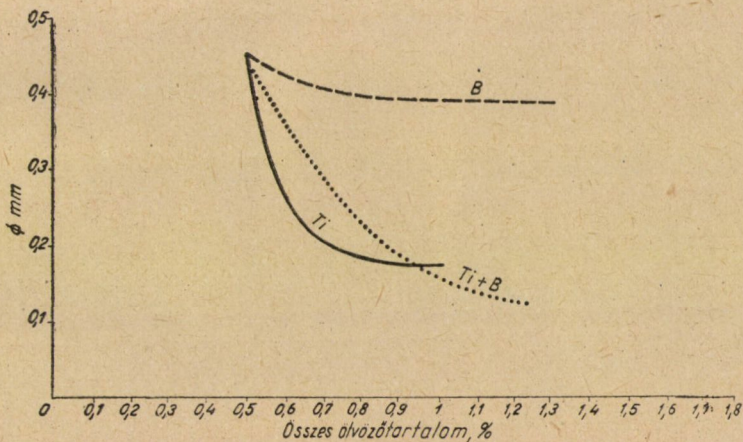
A 6. ábrán tüntettük fel a közepes »szemeseátmérőt«, az összetétel függvényében, legfeljebb 0,1% egyéb szennyezésű alumíniumra (tehát 99,98—



99,90% a kérdéses ötvözőelem figyelembevétele nélkül, vagy legfeljebb 0,02 — 0,10% Fe + Si-szennyezéssel). Az ábrán külön tüntették fel a csak Ti-, a csak B- és Ti + B-ötvözésű anyagokat. Mint látható, kb. 0,3%-ig ötvözve a B erősebb



6. ábra



7. ábra

hatású, mint a Ti, azon túl megfordítva áll a helyzet. A Ti + B-ötvözésű anyagoknál a görbe az előbbi kettő között halad.

A 7. ábrán tüntették fel az előzővel azonos görbéket, 0,4—1,0% Fe + Si-szennyezésű alumíniumra. Mint látható, a B hatása igen csekély, a Ti- és Ti + B-ötvözésű görbe pedig jóval mélyebben halad és majdnem egybeesik.

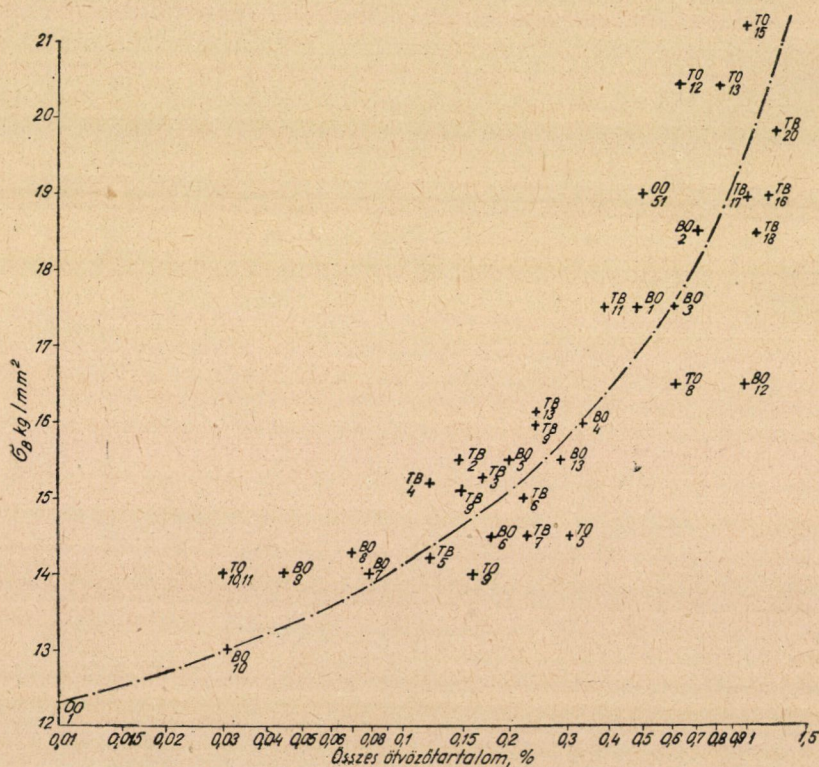
A görbék eredményei hasonlítanak De Pierre Al—Si-ötvözetnél elért eredményeihez [12], viszont némileg eltérnek a hasonló részletességű angol Eborall [2] és Cibula [3, 4] kísérletek eredményeitől. Utóbbiak szerint tiszta



alumíniumnál is erősebb hatást fejt ki a Ti, mint a B. Az ő méréseik szerint továbbá — legalább is Al—Cu-ötvözeteknél mérve — optimálisnak a Ti/B = 3/1 arány mutatkozott, míg a mi méréseink szerint a két elem arányára nem olyan érzékeny a szemcsefinomító (és egyéb) hatás és ha valamilyen aránnyal számolunk, akkor is kedvezőbb a két-háromszoros bőrfélesleg, a titántartalomra vonatkoztatva. Igen érdekesnek tartjuk továbbá a két ábra összevetéséből azt, hogy a szemcsefinomítás a tiszta alumíniumnál nem annyira az ötvöző-, ill. szennyezőelem minőségétől (Ti vagy B, vagy Si, vagy Fe) függ, hanem ezek összetartalmától: a Ti- és B-mentes O. O. 251 próbatest szemcsefinomsága kb. azonos a 0,2—0,3% Ti/B-ötvözésű anyagéval.

#### D) Szilárdsági mérések

A lemezcsíkokból a hengerlés irányában szabványos méretű (15 mm széles és 65 mm jeltávolság) próbatesteket vágunk ki. A méréseket, mint már említettük, egységesen keményrengerelt anyagokon végeztük. A mérések eredményeit a IV. táblázat tartalmazza, az összetétel függvényében pedig a 8. ábra.



8. ábra



IV. TÁBLÁZAT

A vizsgált próbatetek szakítószilárdsága és nyúlása

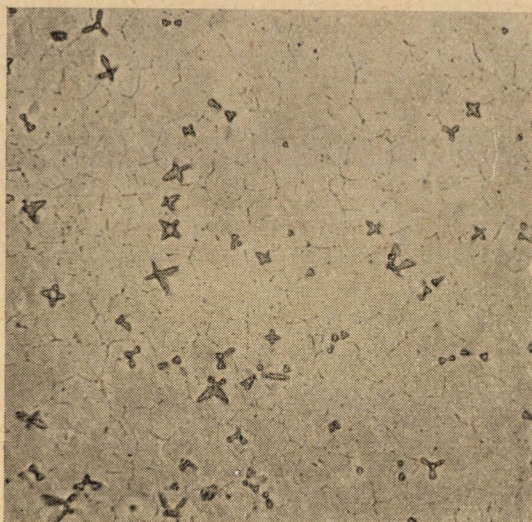
Ötvözet jele	$\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup>	$\delta_{10}$ %	Ötvözet jele	$\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup>	$\delta_{10}$ %
O. O. 201.....	12,3	7,0	B. O. 209.....	14,0	4,0
251.....	19,0	6,0	210.....	13,0	4,0
			212.....	16,5	4,0
T. O. 205.....	14,5	3,5	213.....	15,5	4,0
208.....	16,5	4,2			
209.....	14,0	3,0	T. B. 201.....	16,0	5,0
210.....	14,0	4,0	202.....	15,5	6,0
211.....	14,0	5,0	203.....	15,2	6,0
212.....	20,6	6,0	204.....	15,5	5,5
213.....	20,5	5,0	205.....	14,2	4,5
215.....	22,0	4,2	206.....	15,0	6,5
			207.....	14,5	6,0
B. O. 201.....	17,5	3,5	209.....	15,2	4,0
202.....	18,5	5,0	211.....	17,5	3,6
203.....	18,0	8,0	213.....	16,1	4,0
204.....	16,0	5,0	214.....	19,0	6,0
205.....	15,5	5,0	217.....	19,0	6,0
206.....	14,5	4,0	218.....	18,5	5,5
207.....	14,2	7,0	220.....	19,8	6,5
208.....	14,0	5,0			

E) Mikroszkópos vizsgálatok

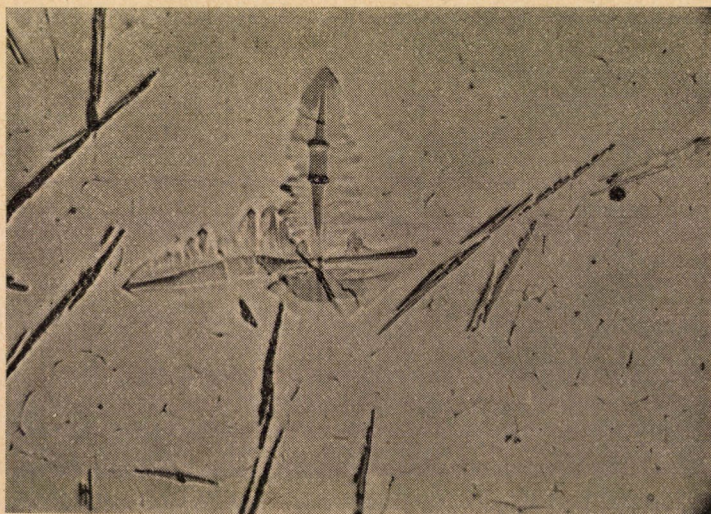
A csak Ti-nal ötvözött anyagok vizsgálata nem mutatott semmi újat korábbi méréseinkhez képest: nagyobb mennyiségű Ti esetén megjelenik az  $Al_3Ti$  fémes vegyület jellegzetes képe. Kisebb mennyiségben kis négyszögletes, csillagalakú, míg nagyobb mennyiségben hosszúkás, túalakú kristály. Két jellemző csiszolatot mutat a 9. és 10. ábra.

Csak B-ötvözés esetén kis kockaalakú, vagy hexagonális jellegű kristályok jelennek meg, amelyek véleményünk szerint az alumíniumboridokra jellemzők. Két ilyen csiszolatot mutat be a 11. és 12. ábra.

A Ti + B-ötvözésű anyagokban az előzőkkel azonos fázis jelentkezett vizsgálataink során — lásd pl. a 13. ábrát. Összehasonlítás kedvéért a 14. ábrán mutatjuk be Cibula cikkének [4] 2. ábráját. Az ő véleménye szerint a kis kockaalakú kristályok inkább titánboridok, esetleg titánboridok és alumíniumboridok szilárd oldatai, míg mi ugyanezeket titánmentes anyagban kaptuk, tehát legfeljebb alumíniumboridok lehetnek. Ezzel csupán arra kívánunk rámutatni, hogy a boridok azonosítása igen nehéz feladatot képez, akár mikroszkópos, vegyelemzési, de finomröntgenelemzési mérésekkel is. Előbbiek alapján arra a végkövetkeztetésre jutottunk, amire különben a villamos vezetőképességnél is utaltunk, hogy titán- és alumíniumboridok egyaránt keletkeznek, a két borid mikroszkópi különválasztása nem lehetséges, viszont hatásuk is hasonló.

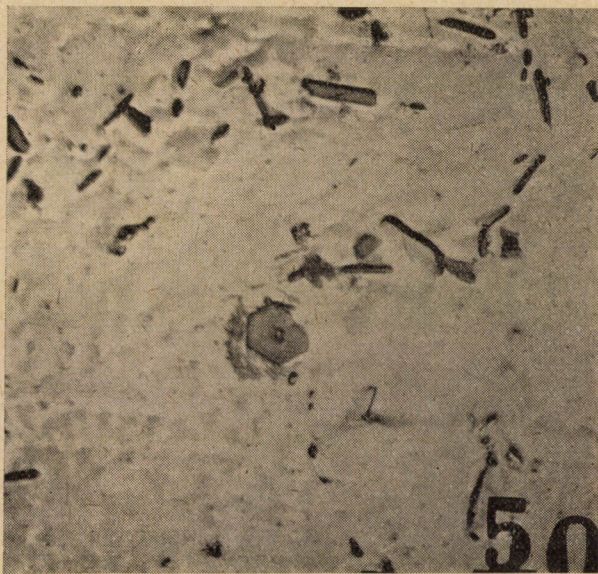


9. ábra. Kisebb ( $<0,4\%$ ) mennyiségben csak Ti-nal ötvözött alumíniumban megjelenő  $Al_3Ti$  kristályok jellemző képe;  $\times 300$

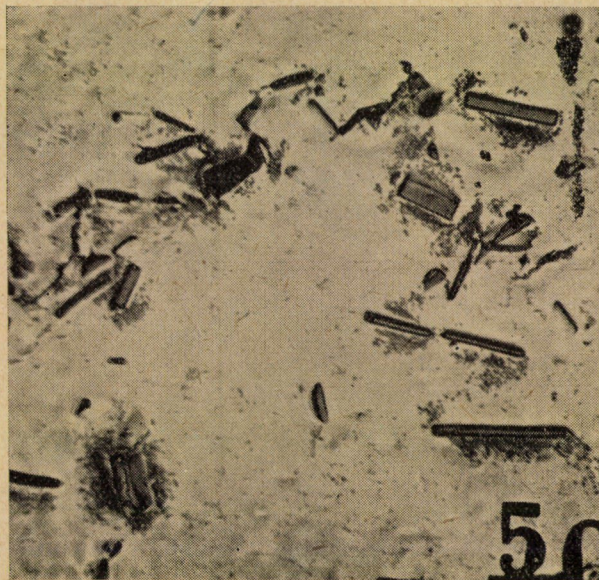


10. ábra. Nagyobb ( $\geq 0,4\%$ ) mennyiségben csak Ti-nal ötvözött alumíniumban megjelenő  $Al_3Ti$  kristályok jellemző képe;  $\times 300$





11. ábra. 0,39% mennyiségben csak B-ral ötvözött alumínium mikroszöve,  $\times 300$

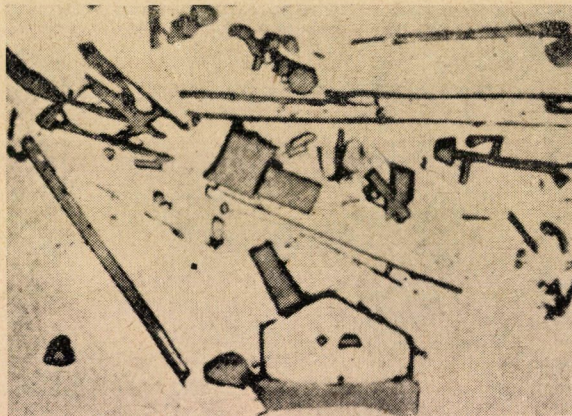


12. ábra. 0,39% mennyiségben csak B-ral ötvözött alumínium mikroszöve,  $\times 300$





13. ábra. 0,2% mennyiségben Ti-nal és B-ral ötvözött alumínium mikroszöveve ;  $\times 300$



14. ábra. Centrifugált 0,04% B- és 0,12% Ti-tartalmú alumíniumban különválasztott primér kristályok ;  $\times 2000$

#### F) Következtetések

1. Korábbi közleményünkben [13] megállapítottuk, hogy a bóros kezelés hatására a titán vagy titán- és vanádiumszennyezésű kohóalumíniumban mennyiségi és minőségi változás következik be, a Ti vagy a V egy része eltávozik, a visszamaradó rész pedig kedvezőbb kötési alakba megy át. Ez utóbbi körülménynek tulajdonítottuk a bóros kezelt anyag villamos vezetőképességének



javulását. A titán lehetséges kötési közül nagyobb jelentőséget tulajdonítottunk a karbidoknak, azok jelenlétének, vagy eltűnésének.

2. Mostani kísérleteink bebizonyították, hogy a karbidoknak nincs nagy jelentőségük, mennyiségük valószínűleg igen csekély, még kedvezőtlen körülmények között is és a titán erős vezetőképességrentó hatása ettől független. Igazolódott továbbá, hogy a bóros anyag titánnal, vagy a titános anyag bórral való kezelésének hatására a fémbe lévő titán kisebb-nagyobb része eltávozik. A visszamaradó rész egy részét — a Ti- és B-mennyiségtől függően — a bór megköti boridok alakjában, a többi változatlan állapotban marad. Ezek alapján úgy látszik, hogy a Ti-nak nagyobb az affinitása a B-hoz, mint az Al-hoz és a B-nak is nagyobb az affinitása Ti-hoz, mint az Al-hoz.

3. Megállapítottuk továbbá, hogy a villamos vezetőképesség a tiszta alumíniumnál egy ötvözőelemmel az illető elemre jellemző módon, főleg az állapotábra és az oldódási viszonyoknak megfelelő vonal mentén változik, több ötvözőelemmel pedig az ötvözőelemnek egymáshoz és az alumíniumhoz való affinitásuknak megfelelően módosul és összegeződik. A világirodalomból már korábban ismert Fe + Si-vonal kiegészítéseként meghatároztuk a Ti, (Fe + Si) + Ti, B(Fe + Ti) + B, Ti + B és (Fe + Si) + (Ti + B)-vonalakat, ill. mezőket. Ezek eredményeit röviden összefoglalva :

a) nagy tisztaságú, valamint szabványos Fe + Si-szennyezésű kohóalumínium villamos vezetőképességére a gyakorlati felhasználás szempontjából nem hátrányos, sőt kedvező a bórral történő ötvözés, akár 0,5%-nyi mennyiségig is ;

b) nagy tisztaságú, valamint szabványos Fe + Si-szennyezésű kohóalumínium villamos vezetőképességét igen erősen rontja már kis mennyiségben is a titán, amely hatás a gyakorlati felhasználás szempontjából is kielégítő módon közömbösíthető a titán súlyszázalékával legalább megegyező, de célszerűen 2—3-szoros mennyiségben beötvözött bórral. A közömbösítés oka az alumíniumboridokkal izomorf titánboridok keletkezésében keresendő.

4. A szemcsefinomító hatást vizsgálva megállapítottuk, hogy különbséget kell tenni a nagy tisztaságú, valamint a Fe + Si-szennyezésű alumíniumra és a különböző alumíniumötvözetekre kifejtett hatás között. A szinalumíniumra eredményeink a következőket mondják :

a) nagy tisztaságú alumíniumnál 0,15 súlyszázaléknyi Ti- vagy B-ötvözéskor a szemcsefinomodás erőteljesebb — nagyságrendileg kétszeres — a bór hatására, mint titán esetén. 0,4%-on túl a helyzet megfordul. Más a helyzet természetesen, ha az atomszázalékot vizsgáljuk, ebben az esetben a Ti végig erősebb hatást fejt ki ;

b) Ti + B-ötvözéskor — összesen  $\leq 0,25\%$ -ban — a hatás nagy tisztaságú anyagnál nagyságrendileg ugyanolyan, mint csak B-ötvözésnél. Kedvezőnek látszik a Ti/B-súlyarányt  $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ -nak választani ;

c) nagyobb —  $> 0,5\%$  — mennyiségű ötvöző, vagy szennyezés jelenlétekor a szemcsefinomító hatás már kevésbé kifejezett, és főleg az összes egyéb elem összetartalmától függ. A  $0,5\%$  kb. az átmeneti állapotot jellemzi, amire példa az O. O. 251 és a B. O. 219—220 próbatestek:  $0,5\%$  Fe + Si-tartalmú anyagot  $0,03$  és  $0,07\%$  bórral ötvözve az eredetihez képest durvább szemcsét kaptunk. Nyilvánvaló, hogy a B-ötvözés folytán túlhevített anyagban a kevés bór nem tudott elég kristálycsírát alkotni — ami összhangban áll Verő [14] és Danilov [15] méréseivel — viszont az így kapott szemcseméret is beleilleszkedik a nagy tisztaságú anyag B-vonalába. Látható, hogy a szemcseméret  $0,5\%$ -on túl az összes rendelkezésre álló csírától is függ, he yesebben ott már a Fe + Si-tartalom csírái is számottevő hatást fejtenek ki [16].

5. A szilárdságra kifejtett hatást illetőleg megállapítottuk (lásd 8. ábrát), hogy a tiszta alumíniumhoz képest észlelt szilárdságnövekedés egyértelműleg csupán az összes szennyezők és ötvözők összetartalmától függ, azaz gyakorlatilag független a »szemcsefinomítás«-tól. Nem lehet pl. azonos Ti-tartalommal a T. O. 209 anyag  $14 \text{ kg/mm}^2$  szakítószilárdságát a T. O. 213  $20,5 \text{ kg/mm}^2$  értékével, vagy  $0,1\%$  nagyságrendű Ti + B-tartalommal a T. B. 213 anyag  $16 \text{ kg/mm}^2$  szakítószilárdságát a T. B. 217  $19 \text{ kg/mm}^2$  értékével összehasonlítani, csak úgy, ha figyelembe vesszük a mindenkor i Fe + Si-értéket is. Ezek szerint legalább is alakított, nagy tisztaságú és kohóalumíniumnál nem észlelhető a titán, ill. egyéb »szemcsefinomítók« nagyobb fokú szilárdságnövelő hatása.

#### IRODALOM

1. Pacsernih : Trud. Centr. N. I. Min. Szudosztroit. Pr. SzSzSzR. 1947/25.
2. Eborall : Journal of Inst. of Metals, LXXVI/295.
3. Cibula : Journal of Inst. of Metals, LXXVI/321.
4. Cibula : Journal of Inst. of Metals, LXXX/1.
5. Gauthier : Journal of Inst. of Metals, LIX/375 ; ugyanerre hivatkozás több helyen, pl. Van Arkel—Cadeau-nál is.
6. Panzeri, Monticelli : Alumínio 1947/5.
7. Alcoa szabadalom : USA 1939, Brit. 636 433/1948.
8. Zajmovszkij, Uszov : Metallü i szplavü v elektrotehnikе, 1949.
9. Zeerleder : Technologie des Aluminiums, 1947.
10. Field : Journal of Inst. of Metals, LI/183.
11. Callendar : Journal of Inst. of Metals, LI/199.
12. De Pierre : Transactions A. S. M. 43/635.
13. Domony és Vassel : M. T. A. Műsz. Oszt. Közl. III/2—4. szám, 267. old.
14. Verő : M. T. A. Műsz. Oszt. Közl. I/2. szám, 3. old.
15. Umanszkij : Fiziceszkije osznovü metallovedenija, 1949.
16. Vassel : Öntöde, 1952/110.

#### Összefoglalás

A nagy tisztaságú és a kohóalumínium villamos vezetőképessége csak titán hatására erősen romlik, csak bór hatására alig változik, titán és bór együttes hatására kedvező és közel állandó értékű lesz, ha a Ti/B viszonya = 1. Nagy tisztaságú alumínium szemcsenagysága erősen csökken  $0,03$ — $0,3\%$  mennyiségű

csak Ti-nal, csak B-ral, vagy Ti + B-ral való ötvözés hatására. 0,5%-nál nagyobb mennyiségű ötvöző vagy szennyező hatására a szemcsemeret már keveset változik. Szemcsefinomodás szempontjából a titán és bór egyidejű alkalmazása nem nyújt különösebb előnyt az egyedi ötvözéshez képest. Szilárdságnövelés céljából sem a Ti, sem a B, sem a Ti + B ötvözése nem gazdaságos, mivel 0,01—1,00%-ban különböző elemekkel ötvözött, vagy szennyezett alumínium szilárdsága az összes egyéb ötvözőtartalomtól függ, nem az egyes elemekétől külön-külön.

\*\*\*

Ezúton is köszönetet mondunk a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának, amely érdeklődésével és támogatásával elősegítette a vizsgálatok elvégzését. Továbbá a Rákosi Mátyás Művek Színképelemző laboratóriumában *dr. Török* és *Weszprémy* kartársaknak, valamint a Ganz Villamosági Vállalat Központi Laboratóriumában *Vogel* és *Patyi* kartársaknak, akiknek lelkes, pontos és gyors mérései nagyban előrelendítették munkánkat, végül a Fémipari Kutató Intézetben segítséget nyújtó valamennyi kartársunknak, elsősorban *dr. Vargha* György kartársnak a mikroszkópi és makroszkópi vizsgálatok elvégzéséért.





# A TEODOLIT TENGELYHIBÁINAK EGYÜTTES HATÁSA A VÍZSZINTES SZÖGMÉRÉSRE\*

FIALOVSKY LAJOS

[Beérkezett 1953. jan. 31.]

A geodéziai gyakorlat mind nagyobb pontosságot követel a geodéziai műszerektől. A műszergyártó ipar igyekszik is ennek a követelménynek eleget tenni és azzal lépést tartani. Ma már 80-szoros nagyítású tükrös távcsöves teodolit is készül, aminek célja, hogy a teodolittávcsőnek olyan irányzási pontosságot biztosítsanak, amely összhangban van a korszerű optikai mikrométeres leolvasóberendezés és a szabatos üvegkörösztás pontosságával, valamint a korszerű, golyókoszorún futó alhidádé tengelyjárásának pontosságával. Ha ez az összhang megvan és így a teodolit mérési pontosságát befolyásoló mind a négy tényező pontossága egyformán teljesen kihasználható, akkor a műszerből eredő véletlen jellegű mérési hibák a legkisebb mértékre csökkennek.

Időszerűnek látszik evvel kapcsolatban a teodollal való vízszintes szögmérésnek a műszerben rejlő szabályos hibaforrásait, illetőleg ezek hatását és kiküszöbölésének módját is a fokozott mérési pontossági követelmények szigorú szemüvegén át megvizsgálni. Alább ismertetendő vizsgálatom célja annak megállapítása, hogyan szuperponálódnak a teodolit ú. n. tengelyhibáinak hatására keletkező vízszintes szögmérési hibák.

A geodéziai szakirodalom és a geodéziai gyakorlat régen ismeri a kollimációhiba, a fekvőtengely merőlegességi hibája és az irányvonal külpontossága okozta oldalirányzási szöghibák számszerű értékeit. Utasítást is ad a tengelyhibák hatásának módszeres kiküszöbölésére, amikor minden szögmérést (oldalirányzást) egymásután az I. és II. távcsőállásban végeztet el és a két távcsőállásban kapott két eredmény középértékét tekinti a helyes eredménynek. Ismeretes és szemléleti úton azonnal belátható, hogy abban az esetben, ha a három tengelyhiba közül csak az egyik mutatkozik, a két távcsőállásban való mérés eredményének középértéke teljes szigorúsággal mentes a kérdéses tengelyhiba hatásától. Nem kézenfekvő azonban a két távcsőállásban való mérés kiküszöbölő hatása akkor, ha a három hiba, mégpedig a kollimációhiba, a fekvőtengely merőlegességi hibája és az irányvonal külpontossága egyidejűleg mutatkozik.

\* E tanulmány egyik részét a szerző a Magyar Tudományos Akadémia Geodéziai és Geofizikai Főbizottságának 1952. október 23-iki ülésén előadta és az ülés megvitatásának eredményeképpen kiegészítette.

Irodalmi kutatásaim során nem találtam választ arra a kérdésre, hogy vajjon az említett három tengelyhiba együttes hatását a két távcsőállásban való mérés eredményéből számított középérték teljes matematikai szigorúsággal küszöböli-e ki. Sőt inkább úgy látszik, mintha az lenne az általános felfogás, hogy a három hiba együttes hatását a két távcsőállásban való mérés nem küszöböli ki teljes exaktsággal, hanem csak — a szigorú kiküszöböléshez bár igen közel álló — megközelítéssel. Erre mutat a geodéziai szakkönyvek egy részében adott az a határozott utasítás, hogy a kollimációhibát, a fekvőtengely merőlegességi hibáját és az irányvonal külpontosságát azért kell a leggondosabb igazítással a minimumra csökkenteni, mert a két távcsőállásban való mérés eredménye csak abban az esetben ejti ki e három hiba együttes hatását, ha mind a három hiba igen kicsi. [1] Arra azonban nem találunk utalást sehol sem, hogy a műszer kiigazításával (szabályozásával) a három tengelyhibát számszerűen milyen pontossági határokon belül kell tartani és hogy e három hibának meghatározott értéke esetén mekkora oldalirányhiba marad benn a két távcsőállásban mért oldalirányérték középértékében. Pedig a geodétát és a műszergyártót egyaránt joggal érdekli ez a kérdés, mert csak az erre adott határozott válasz szavatolhat azért, hogy a teodolit bizonyos szögmérési pontosságot valóban tartani tud, illetőleg adhat támpontot arra, hogy a megkívánt szögmérési pontosság eléréséhez a tengelyhibákat igazítással milyen határok közé kell szorítani.

Megjegyezzük, hogy a kollimációhibát és az irányvonal külpontosságát egyébként általában nem is tudjuk igazítással teljesen kiküszöbölni, mert a távcső irányvonala a különböző irányzási távolságokra való beállításnál más-más helyzetet foglal el. Ennek oka, hogy a szálközép igazítása következtében az egyszerű geodéziai távcső szálcsővének mozgatasakor a szálkeresztközép mozgási egyenese, a belső képállító lencsés távcső képállító lencséjének mozgatasakor pedig e lencse középpontjának mozgási egyenese sohasem esik teljesen egybe az optikai tengellyel [2].

*Jordan—Eggert* közismert »Handbuch der Geodäsie« [3] c. könyve behatóan foglalkozik a tengelyhibák hatásával, azonban az ott alkalmazott okfejtéshez két észrevételt tehetünk. Az egyik, hogy a vizsgálat a tengelyhibák okozta oldalirányeltérés nagyságát közelítő módszerrel határozza meg, és így az oldalirányeltérésre levezetett képletek közelítő jellegűek. Igaz, hogy ezek a közelítő képletek a tengelyhibák szóhajóví kis értékei esetén a gyakorlat számára általában megfelelőek, azonban szigorú hibavizsgálatra nem mindig elegendőek. A másik észrevételünk az, hogy az okfejtés az egyes tengelyhibák hatását külön-külön vizsgálja, nem pedig együttesen és így a feltett kérdésünkre nem is adhatta szabatos választ. *Jordan* meg is állapítja [4], hogy a kollimációhiba, a fekvőtengelyferdeség és az állótengelyferdeség együttes hatásaként jelentkező teljes oldalirányhibára megadott kifejezése, mint a három részhatás összege, csak oly mértékig pontos, amily mértékig pontosak a részhatásokra megadott képletek. Útal arra is, hogy amennyiben a részhatásokra megadott képleteknek a kérdéses

tengelyhiba magasabb hatványait tartalmazó tagjai is vannak, akkor a tengelyhibák együttes jelentkezésekor az eredő oldalirányhiba kifejezésének a tengelyhibák egyes hatványait tartalmazó tagjai is lesznek és így az eredő oldalirányhibát nem a részhibák egyszerű összegezése adja. Ezen a megállapításon túl azonban Jordan nem megy és ezzel el is van vetve az a bizonytalanság, hogy a két távcsőállásban való mérés eredményének középértéke kiküszöböli-e teljes szigorúsággal az említett tengelyhibák hatását, ha azok együttesen mutatkoznak.

Behatóan foglalkozik a teodolit tengelyhibáival *Ehrenfeucht* rigai professzor [5], aki a kollimációhiba, a fekvőtengely merőlegességi hibája és az állótengely függőlegességi hibájának együttes hatását vizsgálja a vízszintes szögmérésre. *Ehrenfeucht* megállapítja e hibahatás számszerű értékét. Levezetett képlete igazolja, hogy a két távcsőállásban való méréssel az oldalirányra kapott két mérési eredmény középértéke mentes az együtt mutatkozó kollimációhiba és fekvőtengelyferdeség hatásától. Az irányvonal külponthosságának hatását azonban *Ehrenfeucht* nem vizsgálta és így levezetett eredménye nem ad választ arra, hogy a két távcsőállásban való mérés exakt hibakiküszöbölő hatása érvényben van-e akkor is, ha az irányvonal külponthosságával is számolnunk kell, amint hogy ez általában így is van.

Az alább ismertetendő geometriai megfontolással közvetlenül kapjuk meg az együtt mutatkozó kollimációhiba, fekvőtengely merőlegességi hiba és irányvonal-külponthosság okozta oldalirányhiba nagyságát és pedig ennek szigorú értékét. Ennek ismeretében módunkban lesz megvizsgálni a két távcsőállásban való mérés eredményéből történő középértékképzés hibakiküszöbölő hatását.

Az 1. ábrán  $OC$  a teodolit vertikálissá tett állótengelye,  $AB$  a fekvőtengely,  $O$  a műszer középpontja (az állótengely és a fekvőtengely metszéspontja),  $D$  az  $O$  pontból  $\alpha$  magassági szög alatt  $OD=t$  ferde távolságra,  $OD' = t' = t \cos \alpha$  vízszintes távolságra lévő megírányzott pont,  $\varepsilon_1$  a kollimációhiba,  $\varepsilon_2$  a fekvőtengely merőlegességi hibája,  $e_h = EO$  a fekvőtengelyt  $E$  pontban metsző  $ED$  irányvonalnak a fekvőtengely mentén mért horizontális külponthossága,  $\alpha'$  a  $D$  pontnak a teodolittal mért helytelen magassági szöge,  $\delta_{1,2,3}$  a három tengelyhiba együttes hatására keletkező oldalirányhiba.

Az 1. ábrához még az alábbi magyarázatot fűzzük.

$MNLG$  vízszintes síkú,  $t$  sugarú,  $O$  középpontú kör;

$MCL$  az  $OC$  állótengely és az  $AB$  fekvőtengely síkjában lévő  $t$  sugarú félkör;

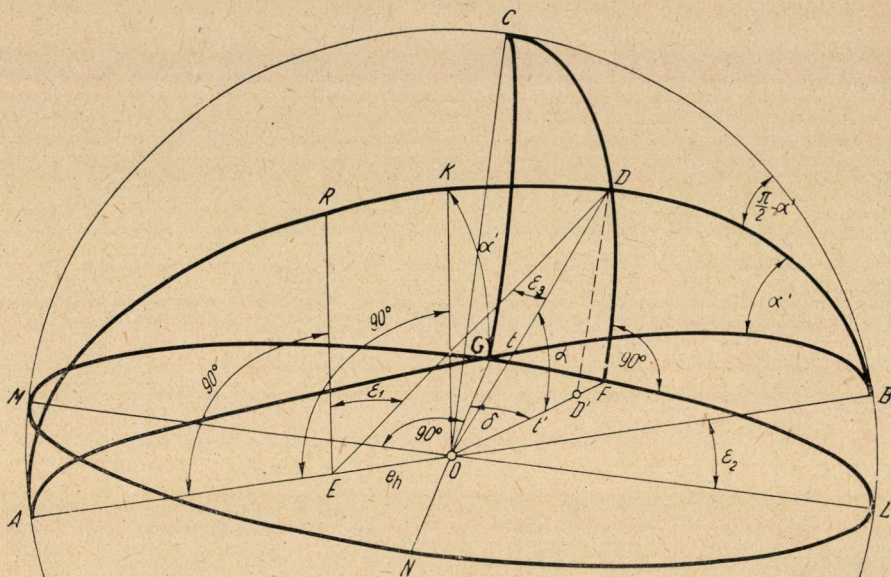
$CG$  az  $OC$  tengelyen átmenő és az  $OC$  tengely, valamint az  $AB$  fekvőtengely által meghatározott síkra merőleges síkban lévő,  $t$  sugarú körnegyed;

$CDF$  az  $OC$  állótengelyen és a  $D$  ponton átmenő függőleges síkban lévő  $O$  középpontú,  $t$  sugarú körnegyed;

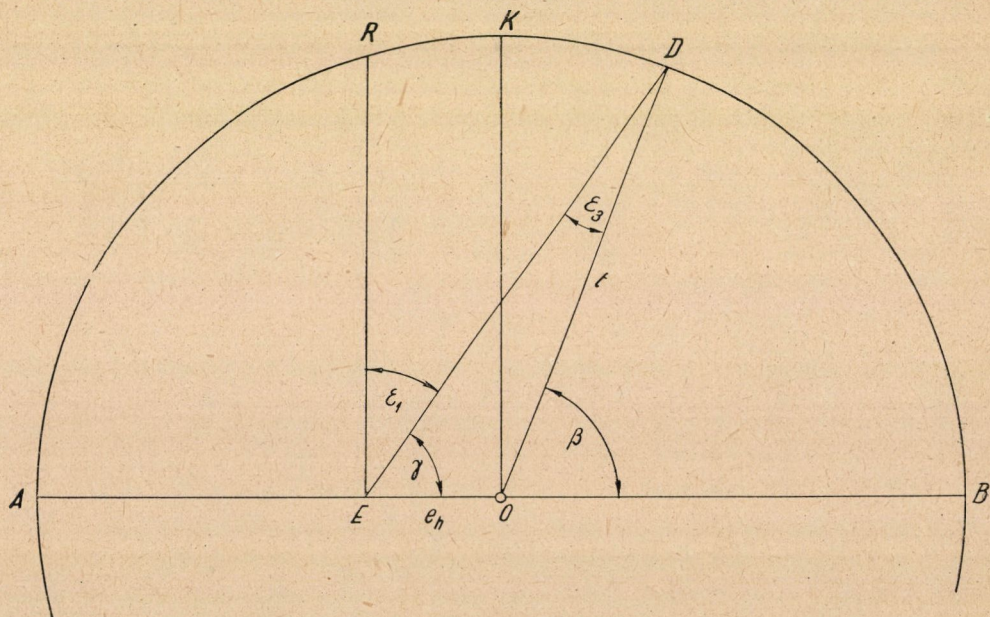
$ARKDB$  az  $AB$  fekvőtengelyen és a  $D$  ponton átmenő síkban lévő  $O$  középpontú,  $t$  sugarú félkör;  $OK$  merőleges  $AB$ -re,  $ER$  párhuzamos  $OK$ -val azaz ugyancsak merőleges  $AB$ -re.

A 2. ábra az 1. ábrán  $R$ ,  $K$  és  $D$ -vel jelölt pontokat az  $AB$  tengely körül a rajz síkjába forgatva tünteti fel. A 2. ábra szerint

$$\beta = \gamma + \varepsilon_3 = 90^\circ - \varepsilon_1 + \varepsilon_3. \quad (1)$$



1. ábra



2. ábra



De az *EOD* háromszögből

$$\sin \varepsilon_3 = \frac{e_h}{t} \cos \varepsilon_1,$$

vagy

$$\varepsilon_3 = \arcsin \frac{e_h}{t} \cdot \cos \varepsilon_1. \quad (2)$$

Az 1. ábrán látható *BCD* gömbháromszögből, amelyet a 3. ábrán külön is kirajzoltunk,

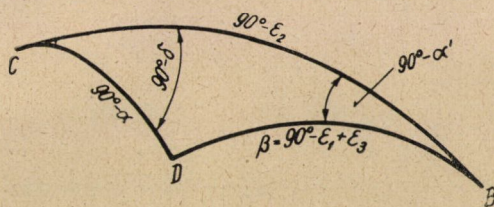
$$\cos \beta = \sin (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) = \sin \alpha' \cdot \sin \varepsilon_2 + \cos \alpha \cdot \cos \varepsilon_2 \cdot \sin \delta \quad (3)$$

és

$$\sin \alpha = \sin \varepsilon_2 \cdot \sin (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) + \cos \varepsilon_2 \cdot \cos (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \sin \alpha' \quad (4)$$

honnan

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - [\sin \varepsilon_2 \sin (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) + \cos \varepsilon_2 \cdot \cos (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \sin \alpha']^2}. \quad (5)$$



3. ábra

A (4)-ben és (5)-ben  $\varepsilon_3$  helyébe (2) helyettesítendő.

A (3)-ből

$$\delta = \arcsin \left\{ \frac{\sin (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) - \sin \alpha \cdot \sin \varepsilon_2}{\cos \alpha \cdot \cos \varepsilon_2} \right\} = f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, e_h), \quad (6)$$

ahol  $\varepsilon_3$  helyébe (2)-t,  $\sin \alpha$  helyébe (4)-et és  $\cos \alpha$  helyébe (5)-öt kell behelyettesíteni.

A (6) képlet adja a kollimációhiba, a fekvőtengely merőlegességi hibája és az irányvonal vízszintes külpontossága együttes jelentkezésekor keletkező oldalirányhiba szigorú értékét. Látható (6)-ból, hogy a három tengelyhiba együttes hatásának szigorú pontos matematikai kifejezése nem bontható úgy széjjel, hogy az együttes hatás pontos értéke az egyes tengelyhibák okozta részhatások pontos értékei egyszerű összegezeként mutatkozzék.

Vizsgáljuk meg, hogy mekkora az oldalirányhiba a három tengelyhiba együttes hatására a két távcsőállásban való mérés eredményének középértékében.

Az 1. ábrán feltüntetett helyzet feleljen meg az I. távcsőállásnak. Az I. távcsőálláshoz az adott esetben tehát a pozitív előjelűnek vett  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  és  $e_h$  hibák tartoznak és jelöljük az I. távcsőállásban keletkező, a (6)-ból számítható oldal-

irányhibát  $\delta_I$ -gyel. Ha most a távcsövet áthajtjuk és átforgatjuk, majd újból a  $D$  pontra irányzunk, mindhárom tengelyhiba nagysága ugyanakkora, de előjele ellenkező lesz. A II. távcsőállásban való irányzásnál előálló  $\delta_{II}$  oldalirányhibát tehát úgy kapjuk meg, ha a (6)-ban és az ebbe helyettesítendő (2), (4) és (5) képletekben az  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  és  $e_h$  értékek helyett  $-\varepsilon_1$ ,  $-\varepsilon_2$  és  $-e_h$  értékeket alkalmazunk. Ezt elvégezve (2)-ből

$$\varepsilon_{3II} = \arcsin \left( \frac{-e_h}{t} \cdot \cos(-\varepsilon_1) \right) = -\varepsilon_{3I}, \quad (7)$$

(4)-ből

$$\sin \alpha_{II} = \sin(-\varepsilon_2) \sin(-\varepsilon_1 + \varepsilon_3) + \cos(-\varepsilon_1) \cos(-\varepsilon_1 + \varepsilon_3) \sin \alpha' = \sin \alpha_I \quad (8)$$

és (5)-ből

$$\cos \alpha_{II} = \cos \alpha_I = \cos \alpha. \quad (9)$$

Megjegyzem, hogy a (8) és (9) egyenlőség fennáll azért is, mert a megirányzott  $D$  pont  $\alpha$  magassági szöge független a távcsőállástól. Majd (6)-ból (7) (8) és (9) behelyettesítésével

$$\begin{aligned} \delta_{II} &= f(-\varepsilon_1, -\varepsilon_2 - e_h) = \arcsin \left\{ \frac{\sin(-\varepsilon_1 + \varepsilon_3) - \sin \alpha \cdot \sin(-\varepsilon_2)}{\cos \alpha \cdot \cos(-\varepsilon_2)} \right\} = \\ &= -\arcsin \left\{ \frac{\sin(\varepsilon_1 - \varepsilon_3) - \sin \alpha \cdot \sin \varepsilon_2}{\cos \alpha \cdot \cos \varepsilon_2} \right\} = -f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, e_h) = -\delta_I. \end{aligned} \quad (10)$$

Az  $f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, e_h)$  függvény tehát ú. n. páratlan függvény. Ezzel bebizonyítottuk, hogy a két távcsőállásban való mérés eredményének középértéke mentes a kollimációhiba, a fekvőtengely merőlegességi hibája és az irányvonalkülpontosság hatásától akkor is, ha ezek a hibák együtt vannak jelen. A tétel érvényessége nem korlátozódik arra az esetre, amikor a tengelyhibák kicsinyek, hanem a két távcsőállásban való mérés hibakiküszöbölő hatása a tengelyhibák nagyságától függetlenül, teljes szigorúsággal megvan.

Fejtsük sorba a kollimációhiba, fekvőtengelyferdeség és horizontális irányvonalkülpontosság együttes hatására kapott (6) trigonometrikus összefüggést a tengelyhibák 3. rendű hatványait tartalmazó tagokig bezárólag. A sorbafejtés eléggé hosszadalmas művelete után  $\delta$ -ra alábbi alakot kapjuk:

$$\delta = \frac{\varepsilon_1}{\cos \alpha'} - \left( \frac{e_h}{t} \right) \frac{1}{\cos \alpha'} - \varepsilon_2 \operatorname{tg} \alpha' + \sum a_{k,l,m} \varepsilon_1^k \varepsilon_2^l \left( \frac{e_h}{t} \right)^m + R, \quad (11)$$

ahol  $k$ ,  $l$  és  $m$  értékei 0, +1, +2, vagy +3 lehetnek, továbbá  $k + l + m = 3$  és a  $\Sigma$  jel alatt lévő 3. rendű tagok száma egyenlő a 3 elemből alkotható 3 tagú ismétlése kombinációk számával, azaz 10; továbbá az  $R$  maradéktag márcsak az  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  és  $\left( \frac{e_h}{t} \right)$  hibák 5. és magasabb páratlan rendű tagjait tartalmazza. Az a  $k, l, m$  együtthatók értékei csak a mért  $\alpha'$  magassági szögtől függenek.

A (11) kifejezésben hiányzanak a tengelyhibák 2. és magasabb párosrendű hatványait tartalmazó tagok. Ekként, ha abban állapodunk meg, hogy a 3. és magasabb rendű tagokat elhanyagoljuk, csak a lineáris tagokkal kell számolnunk és

$$\delta = \frac{\varepsilon_1}{\cos \alpha'} - \left( \frac{e_h}{t} \right) \frac{1}{\cos \alpha'} - \varepsilon_2 \operatorname{tg} \alpha',$$

vagyis az eredő szögmérési hiba egyenlő a három tengelyhiba részhatásának összegével.

Az előbb ismertetett, kivonatosan másutt is közölt [6] vizsgálat eredménye azonban még nem nyugtat meg bennünket teljes mértékben. A tengelyhibák meghatározásakor ugyanis az irányvonalnak csak a horizontális külpontosságáról beszéltünk, amikor feltettük, hogy az irányvonal a fekvőtengelyt az  $O$  műszerközponttól az  $e_h$  vízszintes külpontosság távolságában metszi. A valóságban azonban a megirányzott pont távolságától függően mind a vízszintes, mind a magassági síkban változó helyzetű (irányú) irányvonal és a fekvőtengely általában kitérő egyenesek. Az irányvonalnak a horizontális külpontosságán kívül tehát mindig van vertikális külpontossága is.

Az alábbiakban vizsgáljuk meg, hogy mekkora az oldalirányhiba értéke ebben a legáltalánosabb esetben, amikor is a kollimációhibával, a fekvőtengely merőlegességi hibájával, az irányvonal horizontális külpontosságával és az irányvonal vertikális külpontosságával egyidejűleg kell számolni.

A 4. ábrán az 1. ábrán alkalmazott jelölésekkel megegyezően  $OC$  ugyancsak a teodolit függőlegessé tett állótengelye,  $AB$  a teodolit fekvőtengelye,  $O$  a műszerközpont,  $D$  az  $O$  ponttól  $\alpha$  magassági szög alatt  $OD = t$  ferde távolságon,  $OD' = t' = t \cos \alpha$  vízszintes távolságon lévő megirányzott pont,  $SD$  az irányvonal,  $\varepsilon_1$  a kollimációhiba,  $\varepsilon_2$  a fekvőtengely merőlegességi hibája. Az  $e = OS$  a távcsőirányvonal teljes külpontossága, amelyet a következőképpen definiálunk. Az  $e$  teljes külpontosság az az egyenes vonaldarab, amelynek egyik végpontja az  $O$  műszerközpont, másik végpontja az  $SD$  irányvonal és az  $AB$  fekvőtengely normáltranzverzálisának az irányvonallal való  $S$  metszéspontja;  $\omega$  az  $e$  teljes irányvonalkülpontosság irányának a fekvőtengellyel bezárt szöge.

$$e_v = e \sin \omega \quad (12)$$

az irányvonal vertikális külpontossága, ami nem más, mint az irányvonal és a fekvőtengely közötti normáltranzverzális távolság.

$$e_h = e \cos \alpha \quad (13)$$

az irányvonal horizontális külpontossága, amely egyenlő az előbb említett normáltranzverzális egyenes és a fekvőtengely  $E$  metszéspontjának az  $O$  műszerközponttól a fekvőtengelyen mért távolságával.

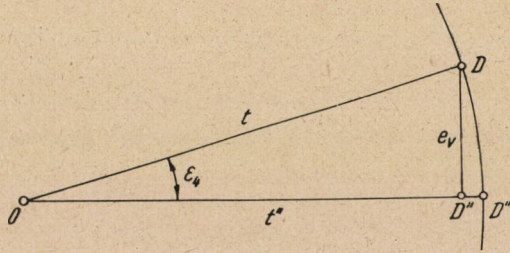






A 4. ábrán látható  $DD''O$  derékszögű háromszögből, amelyet az 5. ábrán külön is kirajzoltunk,

$$\sin \varepsilon_4 = \frac{e_v}{t} \tag{14}$$

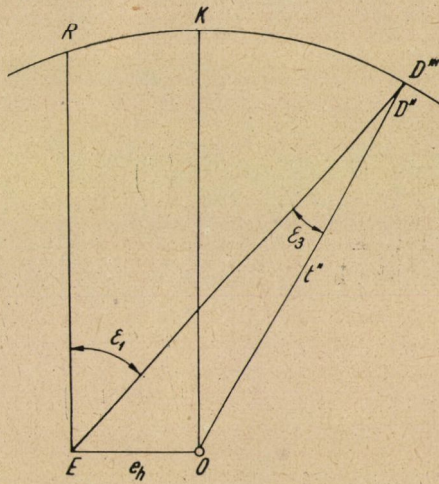


5. ábra

és

$$OD'' = t'' = t \sqrt{1 - \left(\frac{e_v}{t}\right)^2}, \tag{15}$$

ahol a gyök előjelét mindig pozitívnak kell venni.



6. ábra

A 4. ábrán látható  $D''EO$  háromszögből, amelyet a 6. ábrán külön kirajzoltunk,

$$\sin \varepsilon_3 = e_h \frac{\sin(90^\circ - \varepsilon_1)}{t''}. \tag{16}$$



A (16)-ba (15)-öt behelyettesítve

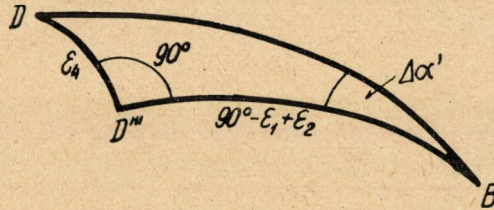
$$\varepsilon_3 = \arcsin \frac{e_h \cos \varepsilon_1}{t \sqrt{1 - \left(\frac{e_v}{t}\right)^2}}. \quad (17)$$

A 4. ábrán látható  $BDD''$  derékszögű gömbháromszögből, amelyet a 7. ábrán külön kirajzoltunk,

$$\cos BD = \cos (90^\circ - \varepsilon_1 + \varepsilon_3) \cos \varepsilon_4 \quad (18)$$

és

$$\sin \Delta\alpha' = \frac{\sin \varepsilon_4}{\sin BD} = \frac{\sin \varepsilon_4}{\sqrt{1 - \sin^2 (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \cos^2 \varepsilon_4}}, \quad (19)$$



7. ábra

továbbá a (14)-ből

$$\cos \varepsilon_4 = \sqrt{1 - \left(\frac{e_v}{t}\right)^2}, \quad (20)$$

ahol mivel  $|\varepsilon_4| < 90^\circ$ , a gyök előjelét ugyancsak mindig pozitívnek kell venni. A (20)-at és a (17)-et (18)-ba behelyettesítve

$$\cos BD = \sin \left( \varepsilon_1 - \arcsin \frac{e_h \cos \varepsilon_1}{t \sqrt{1 - \left(\frac{e_v}{t}\right)^2}} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{e_v}{t}\right)^2}. \quad (21)$$

A 4. ábrán látható  $BCD$  gömbháromszögből, amelyet a 3. ábrán külön kirajzoltunk,

$$\cos BD = \sin \alpha \sin \varepsilon_2 + \cos \alpha \cos \varepsilon_2 \sin \delta \quad (22)$$

és

$$\sin \alpha = \sin \varepsilon_2 \cos BD + \cos \varepsilon_2 \sin BD \cdot \sin (\alpha' + \Delta\alpha')$$

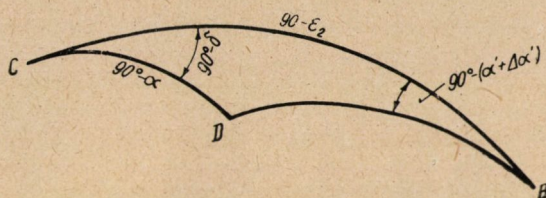


vagy (18) figyelembevételével

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \sin \varepsilon_2 \sin (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \cos \varepsilon_4 + \\ &+ \cos \varepsilon_2 \sin (\alpha' + \Delta\alpha') \sqrt{1 - \sin^2 (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \cos^2 \varepsilon_4} \end{aligned} \quad (23)$$

A (21) és a (22) egybevetésével

$$\sin \delta_1 = \frac{\sin \left( \varepsilon_1 - \arcsin \frac{e_h \cos \varepsilon_1}{\sqrt{t^2 - e_v^2}} \right) \sqrt{1 - \left( \frac{e_v}{t} \right)^2} - \sin \alpha \sin \varepsilon_2}{\cos \alpha \cdot \cos \varepsilon_2},$$



8. ábra

vagy

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \arcsin \left[ \frac{\sin \left( \varepsilon_1 - \arcsin \frac{e_h \cos \varepsilon_1}{\sqrt{t^2 - e_v^2}} \right) \sqrt{1 - \left( \frac{e_v}{t} \right)^2} - \sin \alpha \cdot \sin \varepsilon_2}{\cos \alpha \cdot \cos \varepsilon_2} \right] = \\ &= f_v (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_h, \varepsilon_v), \end{aligned} \quad (24)$$

amelyben  $\sin \alpha$  és  $\cos \alpha$  helyébe a (23)-at és az ebből számítható kifejezést kell helyettesíteni. A (23)-ban előforduló  $\Delta\alpha'$  értékét pedig a (19) képletből kell venni.

A (24) kifejezés adja a kollimációhiba, a fekvőtengely merőlegességi hibája, az irányvonal horizontális külpontossága és az irányvonal vertikális külpontossága okozta oldalirányeltérés szigorú, pontos értékét.

Vizsgáljuk most meg a két távcsőállásban való mérés hatását abban az általános esetben, amikor a kollimációhiba, a fekvőtengely merőlegességi hibája, a horizontális irányvonalkülpontosság és a vertikális irányvonalkülpontosság együtt van jelen. Ha a távcsövet az I. távcsőállásban végzett mérés után áthajtjuk, átforgatjuk és a II. távcsőállásban irányozzuk meg ugyanazt a D pontot, akkor az  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, e_h$  és  $e_v$  értékek ugyanakkorák, de ellenkező előjelűek lesznek. Ezért a (24) képletbe most a  $-\varepsilon_1, -\varepsilon_2, -e_h$  és  $-e_v$  értékeket kell behelyettesíteni. A II. távcsőállásban végzett irányzásnál az oldalirányhiba tehát

$$\begin{aligned}
 \delta_{II} &= f_v(-\varepsilon_1, -\varepsilon_2, -e_h, -e_v) = \\
 &= \arcsin \left\{ \frac{\sin \left( -\varepsilon_1 - \arcsin \frac{e_h \cos(-\varepsilon_1)}{\sqrt{t^2 - (-e_v)^2}} \right) \sqrt{1 - \left( \frac{-e_v}{t} \right)^2} - \sin \alpha \sin(-\varepsilon_2)}{\cos \alpha \cdot \cos(-\varepsilon_2)} \right\} \\
 &= -\arcsin \left\{ \frac{\sin \left( \varepsilon_1 - \arcsin \frac{e_h \cos \varepsilon_1}{\sqrt{t^2 - e_v^2}} \right) \sqrt{1 - \left( \frac{e_v}{t} \right)^2} - \sin \alpha \sin \varepsilon_2}{\cos \alpha \cos \varepsilon_2} \right\} = \\
 &= -f_v(\varepsilon_1, \varepsilon_2, e_h, e_v) = -\delta_{II}. \tag{25}
 \end{aligned}$$

A  $\delta_{1,2,3,4} = f_v(\varepsilon_1, \varepsilon_2, e_h, e_v)$  függvény tehát ugyancsak páratlan függvény, azaz most is

$$\delta_I = -\delta_{II} \tag{26}$$

Ezzel bebizonyítottuk, hogy a két távcsőállásban való irányzásnál kapott oldalirányértékek számtani középértéke teljes szigorú pontossággal mentes az egyidejűleg mutatkozó kollimációhiba, fekvőtengely merőlegességi hiba, horizontális irányvonalkülpontosság és vertikális irányvonalkülpontosság hatásától. Mivel a levezetésben most sem éltünk az  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, e_h$  és  $e_v$  értékek kicsiny voltával, a bizonyított tétel érvényessége nem korlátozódik arra az esetre, amikor ezek a hibák kicsinyek, hanem az teljes mértékben megvan tetszőleges nagyságú tengelyhibák együttes előfordulásakor is.

A négy tengelyhiba együttes jelenlétekor a két távcsőállásban való mérés hibakiküszöbölő hatásának bizonyításánál mellőztük a (25) képletben  $\sin \alpha$  helyett a (23) kifejezést és a  $\cos \alpha$  helyébe a (23)-ból a  $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$  összefüggés alapján számítható  $\cos \alpha$  kifejezést helyettesíteni. Ezt azért tehetjük, mert jóllehet a két távcsőállásban kapott két mért magassági szög a nem 0 értékű vertikális irányvonalkülpontosság miatt egymástól eltérő  $\alpha_I$  és  $\alpha_{II}$  értékű, azonban a  $D$  pont valóságos  $\alpha$  magassági szöge — a műszerközpontnak a távcsőállástól független helyzete miatt — a két távcsőállásban azonos értékű.

A (10)-hez és a (26)-hoz alábbi megjegyzést tehetjük. Ha a vertikális irányvonalkülpontosságot nem vesszük figyelembe, a II. távcsőállásban a  $D$  célpontra irányzott teodolit helyzete a  $O$  műszerközpont és a  $D$  célpont függőleges síkjára mint szimmetriasíkra vonatkoztatva szimmetrikus az I. távcsőállásban a  $D$  pontra irányzott teodolit helyzetéhez. Ez a tétel térszemléleti úton közvetlenül is belátható és matematikai bizonyítást kapott annak igazolásával, hogy a (6) összefüggés az  $\varepsilon_v, \varepsilon_2$  és  $e_h$  változó páratlan függvénye.

Nem így van a dolog akkor, ha az  $e_v$  vertikális külpontosságot is figyelembe vesszük. A (24) képletről is kimutattuk ugyan, hogy az páratlan függvénye az  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, e_h$  és  $e_v$  tengelyhibáknak, mivel azonban a (24)-ben  $e_v$ -nek a négyzete van, a (25) független az  $e_v$  előjelétől. Akkor volna az I. és II. távcsőállásban a  $D$  pontra



vagy végül

$$\delta = \frac{\varepsilon_1}{\cos \alpha'} - \left(\frac{e_h}{t}\right) \frac{\rho''}{\cos \alpha'} - \varepsilon_2 \operatorname{tg} \alpha' + \varepsilon_1 \left(\frac{e_v}{t}\right) \frac{\operatorname{tg} \alpha'}{\cos \alpha'} - \left(\frac{e_h}{t}\right) \left(\frac{e_v}{t}\right) \rho'' \frac{\operatorname{tg} \alpha'}{\cos \alpha'} - \varepsilon_2 \left(\frac{e_v}{t}\right) \frac{1}{\cos^2 \alpha'} + \text{III. rendű tagok.} \quad (33)$$

A kapott (33) képlet első három tagja sorban az  $\varepsilon_1$  kollimációhiba, az  $e_h$  horizontális irányvonalkülpontosság és az  $\varepsilon_2$  fekvőtengelyferdeség  $\delta_1$ ,  $\delta_3$  és  $\delta_2$  szögmérési részhibahatása, a 4., 5. és 6. tagok összege pedig az irányvonal  $e_v$  vertikális külpontosságának  $\delta_4$  hatását jelenti. Látjuk (33)-ból, hogy az irányvonal vertikális külpontosságának csak akkor van hibahatása, ha ez a tengelyhiba legalább még egy másik tengelyhibával együtt van jelen.

A (11) és a (33) összehasonlításából azt is megállapíthatjuk, hogy ha az irányvonalnak vertikális külpontossága is van, akkor a szögmérési hiba képletében a tengelyhibák másodfokú hatványai nem tűnnek el, míg ha az irányvonalnak csak horizontális külpontossága van, a tengelyhibák 2. rendű hatványai kiesnek. A tengelyhibák okozta vízszintes szögmérési hiba értékét a (11), illetőleg (33) képlet lineáris tagjai sokkal pontosabban adják meg akkor, ha az irányvonal vertikális külpontossága nulla, vagy elenyészően kicsiny.

Rá kell mutatnunk itt egy látszólagos ellentmondásra. Mivel ugyanis a (33) képletben a tengelyhibák 2. rendű hatványai is jelen vannak, ebből azt lehetne megállapítani, hogy a négy tengelyhiba együttes jelenlétekor a két távcsőállásban való mérés nem küszöböli ki teljesen a tengelyhibák együttes hatását. Ez ellenkezik a (26)-hoz fűzött korábban tett megállapításunkkal. Ez az ellentmondás azonban azonnal megszűnik, ha figyelembe vesszük, hogy vertikális irányvonalkülpontosság fennállásakor a megirányzott  $D$  pont magassági szögére a helyes  $\alpha$  szög helyett a két távcsőállásban egymástól eltérő  $\alpha'_I$  és  $\alpha'_{II}$  hibás szöget mérünk. Ha a (33) képletbe a II. távcsőállásban érvényesülő ellentett előjelű ( $-\varepsilon_1$ ,  $-\varepsilon_2$ ,  $-e_h$ ,  $-e_v$ ) tengelyhibákat és a II. távcsőállásban való mérésnél nyert  $\alpha'_{II}$  mért magassági szöget helyettesítjük, ugyanakkora értékű, de ellenkező előjelű  $\delta_{II}$  teljes hibát kapunk, amekkorát ad a (33) képlet az I. távcsőállásban érvényesülő  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $e_h$ ,  $e_v$ , tengelyhibák és mért  $\alpha'_I$  magassági szög helyettesítésével.

A (33) alapján kiszámítottam és az alábbi táblázatban adom meg az  $\varepsilon_1$  kollimációhiba, az  $\varepsilon_2$  fekvőtengelyhiba, az  $e_h$  horizontális irányvonalkülpontosság és az  $e_v$  vertikális irányvonalkülpontosság különböző értékeinél az ezek hatására keletkező  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\delta_3$  és  $\delta_4$  oldalirányhiba-részhatásokat. A táblázat adataiból látjuk, hogy a vertikális irányvonalkülpontosság okozta  $\delta_4$  oldalirányhibarész értéke messze marad a többi tengelyhiba hatása mögött, de kis irányzási távolságnál és nagy magassági szögnél a műszer szögmérési hibáját felülmúlhatja. Különösen akkor lehet ez a hibahatás számottevő, ha a vertikális irányvonalkülpontosság igen nagy, mint például a régebbi típusú Hammer-féle redukáló

irányított két teodolithelyzet az  $OD$  függőleges síkjához képest szimmetrikus, ha csak az  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  és  $e_h$  előjele volna ellentett a két távcsőállásban, de az  $e_v$  előjele a két távcsőállásban azonos volna. Minthogy azonban az oldalirányhiba értéke nem változik meg, ha  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  és  $e_h$  értékeinek és előjelének, továbbá  $e_v$  abszolút értékének változatlansága mellett csupán az  $e_v$  előjelét változtatjuk meg, ezért mindkét távcsőálláson belül a  $+e_v$  külpontossághoz és a  $-e_v$  külpontossághoz tartozó két távcsőhelyzet szimmetrikus az  $AB$  fekvőtengely és a megírányzott  $D$  pont meghatározta síkhoz képest. Az I. és II. álláshoz tartozó teodolithelyzetek — magának a távcsőnek a kivételével — most is szimmetrikusak az  $OD$  függőleges síkjához képest. Ekként a két távcsőállásban kapott két mérési eredmény középértékének teljesen szigorú hibamentességét tisztán térszemléleti úton — bár sokkal nehezebben — akkor is be lehet látni, ha a vertikális irányvonalkülpontossággal is számolunk.

Vizsgáljuk meg a (24) kifejezést közelebbről és vegyük figyelembe, hogy az

$$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \frac{e_h}{t} \quad \text{és} \quad \frac{e_v}{t}$$

tengelyhibák kicsiny és pedig I. rendű kicsiny értékek. Fejtsük ki (24)-et a tengelyhibák második hatványait tartalmazó tagokig bezárólag.

A (17)-ből

$$\varepsilon_3 = \left(\frac{e_h}{t}\right) \varrho'' + \text{III. rendű tagok}, \quad (28)$$

a (20)-ből

$$\cos \varepsilon_4 = 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{e_v}{t}\right)^2 + \text{III. rendű tagok}, \quad (29)$$

a (19)-ből (28) és (29) behelyettesítésével

$$\Delta\alpha' = \left(\frac{e_v}{t}\right) \varrho'' + \text{III. rendű tagok}, \quad (30)$$

továbbá (23)-ből (28), (29) és (30) behelyettesítésével

$$\sin \alpha = \sin \alpha' + \left(\frac{e_v}{t}\right) \cdot \cos \alpha' + \text{II. rendű tagok}, \quad (31)$$

honnan

$$\cos \alpha = \cos \alpha' \left[1 - \left(\frac{e_v}{t}\right) \operatorname{tg} \alpha'\right] + \text{II. rendű tagok}. \quad (32)$$

Ha (28)-at, (29)-et, (31)-et és (32)-t behelyettesítjük (24)-be,

$$\delta = \frac{\varepsilon_1 - \left(\frac{e_h}{t}\right) \varrho'' - \varepsilon_2 \sin \alpha' - \varepsilon_2 \left(\frac{e_v}{t}\right) \cos \alpha'}{\cos \alpha' \left[1 - \left(\frac{e_v}{t}\right) \operatorname{tg} \alpha'\right]} + \text{III. rendű tagok},$$

### Összefoglalás

1. A teodolittal való vízszintes szögmérésnél az ismert és általában tárgyat tengelyhibákon kívül van még egy hasonló szabályos hibaforrás, az irányvonal vertikális külpontossága, amelynek azonban csak más tengelyhiba egyidejű jelentkezésekor van hatása az oldalirányra. Ez a hatás olyan kicsi, hogy az a jelenlegi műszereknél általában még nem érvényesül s csak igen rövid irányzási távolság és igen nagy magassági szög esetén haladja meg a mérési hibahatárt.

2. Egyszerű levezetést mutattunk be a kollimációhiba, a fekvőtengely merőlegességi hibája, az irányvonal horizontális külpontossága és az irányvonal vertikális külpontossága együttes oldalirányeltérítő hatásának pontos számszerű megállapítására. A levezetett képlet a tengelyhibák együttes hatásán kívül egyben megadja az egyes tengelyhibák egyenkénti iránymérési hibahatását is.

3. A tengelyhibáknak a vízszintes szögmérésre gyakorolt hibahatását csak akkor adja a lineáris hibatörvény a tengelyhibák 2. hatványáig bezáróan pontosan, ha az irányvonalnak nincs vertikális külpontossága. Ha ez a tengelyhiba is megvan, akkor a lineáris hibaképlet kevésbé pontos, mert elhanyagolja a tengelyhibáknak ez esetben nem nulla értékű második hatványait.

4. Megállapítottuk, hogy a teodolit két távcsőállításában mért két oldalirányérték számtani közepe teljes matematikai szigorúsággal mentes a kollimációhiba, a fekvőtengely merőlegességi hibája, az irányvonal horizontális külpontossága és az irányvonal vertikális külpontossága vízszintes szögmérési hibahatásától, bármily nagyok legyenek is ezek a tengelyhibák.

Úgy vélem, hogy e négy megállapítás csekély mértékben hozzájárulhat ahhoz, hogy a teodolittal való vízszintes szögmérés hibaforrásait és pontosságát elméleti vonatkozásban az eddiginél jobban feltárjuk és ezáltal a vízszintes szögmérés, valamint mérési eljárás megbízhatóságának és szabotosságának megítélésére még szilárdabb elméleti alapot biztosítsunk.

tahiméternél, ahol  $e_v = 40 \text{ mm}$  [7]. Ennél a műszernél annál is inkább van jelentősége a vertikális irányvonalkülpontosság hibahatásának is, mivel ezzel a műszerrel csak egy távcsőállásban lehet mérni.

Ugyanígy a »Zeiss RDH« jelű korszerű redukáló tahiméternél is számottevő az irányvonala vertikális külpontossága ( $e_v = 23 \text{ mm}$ ).

Az  $\varepsilon_1$  kollimációhiba,  $\varepsilon_2$  fekvőtengely merőlegességi hiba,  $e_h$  horizontális irányvonalkülpontosság,  $e_v$  vertikális irányvonalkülpontosság okozta  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$  oldalirányhibarészek értékei különböző  $t$  ferde irányzási távolság és  $\alpha'$  mért magassági szög esetében.

1) ha  $\varepsilon_1 = 10'$ ,  $\varepsilon_2 = -10'$ ,  $\frac{e_h}{t} = -10^{-3}$ ,  $\frac{e_v}{t} = 10^{-3}$ .

$\alpha'$	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$
0	10'	0	3'26,26''	0,6''
45°	14'8,53''	10'	4'51,70''	2,34''
80°	57'35,2''	56'42,77''	19'47,83''	46,29''
85°	1°54'44,23''	1°54'18,03''	39'26,62''	3'04,78''
89°	9°32'59,22''	9°32'53,98''	3°18'58,71''	44'6,67''

2) ha  $\varepsilon_1 = 1'$ ,  $\varepsilon_2 = -1'$ ,  $\frac{e_h}{t} = -2 \cdot 10^{-4}$ ,  $\frac{e_v}{t} = 2 \cdot 10^{-4}$

$\alpha'$	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$
0	1'	0	41,25''	0,01''
45°	1'24,85''	1'	58,34''	0,05''
80°	5'45,52''	5'40,26''	3'57,56''	1,05''
85°	11'28,42''	11'25,80''	7'53,22''	4,24''
89°	57'17,92''	57'17,39''	39'33,74''	1'39,30''

3) ha  $\varepsilon_1 = 20''$ ,  $\varepsilon_2 = -20''$ ,  $\frac{e_h}{t} = -10^{-4}$ ,  $\frac{e_v}{t} = 10^{-4}$

$\alpha'$	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$
0	20,00''	0	20,63''	0,002''
45°	28,28''	20,00''	29,17''	0,01''
80°	1'55,17''	1'53,43''	1'58,78''	0,19''
85°	3'48,16''	3'48,60''	3'56,66''	0,79''
89°	19'5,90''	19'5,80''	19'41,88''	19,91''

IRODALOM

[1] Oltay Károly: Geodézia. 1951. év 238—239. oldalai.  
 [2] dr. Fialovszky: A geodéziai műszerekről. 1952. év 77—78. oldalak.  
 [3] Jordan—Eggert: Handbuch der Geodäsie 9. kiadás. II/I. kötet 78. o.  
 [4] Jordan—Eggert: Handbuch der Geodäsie 9. kiadás. II/I. kötet 358. o.  
 [5] Ehrenfeucht: Zur Theorie der Theodoliten. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen 1908. évf.  
 [6] dr. Fialovszky: A geodéziai műszerekről 1952. év 95—97. oldalak.  
 [7] Oltay: Geodézia. 1951. év 343—344. oldal.



**A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK RENDEZÉSÉBEN  
AZ 1952. ÉV SZEPTEMBER—DECEMBER HÓNAPOKBAN TARTOTT  
KONGRESSZUSOKON, ANKÉTON ELHANGZOTT ELŐADÁSOK**

**SZÉN BÁNYÁSZATI KONGRESSZUS, BUDAPEST 1952. SZEPT. 8. 9. 10.**

<i>Tarján Gusztáv :</i>	Megnyitó.
<i>Esztó Péter :</i>	A magyar kőzetnyomás és kőzetmozgás kutatás eredményei.
<i>Horváth József :</i>	Biztonsági pillérek lefejtésével kapcsolatos kőzetmozgások.
<i>Lukács Lajos :</i>	Frontfejtések telepítési feltételei szénbányászatunkban.
<i>Péczely Antal :</i>	Frontfejtéseink gépesítése.
<i>Ajtay Zoltán :</i>	Fejtő-, réselő- és rakodógépek hazai alkalmazásának kritikai vizsgálata.
<i>Kankovszki Bogumil :</i>	BČs-1 rakodógép működésének leírása.
<i>Korbuly János :</i>	Az F-4 fejtőgép gépszerkezeti vizsgálata.
<i>Boldizsár Tibor :</i>	Üzemi kísérletek a Petőfi-fejtőgéppel.
<i>Kóta József :</i>	Időtényezők szerepe a robbantásban.
<i>Esztó Péter :</i>	A Komló-zobáki akna üzemének bányaklima kérdései.
<i>Vankó Richárd :</i>	A Komló-zobáki függőleges akna szállítóberendezése.
<i>Salustowicz Antal :</i>	A lengyel tudomány eredményei a fejtések közelében fellépő kőzetnyomások és kőzetmozgások vizsgálata terén.
<i>Pál István :</i>	Sujtóléghiztos villamos berendezések alkalmazása és üzeme.
<i>Karády Győző :</i>	Sujtóléghiztos villamos berendezések szerkesztése, gyártása és sujtóléghiztosági vizsgálata.

**ALFÖLDI FÖLDTANI KONGRESSZUS, BUDAPEST**

1952. szept. 26. 27.

<i>Vadász Elemér :</i>	Kongresszusi megnyitó.
<i>Mihályi Pálné :</i>	A magyarországi löszváltozatok és egyéb hullóporos képződmények osztályozása.
<i>Földváryné Vogl Mária :</i>	Alföldi vörösapagy és löszminták ásványainak termikus vizsgálata.
<i>Stefanovits Pál :</i>	Az alföldi talajnemek eredete.
<i>Rónai András :</i>	Alföldi talajvízproblémák.
<i>Szebényi Lajos :</i>	A Petőfi-bánya vízföldtana.
<i>Oszlaczky Szilárd :</i>	A nagyalföldi geofizikai kutatások eredményeinek áttekintése.
<i>Bulla Béla :</i>	Az Alföld felszíni alakulása.
<i>Kriván Pál :</i>	A pleisztocén földtörténeti ritmusai.
<i>Kretzói Miklós :</i>	A negyedkor taglalása a gerinces fauna alapján.
<i>Miháltz István :</i>	Az Alföld negyedkori üledékeinek szintezése.
<i>Rosku Márton :</i>	A magyarországi negyedkor régészeti taglalása.
<i>Vadász Elemér :</i>	Kongresszusi záróbeszéd.

**SZERSZÁMGÉPÉSZETI KONGRESSZUS, BUDAPEST**

1952. október 5—9-ig.

<i>Biró Ferenc :</i>	Megnyitó.
<i>Hornung Andor :</i>	A forgácsolás elméletének jelenlegi állása.
<i>Hubert Gusztáv :</i>	Szerszámgépek jellemző adatainak meghatározása technológiai igénybevételük alapján.

- Kelemen András* : Szerszámgépek fejlesztésének irányai.  
*Morvay György* : Szerszámgépek villamos berendezéseinek fejlődése.  
*Góhér Mihály* : Váltakozó áramú motorhajtások tervezése, különös tekintettel a szabványmotorok alkalmazására.
- Kelemen Tibor* : Szabályozható fordulatszámú egyen- és váltakozó áramú motorhajtások szerszámgépeken.  
*Berthold Horst* : Fokozat nélküli mechanikai szerszámgépmeghajtás.  
*Lomb Pál* : Szerszámgépek villamos berendezésének átvételi és vizsgálati kérdései.  
*Pogány Tibor* : A forgácsoló szerszámok leghelyesebb élkiképzésének elvei.  
*Makádi András* : Az első érintkezési pont helyzetének hatása a marókés éltartósságára és meghatározása grafikus módszerekkel.  
*Sasi Nagy István* : Lefejtőmarók fejlődésének jelenlegi állása.  
*Lechner Egon* : A gyártásmódok gazdasági összehasonlítása mérethűség és felületi simaság szempontjából.  
*Barna György* : Fémek elektromos megmunkálásának elméleti és gyakorlati kérdései.  
*Hargitay Sándor* : Szerszámgép öntvények helyes öntéstechnológiai kialakítása.  
*Biernawski Witold* : A forgácsolás elmélete.  
*Prikryl Zdenek* : Gyorsvágással végzett esztergálás.  
*Tlustý Jiri* : Szerszámgépek öngerjesztett rezgései.

## SZÁRÍTÁSI ANKÉT, BUDAPEST

1952. okt. 11—nov. 5.

- Kiss Árpád* : Megnyitó.  
*Endrényi Sándor* : A szárítás termodinamikája.  
*Kőrössi Ferenc* : A szárítás fiziko-kémiai vonatkozásai.  
*Vajda Ödön* : A szárító rendszerek elmélete.  
*Kunos Kornél* : Szárítás a papíriparban.  
*Lehr Ferenc* : Szárítás a textiliparban.  
*Salamon Marion* : Szárítás a faiparban.  
*Fehér István* : Szárítás a bőriparban.  
*Spanyár Pál* : Szárítás az élelmezésiparban.  
*Csürös Zoltán* : Az ankét eredményeinek összefoglalása.

## ÉPÍTÉSI KONGRESSZUS, BUDAPEST

1952. okt. 16—18-ig.

- Mihailich Győző* : Elnöki megnyitó.  
*Palotás László* : Hazai heterogén cementek felhasználása az építőiparban.  
*Rudnai Gyula* : Könnyű építőanyagok. Pernyesalak.  
*Mokk László* : Helyszíni előregyártás ipari vonalon.  
*Gnädig Béla* : Utófeszítés és helyszíni előregyártás, különös tekintettel a hídszerkezetekre.  
*Henn Walter* : Előregyártott vasbetonelemeknél megengedett túrések.  
*Ócsvár Rezső* : A nagytömegű monolithbeton készítési módszerei, gépesítési szempontból.  
*Lewiczki Ernst* : Legújabb tapasztalatok és felismerések az előregyártott vasbeton építőelem szerelési módja terén.  
*Menyhárd István* : A törési elmélet alkalmazása körhenger alakú vasbeton folyadék-tartályok méretezésére.  
*Gyengő Tibor* : Vasbetonszerkezetek plasztikus méretezési eljárásának kísérleti alátámasztása.  
*Nowacki Waclaw* : Az ortotrop lemezek elméletének néhány problémája.  
*Olsac Waclaw* : Az ortotrop lemezek statikájának problémáiról a plasztikus tartományban.  
*Hruban Konrad* : A plaszticitás kérdései.  
*Mihailich Győző* : Elnöki zárszó.

## MÉRÉSTECHNIKAI KONGRESSZUS, BUDAPEST

1952. nov. 8, 9, 10, 11.

- Hevesi Gyula* : Megnyitó.  
*Kolos Richárd* : A mérés technika és mérés tudomány alapvető problémái az iparfejlesztési tervek szempontjából.  
*Berndt Wilhelm* : Idomszerek, vagy készülékek a cserélhetőség elvének betartása szempontjából.  
*Bernolák Kálmán* : Vékonyfalú üvegedények falvastagságának mérése.  
*Botka Pál* : Interferenciás mérő módszer alkalmazása az iparban.  
*Szilás László* : Fotoelasztikus mérő módszerekről és alkalmazásairól.  
*Ács Ernő* : Impulzus rendszerű távmérések.  
*Boromissza Gyula* : Relais automatika.  
*Cukrász Zoltán* : Áthidalt és kettős T-hálózat mérés technikai alkalmazása.  
*Tyczynski Zsigmond* : Elektronikus  $p_H$  mérők.  
*Stepán László* : Hitelesítő mérőhidak.  
*Leutwein Friedrich* : Spektrálanalízis kérdéseinek új kísérleti eredményei.  
*Török Tibor* : Fémipari színképelemzés fejlődési irányai.  
*Szántó István* : Feszültség mérés Röntgen-sugarakkal.  
*Ránky Miklós* : Keménység mérés.  
*Gerendás Mihály* : Az elektronmikroszkóp és gyakorlati alkalmazása.  
*Beczkóy József* : Áramlásmérés és kazánszabályozás.  
*Lányi Béla* : Vegyi laboratóriumi és vegyüzemi mérések pontossági kérdései.  
*Lukács Gyula* : Minőségellenőrzés színméréssel az élelmiszeriparban.  
*Nagy Iván* : A vegyipari automatizálás kérdései.  
*Eder Franz* : A legpontosabb mágneses térerősség mérés magindukciós eljárással.  
*Tárczy-Hornoch Antal* : Egy intézeti műhely a műszerellátás szolgálatában.

## HULLADÉKHŐENERGIAI KONGRESSZUS, BUDAPEST

1952. nov. 21—23.

- Herczegh Ferenc* : Megnyitó.  
*Lévay András* : Másodlagos hőenergiaforrások hasznosítása.  
*Heller László* : Új termodinamikai lehetőségek villamosenergia fejlesztésére hulladék-hőenergiából.  
*Erdélyi István* : A hőszivattyú szerepe a hulladékenergia hasznosításában.  
*Gábor László* : Füstgázhasznosító kazánok.  
*Pauer Walter* : Hőkicsérelő gazdaságossági szempontok szerint végzett méretezésre vonatkozó elvi megfontolások.  
*Sánta Antal* : Hulladék hő-hasznosító berendezések melegvíz vagy gőz termelésére.  
*Benes Zoltán* : Léghevítő berendezések a hulladékenergia-hasznosítás szolgálatában.

## Előadások megvitatása :

- Honti György : A vegyészeti ipar részéről.  
 Sasvári György : Az építőanyagipar részéről.  
 Radványi Jenő : A kohászati ipar részéről.  
 Oplatka György : A mezőgazdasági ipar részéről.  
 Havas László : A textilipar részéről.

## HIDROLÓGIAI ÉS METEOROLÓGIAI KONGRESSZUS, BUDAPEST

1952. nov. 26—29-ig.

- Vendl Aladár* : Megnyitó.  
*Mosonyi Emil* : A hidrológiai és meteorológiai kutatás hazai feladatai.  
*Mazalán Pál* : A mélységi hidraulika módszereivel elért újabb eredmények.  
*Lampl Hugó* : A talajvízszint-süllyesztés tudományos kérdései, különös tekintettel a hazai talajviszonyokra.  
*Schmidt-Eligius Róbert* : Az artézi kutak problémái.  
*Bogárdi János* : Az alföldi talajvíz állás-változások vizsgálatának módszertani kérdései.

- Németh Endre* : Invariáns számok szerepe kismintakísérleteknél.  
*Mosonyi Emil* : A méretarány szerepe a kismintakísérleteknél.  
*Szilágyi Gyula* : Mozgómedrű folyók modellkísérlete.  
*Töry Kálmán* : A vízrajzi kutatás fejlesztése a folyószabályozás érdekében.  
*Lászlóffy Woldemár* : A kis vízfolyások hozamának meghatározására szolgáló módszerek.  
*Fazekas Károly* : Folyamatos észlelések a vízrajzban és az ehhez szükséges műszerek.  
*Papp Szilárd* : A víz agresszív tulajdonságainak megállapítására vonatkozó eljárások.  
*Maucha Rezső* : A helyszíni kémiai vízvizsgáló módszerek alapelvei.  
*Bolberitz Károly* : Statisztikai, matematikai módszerek a vizek higiéniai elbírálásánál.  
*Páter János* : Ízrontó alkotórészek szerepe az ivóvíz egészségügyi elbírálásában.  
*Lesenyey József* : Szempontok az ipari szennyvizek vizsgálatánál.  
*Szabó Zoltán* : Módszerek a városi szennyvíztisztító berendezések működőképességének elbírálására.  
*Béll Béla* : A magyar aerológiai obszervatórium kutató munkájának időszerű kérdései.  
*Konczek Nikolas* : Zuzmaraképződési mérések a Lomnici-csúcson.  
*Berkes Zoltán* : A távidőjelzés kérdései Magyarországon.  
*Ozorai Zoltán* : Energiaváltozások szétterülő hideg légtömegben.  
*Aujeszky László* : A függőleges légoszlop energetikájának új tétele.  
*Schulhof Ödön* : Az orvosi meteorológia és klimatológia újabb vizsgálati módszerei.  
*Berényi Dénes* : A vetéssorok égtáji irányításának hatása a mezőgazdasági növények állományklimájára.  
*Bacsó Nándor* : A hőmérsékleti szélsőségek Magyarországon és kiértékelésük a növénytelepítés céljaira.  
*Fekete Zoltán* : Az aszály elleni küzdelem talajtani szempontjai.  
*Dobosi Zoltán* : Egy mikroklímatis jelenség értelmezése a talajfelszín hőháztartása alapján.  
*Takács Lajos* : A magyarországi talajok hógazdálkodása növényhonosítási szempontból.  
*Vendl Aladár* : Elnöki zárzó.

#### KÜLÖN RENDEZETT FELOLVASÓ ÜLÉSEK ÉS VITAESTEK KERETÉBEN ELHANGZOTT ELŐADÁSOK

- Okt. 14. *Tarján Gusztáv* : Adalékok az ülepítés klasszikus elméletéhez. (Székfoglaló.)  
 Nov. 4. *Széchy Károly* : Újszerű hídfők tervezési és építési feladatai. (Székfoglaló.)  
 Nov. 12. *Eisler János* : Szigetelési szintek koordinációja. (Beszámoló a VKB munkájáról.)  
 Nov. 18. *Gerő László* : A budai vár helyreállítása, műemléki problémái.  
 Nov. 19. *Egyed László* : Mélytengeri árkok és az azokat kísérő geofizikai jelenségek.  
 Okt. 21. *Szádeczky-Kardoss Elemér* : Előadások az elemek geokémiai migrációjáról.

I. Az ionfajsúly és annak geokémiai földtani szerepe.  
(Kálmán György, Balkai Bálint, Deákné Thoma Blanka közreműködésével.)

#### II. A magnaprovinciák elkülönülése.

- Dec. 3. *Istvánffy Edvin* : Ferromágneses anyagok híradástechnikai és egyéb alkalmazásai.  
 Dec. 4. *Gruber József* : Áramlások vizsgálata radiális járókerekekben.  
 Dec. 10. *Szádeczky-Kardoss Elemér* : Tanulmányok az elemek geokémiai migrációjáról.

#### III. Az ionfajsúlyok és az átalakult kőzetek képződése.

- Földváriné Vogl Mária—Kliburszky Béla* : Új elvi szempontok a differenciális és termikus elemzés elméletéhez és gyakorlatához.  
 Dec. 12. *Rázsó Imre* : Traktorok hajtókerekeinél fellépő veszteségek.  
 Dec. 16. *Prohászka László* : Diesel-szivattyúk hazai gyártása. (Vitaülés.)



## K Ö N Y V S Z E M L E

*Verő József:*

ÁLTALÁNOS METALLOGRÁFIA I. köt. Akadémiai Kiadó 1952.

A könyv első kötete a két kötetre tervezett általános metallográfiának, egyben a második kiadása a szerző 10 évvel ezelőtt megjelent metallográfiájának. Amíg azonban az utóbbi egyetemi tankönyvnek készült, az új kiadás jóval több annál, mert nagyon jól használhatja az üzemi mérnök és mindenki, akinek a fémekkel dolga akad. A mű beosztása nagyjából egyezik a világ-irodalomban különböző nyelveken megjelent hasonló tárgyú könyvekével. Bevezetőben áttekintést nyújt a metallográfia történetéről, igen részletesen foglalkozik a fémek és ötvözetek szerkezetével, ismerteti a diffúziós jelenségeket, a szerkezet vizsgálatára alkalmas módszereket, ú. m. a termikus analízist és a mikroszkópi vizsgálat és végül a Röntgen-vizsgálat módszereit.

A munka természeténél fogva nem lehet minden részében új, hiszen olyan ismereteket tárgyal, amelyeknek létrejöttében sokan közreműködtek, azonban mégis számos helyen eredeti és tárgyalási módja teljesen egyéni; a nagyszámú ábra legtöbbször is ilyen elgondolás szerint készült. A több, mint 200 szövegkép legnagyobb része szintén eredeti és igen szép felvétel.

*Schleicher Aladár*

*C. C. Feldman:*

PRECIZIÓS ÖNTÉS. Akadémiai Kiadó, 1952. 152 oldal, 164 ábra.

A finommechanikai és elektromos ipar, a szerszám- és műszergyártás, járművek (gáz-turbinák, autók, repülőgépek) nagyszámú kényes és fontos alkatrészének előállítása — eltekintve most a kisipari jellegű alkalmazástól (ékszer- és fogtechnikai ipar) — ennek az eljárásnak széleskörű elterjesztését kívánják. Ehhez azonban szükséges egy olyan szakkönyv, mely a gyártás minden fázisára kiterjeszkedve, az elméletet és gyakorlatot szükséges részleteiben feldolgozza, az érdeklődést felkelti és kimerítő eligazítást nyújt a gyártással foglalkozók, megismerkedni kívánók és termékeit felhasználók számára egyaránt. Feldman könyve erre mindenképpen alkalmas. Az olvasót nem riasztja el túlzott terjedelemmel, de azért kellő részletességgel tárja fel a 16 műveleti szakaszra felosztható gyártás problémáit, melyek a Szovjetunió másfél évtizedes gyártási tapasztalatai révén kerültek felszínre.

A könyv 9 fejezete ezt a célt kifogástalanul betölti, s minden részletében az avatott szakember munkájáról tanúskodik. Az olvasó mindjárt a bevezető fejezetben érdeklődéssel látja a nagypontosságú öntés adta méret- és súlytűrések reális lehetőségeit, a művelettervezés irányelveit.

A sorra ezután következő fejezetek az említett 16 műveleti szakaszon példák és jól kiválasztott ábrák nagy számával haladnak végig, nem mellőzve az anyagtakarékosság és helyettesítő anyagok kérdéseit. Így mindjárt a présformák elkészítésénél az enyvből és mágumból készült megoldások érdemelnék figyelmet. Igen részletesen ismerteti ezt követően a viaszminták anyagának, öntésének és kikészítésének minden részletét. Ehhez csatlakozólag a beömlőrendszernek kialakítása ugyancsak számszerű adatokkal és ábrákkal ad jó eligazítást.

A könyv V. fejezete a gyártás döntő fontosságú kérdésével, a formaanyaggal foglalkozik, melynek ennél az öntészeti ágán valóban legnagyobb a jelentősége. Talán az egész mű legkiemelkedőbb része a kötőanyagokkal, főleg az etilszilikáttal foglalkozó, elméletileg is jól feldolgozott szakasz.

Az öntőformák, rázóberendezések és viaszkiolvasztás. formakiállítás után a fémek (vas-, acél-, réz- és alótvözetek) olvasztása, kemencéi, öntési eljárásai kapnak kielégítő részletességű ismertetést. Ez a fejezet természetesen feltételezi az olvasztó eljárások alapelveinek ismeretét. Itt a centrifugáló és vákuumöntés is figyelmet érdemel.

Igen részletes a nagypontosságú öntvények tulajdonságait és ellenőrzését, öntési hibáit tárgyaló fejezet, melynek második része szövet-felvételek jelentős számával ad képet az

elérhető minőségekről, így az e célra kevésbé ismert fémötvözetek (Mn és Si-bronzok), de az ötvözött acélöntvények vonalán is.

A »Végkövetkezések« az automatizálási lehetőségek mellett a gyártás által elérhető megtakarításokról is tájékoztatást adnak.

A könyv fordítása műszaki helyesség, Magyarország szempontjából általában kielégítő. Az eljárás »precíziós öntés« elnevezésének azonban a »nagypontosságú öntés« már évekkel ezelőtt, Vécsey Béla által bevezetett megjelölésével szemben, kár volna begyökeresednie. Helyes lenne ezt a kérdést is a műszaki nyelvünk észszerű magyarosításának egyéb problémáival együtt dűlőre hozni. Egyhelyütt C<sup>10</sup> H<sup>16</sup> képleten akad meg a szem. A »leöntési rendszer«-nek van már jó magyar szava: a beömlő rendszer, hasonlóan az »öntöző« (?) szekrény helyesen formaszekrény. A »ha . . . úgy . . .« kapcsolatnál a »ha . . . akkor . . .« magyarosabb, hasonlóan a »szilárdsággal bír« és »felöntés alatt értjük« helyett szilárdsága van és szívófenén értjük. Az előszóban szereplő »nyomáseelőtti« öntés milyen eljárást jelenthet?

Mindezek nem értelemzavaróak s a könyv bizonyára megérdemelten eljut a szerző által jelzett öntőipari mérnökök és technikusok körén túl a felhasználó iparágak szerkesztői, technológusai kezébe is és hozzájárul ahhoz, hogy a nagypontosságú öntés széleskörűen elterjedve számos iparágunk jól hasznosított termékévé váljék.

A gazdag ábraanyagon kívül említést érdemel még a könyv szép kiállítása s az Akadémiai nyomda gondos munkája is.

Kőrös Béla

Dr. Pattantyús Á. Géza :  
GÉPÉSZETI LENGÉSTAN

Lengési folyamatok a műszaki gyakorlatban. 264 oldal, 92 ábracsoport, 56 kidolgozott számpélda. Akadémiai Kiadó 1952.

A munka a gépészmérnöki gyakorlatban előforduló lengési folyamatokat újszerű csoportosításban tárgyalja. A tervezői és üzemi gyakorlat különböző területeiről összeválogatott lengéstanai fejezetek tárgyalási módja a klasszikus lengéstantól főleg a megoldási módszereknek a mindenkor kitűzött műszaki célhoz igazodó választásában tér el. Kiterjeszkedik számos oly lengési folyamat tárgyalására is, amelyek a klasszikus lengéstan tárgykörébe nem sorozhatók. Ilyenek például a dugattyús erőgépek, szabaddőketű gépek, szállítógépek, lengősziták, vagy általában a forgattyús hajtóművek különféle változatai.

Az analitikai módszerek helyett sok esetben a grafikus eljárások alkalmazása volt indokolt, mert éppen azoknak a tényezőknek figyelembevételére volt szükség, amelyeket a matematikai tárgyalás lehetősége miatt el kellett volna hanyagolni. A könyvet éppen e grafikus módszerek kidolgozása és alkalmazása teszi értékessé. A könyvből számos új szerkesztési eljárást ismerünk meg, amelyek szemléletes megoldást adnak bonyolult lengési folyamatok lefolyásáról.

A könyv a klasszikus lengéstan tárgybeosztásától eltérően hét részre tagozódik:

Az I. rész *áttekintést* ad a tárgycsoportosításról és a megoldási módszerekről.

A II. rész a tömeg előírt ütemű lengőmozgását, vagy más szóval: a *gerjesztők* mozgástörvényeit tárgyalja. Figyelemre méltó a bütykös tárcsás hajtóművek szabatos vizsgálatára alkalmazott helyettesítő módszer és kis fogszámú lánchajtás mozgáselemzése. Ez a fejezet tárgyalja a különösen felékelt forgó tömegnek és a dugattyús szivattyú légüstjében lengő víztükörnek mozgástörvényeit is.

A III. rész a tömegnek szabad ütemű lengőmozgásával foglalkozik. Ebbe a fejezetbe illeszkedik az ingákon és a rugós ingákon kívül a vezérelt külsőerők hatására lengő mozgást végző szabaddőketű gépek újszerű energetikai vizsgálata is.

A IV. rész a klasszikus lengéstantól eltérően a gerjesztő és a lengő tömeg között lehetséges állandó vagy hézagos kapcsolat szerint csoportosítja a lengőrendszereket és megkülönböztet merev, rugalmas és hézagos kapcsolatot. A merev kapcsolat fejezetébe illeszkedik a forgattyús hajtómű lendítő erőinek és a Taylor—Schlich-féle tömegkiegyenlítésnek tárgyalása, továbbá a dugattyús szivattyúk szelepelmelkedési törvénye. A megszakított rugalmas kapcsolat keretében ismerteti a szerző a rugóra ejtett tömegnek szabaddőketű és végül a sűrűlódó kapcsolat keretében találunk újszerű grafikus módszereket a lengőszita, lengővályú és rázócsatorna mozgástörvényeinek szabatos vizsgálatára is.

Az V. rész nagy részletességgel foglalkozik a szabad lengések csillapításának háromféle módjával. Szabatos és közelítő szerkesztési módszereket ismertet a lengési folyamat jellemzőinek meghatározására. Különös részletességgel foglalkozik az erősen csillapított lengőrendszer kúszó mozgásával, valamint a víztükörnek a sebesség négyzetével csillapodó lengéseivel. Az itt ismertetett számítási és szerkesztési módszerek külföldi viszonylatban is figyelmet érdemelnek.

A VI. rész a kényszerített vagy gerjesztett lengésekkel foglalkozik nagy részletességgel és kiterjeszkedik a háromféle csillapítás befolyására is. Ezt a részt zárja le a tengely kritikus

fordulatszámát és a gyorsjárású gépek forgórészének kiegyensúlyozását tárgyaló két rövid fejezet is.

Végül a VII. rész a harmonikus elemzés elvét ismerteti egy szerkesztési eljárás és egy táblázatos számítási módszer bemutatása kapcsán.

A könyv értékét és használhatóságát emeli az egyes fejezetek végére iktatott 56 kidolgozott számpélda is.

Kár, hogy a szerző villamos rezgések analógiáját nem aknázza ki és tisztán a mechanikai és az áramlástanban lengési folyamatok tárgyalására szorítkozik. Egy bővített második kiadásba előnyösen volna beilleszthető a többtömegű lengőrendszerek részletesebb tárgyalása is.

Végül még ki kell emelnem a könyvnek gondos szedését és tiszta ábráit is. Az Akadémiai Kiadó és az Akadémiai nyomda elismerésre méltó munkáját dicséri a könyv szép kiállítása.

*Vörös Imre*

A kiadásért felel: Mestyán János

Műszaki felelős: Farkas Sándor

Kézirat beérkezett: 1953. II. 10. — Trejedelem: 32<sup>1</sup>/<sub>2</sub> (A/5) ív, 1 melléklet, 132 ábra

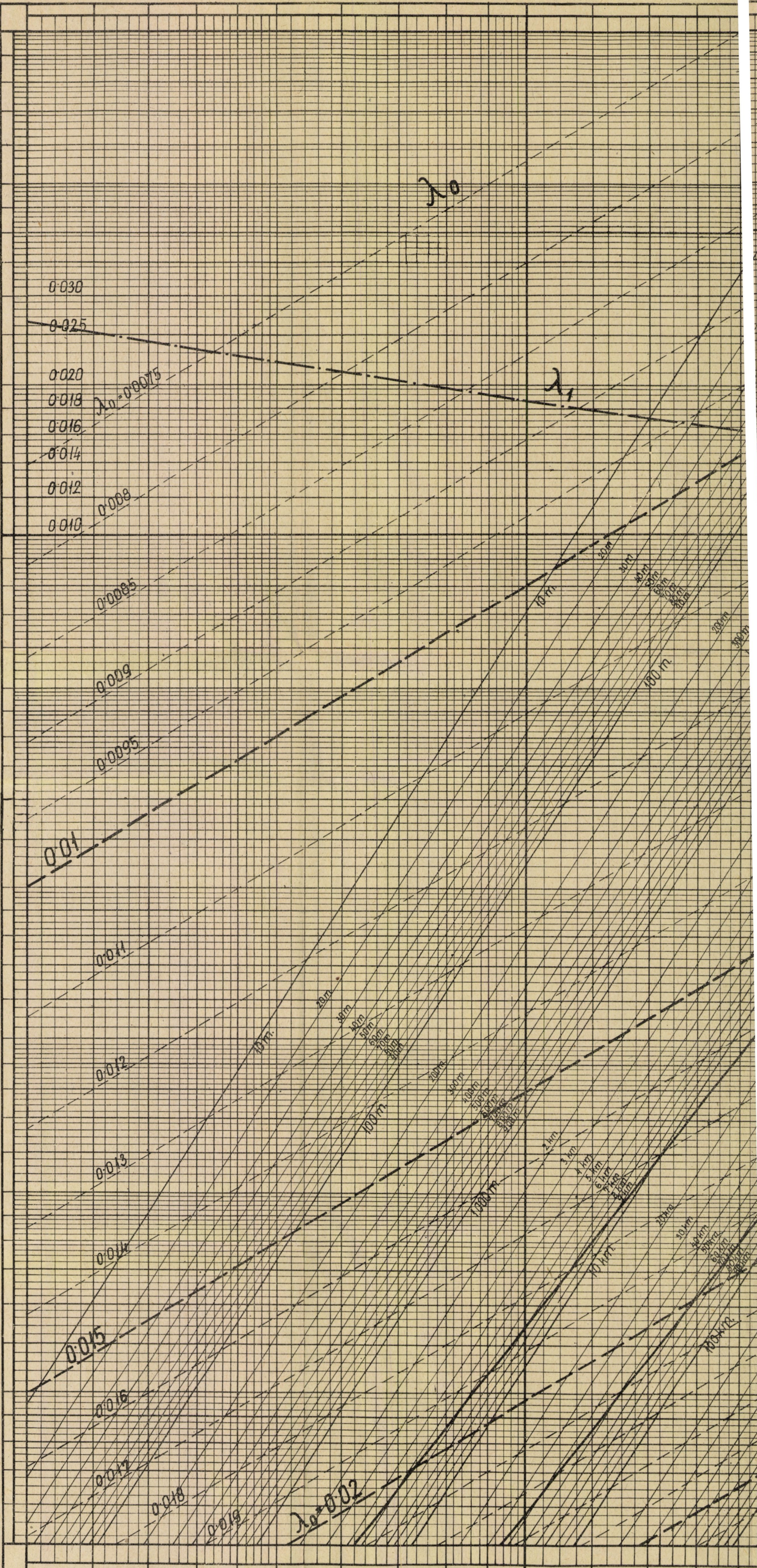
---

Akadémiai nyomda, Budapest, V., Gerlőczy-u. 2. — 23034/53 — Felelős vezető: ifj. Puskás Ferenc



Vezetőképeség  $\epsilon$  - Gázáram erősség  $Q_{\text{normál}} \text{ m}^3/\text{óra}$

100.000  
90.000  
80.000  
70.000  
60.000  
50.000  
45.000  
40.000  
35.000  
30.000  
25.000  
20.000  
18.000  
16.000  
14.000  
12.000  
10.000  
9.000  
8.000  
7.000  
6.000  
5.000  
4.500  
4.000  
3.500  
3.000  
2.500  
2.000  
1.800  
1.600  
1.400  
1.200  
1.000  
900  
800  
700  
600  
500  
450  
400  
350  
300  
250  
200  
180  
160  
140  
120  
100



25 3 35 4 45 5 6 7 8 9 10 12 14 16 18

Cső belső átmérője  $d$  cm

15. ábra.  
Varrat nélküli acél csővezetékek vezetőképessége  
 $Q_{\text{h}}$  határ gázáram-erősség száraz földgázra —  $Q_{\text{h}}$  határ gázáram-erősség  
A diagrammot az alábbi adatok alapján készítettük:  
Az áramló gáz levegőre vonatkoztatott fajlósága 0,65, abszolút viszkozitása  $1,8 \cdot 10^{-4}$  Poise, hőmérséklete  $+9^\circ\text{C}$ ; A csővek abszolútérősségi mértékcsúszása  $+0,03$  mm, normál

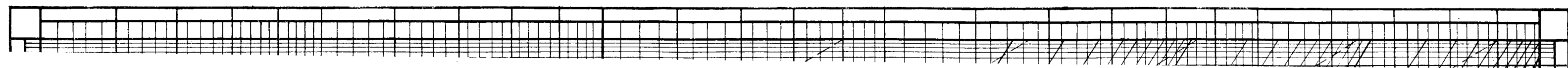


20 25 30 35 40 45 50 60 70 80 90 100

10<sup>5</sup>  
9 · 10<sup>4</sup>  
8 · 10<sup>4</sup>  
7 · 10<sup>4</sup>  
6 · 10<sup>4</sup>  
5 · 10<sup>4</sup>  
4,5 · 10<sup>4</sup>  
4 · 10<sup>4</sup>  
3,5 · 10<sup>4</sup>  
3 · 10<sup>4</sup>  
2,5 · 10<sup>4</sup>  
2 · 10<sup>4</sup>  
1,8 · 10<sup>4</sup>  
1,6 · 10<sup>4</sup>  
1,4 · 10<sup>4</sup>  
1,2 · 10<sup>4</sup>  
10<sup>4</sup>  
9 · 10<sup>3</sup>  
8 · 10<sup>3</sup>  
7 · 10<sup>3</sup>  
6 · 10<sup>3</sup>  
5 · 10<sup>3</sup>  
4,5 · 10<sup>3</sup>  
4 · 10<sup>3</sup>  
3,5 · 10<sup>3</sup>  
3 · 10<sup>3</sup>  
2,5 · 10<sup>3</sup>  
2 · 10<sup>3</sup>  
1,8 · 10<sup>3</sup>  
1,6 · 10<sup>3</sup>  
1,4 · 10<sup>3</sup>  
1,2 · 10<sup>3</sup>  
10<sup>3</sup>  
9 · 10<sup>2</sup>  
8 · 10<sup>2</sup>  
7 · 10<sup>2</sup>  
6 · 10<sup>2</sup>  
5 · 10<sup>2</sup>  
4,5 · 10<sup>2</sup>  
4 · 10<sup>2</sup>  
3,5 · 10<sup>2</sup>  
3 · 10<sup>2</sup>  
2,5 · 10<sup>2</sup>  
2 · 10<sup>2</sup>  
1,8 · 10<sup>2</sup>  
1,6 · 10<sup>2</sup>  
1,4 · 10<sup>2</sup>  
1,2 · 10<sup>2</sup>  
10<sup>2</sup>  
9 · 10<sup>1</sup>  
8 · 10<sup>1</sup>  
7 · 10<sup>1</sup>  
6 · 10<sup>1</sup>  
5 · 10<sup>1</sup>  
4,5 · 10<sup>1</sup>  
4 · 10<sup>1</sup>  
3,5 · 10<sup>1</sup>  
3 · 10<sup>1</sup>  
2,5 · 10<sup>1</sup>  
2 · 10<sup>1</sup>  
1,8 · 10<sup>1</sup>  
1,6 · 10<sup>1</sup>  
1,4 · 10<sup>1</sup>  
1,2 · 10<sup>1</sup>  
10<sup>1</sup>  
9 · 10<sup>0</sup>  
8 · 10<sup>0</sup>  
7 · 10<sup>0</sup>  
6 · 10<sup>0</sup>  
5 · 10<sup>0</sup>  
4,5 · 10<sup>0</sup>  
4 · 10<sup>0</sup>  
3,5 · 10<sup>0</sup>  
3 · 10<sup>0</sup>  
2,5 · 10<sup>0</sup>  
2 · 10<sup>0</sup>  
1,8 · 10<sup>0</sup>  
1,6 · 10<sup>0</sup>  
1,4 · 10<sup>0</sup>  
1,2 · 10<sup>0</sup>  
10<sup>0</sup>  
9 · 10<sup>-1</sup>  
8 · 10<sup>-1</sup>  
7 · 10<sup>-1</sup>  
6 · 10<sup>-1</sup>  
5 · 10<sup>-1</sup>  
4,5 · 10<sup>-1</sup>  
4 · 10<sup>-1</sup>  
3,5 · 10<sup>-1</sup>  
3 · 10<sup>-1</sup>  
2,5 · 10<sup>-1</sup>  
2 · 10<sup>-1</sup>  
1,8 · 10<sup>-1</sup>  
1,6 · 10<sup>-1</sup>  
1,4 · 10<sup>-1</sup>  
1,2 · 10<sup>-1</sup>  
10<sup>-1</sup>  
9 · 10<sup>-2</sup>  
8 · 10<sup>-2</sup>  
7 · 10<sup>-2</sup>  
6 · 10<sup>-2</sup>  
5 · 10<sup>-2</sup>  
4,5 · 10<sup>-2</sup>  
4 · 10<sup>-2</sup>  
3,5 · 10<sup>-2</sup>  
3 · 10<sup>-2</sup>  
2,5 · 10<sup>-2</sup>  
2 · 10<sup>-2</sup>  
1,8 · 10<sup>-2</sup>  
1,6 · 10<sup>-2</sup>  
1,4 · 10<sup>-2</sup>  
1,2 · 10<sup>-2</sup>  
10<sup>-2</sup>  
9 · 10<sup>-3</sup>  
8 · 10<sup>-3</sup>  
7 · 10<sup>-3</sup>  
6 · 10<sup>-3</sup>  
5 · 10<sup>-3</sup>  
4,5 · 10<sup>-3</sup>  
4 · 10<sup>-3</sup>  
3,5 · 10<sup>-3</sup>  
3 · 10<sup>-3</sup>  
2,5 · 10<sup>-3</sup>  
2 · 10<sup>-3</sup>  
1,8 · 10<sup>-3</sup>  
1,6 · 10<sup>-3</sup>  
1,4 · 10<sup>-3</sup>  
1,2 · 10<sup>-3</sup>  
10<sup>-3</sup>  
9 · 10<sup>-4</sup>  
8 · 10<sup>-4</sup>  
7 · 10<sup>-4</sup>  
6 · 10<sup>-4</sup>  
5 · 10<sup>-4</sup>  
4,5 · 10<sup>-4</sup>  
4 · 10<sup>-4</sup>  
3,5 · 10<sup>-4</sup>  
3 · 10<sup>-4</sup>  
2,5 · 10<sup>-4</sup>  
2 · 10<sup>-4</sup>  
1,8 · 10<sup>-4</sup>  
1,6 · 10<sup>-4</sup>  
1,4 · 10<sup>-4</sup>  
1,2 · 10<sup>-4</sup>  
10<sup>-4</sup>  
9 · 10<sup>-5</sup>  
8 · 10<sup>-5</sup>  
7 · 10<sup>-5</sup>  
6 · 10<sup>-5</sup>  
5 · 10<sup>-5</sup>  
4,5 · 10<sup>-5</sup>  
4 · 10<sup>-5</sup>  
3,5 · 10<sup>-5</sup>  
3 · 10<sup>-5</sup>  
2,5 · 10<sup>-5</sup>  
2 · 10<sup>-5</sup>  
1,8 · 10<sup>-5</sup>  
1,6 · 10<sup>-5</sup>  
1,4 · 10<sup>-5</sup>  
1,2 · 10<sup>-5</sup>  
10<sup>-5</sup>  
9 · 10<sup>-6</sup>  
8 · 10<sup>-6</sup>  
7 · 10<sup>-6</sup>  
6 · 10<sup>-6</sup>  
5 · 10<sup>-6</sup>  
4,5 · 10<sup>-6</sup>  
4 · 10<sup>-6</sup>  
3,5 · 10<sup>-6</sup>  
3 · 10<sup>-6</sup>  
2,5 · 10<sup>-6</sup>  
2 · 10<sup>-6</sup>  
1,8 · 10<sup>-6</sup>  
1,6 · 10<sup>-6</sup>  
1,4 · 10<sup>-6</sup>  
1,2 · 10<sup>-6</sup>  
10<sup>-6</sup>  
9 · 10<sup>-7</sup>  
8 · 10<sup>-7</sup>  
7 · 10<sup>-7</sup>  
6 · 10<sup>-7</sup>  
5 · 10<sup>-7</sup>  
4,5 · 10<sup>-7</sup>  
4 · 10<sup>-7</sup>  
3,5 · 10<sup>-7</sup>  
3 · 10<sup>-7</sup>  
2,5 · 10<sup>-7</sup>  
2 · 10<sup>-7</sup>  
1,8 · 10<sup>-7</sup>  
1,6 · 10<sup>-7</sup>  
1,4 · 10<sup>-7</sup>  
1,2 · 10<sup>-7</sup>  
10<sup>-7</sup>  
9 · 10<sup>-8</sup>  
8 · 10<sup>-8</sup>  
7 · 10<sup>-8</sup>  
6 · 10<sup>-8</sup>  
5 · 10<sup>-8</sup>  
4,5 · 10<sup>-8</sup>  
4 · 10<sup>-8</sup>  
3,5 · 10<sup>-8</sup>  
3 · 10<sup>-8</sup>  
2,5 · 10<sup>-8</sup>  
2 · 10<sup>-8</sup>  
1,8 · 10<sup>-8</sup>  
1,6 · 10<sup>-8</sup>  
1,4 · 10<sup>-8</sup>  
1,2 · 10<sup>-8</sup>  
10<sup>-8</sup>  
9 · 10<sup>-9</sup>  
8 · 10<sup>-9</sup>  
7 · 10<sup>-9</sup>  
6 · 10<sup>-9</sup>  
5 · 10<sup>-9</sup>  
4,5 · 10<sup>-9</sup>  
4 · 10<sup>-9</sup>  
3,5 · 10<sup>-9</sup>  
3 · 10<sup>-9</sup>  
2,5 · 10<sup>-9</sup>  
2 · 10<sup>-9</sup>  
1,8 · 10<sup>-9</sup>  
1,6 · 10<sup>-9</sup>  
1,4 · 10<sup>-9</sup>  
1,2 · 10<sup>-9</sup>  
10<sup>-9</sup>  
9 · 10<sup>-10</sup>  
8 · 10<sup>-10</sup>  
7 · 10<sup>-10</sup>  
6 · 10<sup>-10</sup>  
5 · 10<sup>-10</sup>  
4,5 · 10<sup>-10</sup>  
4 · 10<sup>-10</sup>  
3,5 · 10<sup>-10</sup>  
3 · 10<sup>-10</sup>  
2,5 · 10<sup>-10</sup>  
2 · 10<sup>-10</sup>  
1,8 · 10<sup>-10</sup>  
1,6 · 10<sup>-10</sup>  
1,4 · 10<sup>-10</sup>  
1,2 · 10<sup>-10</sup>  
10<sup>-10</sup>  
9 · 10<sup>-11</sup>  
8 · 10<sup>-11</sup>  
7 · 10<sup>-11</sup>  
6 · 10<sup>-11</sup>  
5 · 10<sup>-11</sup>  
4,5 · 10<sup>-11</sup>  
4 · 10<sup>-11</sup>  
3,5 · 10<sup>-11</sup>  
3 · 10<sup>-11</sup>  
2,5 · 10<sup>-11</sup>  
2 · 10<sup>-11</sup>  
1,8 · 10<sup>-11</sup>  
1,6 · 10<sup>-11</sup>  
1,4 · 10<sup>-11</sup>  
1,2 · 10<sup>-11</sup>  
10<sup>-11</sup>  
9 · 10<sup>-12</sup>  
8 · 10<sup>-12</sup>  
7 · 10<sup>-12</sup>  
6 · 10<sup>-12</sup>  
5 · 10<sup>-12</sup>  
4,5 · 10<sup>-12</sup>  
4 · 10<sup>-12</sup>  
3,5 · 10<sup>-12</sup>  
3 · 10<sup>-12</sup>  
2,5 · 10<sup>-12</sup>  
2 · 10<sup>-12</sup>  
1,8 · 10<sup>-12</sup>  
1,6 · 10<sup>-12</sup>  
1,4 · 10<sup>-12</sup>  
1,2 · 10<sup>-12</sup>  
10<sup>-12</sup>  
9 · 10<sup>-13</sup>  
8 · 10<sup>-13</sup>  
7 · 10<sup>-13</sup>  
6 · 10<sup>-13</sup>  
5 · 10<sup>-13</sup>  
4,5 · 10<sup>-13</sup>  
4 · 10<sup>-13</sup>  
3,5 · 10<sup>-13</sup>  
3 · 10<sup>-13</sup>  
2,5 · 10<sup>-13</sup>  
2 · 10<sup>-13</sup>  
1,8 · 10<sup>-13</sup>  
1,6 · 10<sup>-13</sup>  
1,4 · 10<sup>-13</sup>  
1,2 · 10<sup>-13</sup>  
10<sup>-13</sup>  
9 · 10<sup>-14</sup>  
8 · 10<sup>-14</sup>  
7 · 10<sup>-14</sup>  
6 · 10<sup>-14</sup>  
5 · 10<sup>-14</sup>  
4,5 · 10<sup>-14</sup>  
4 · 10<sup>-14</sup>  
3,5 · 10<sup>-14</sup>  
3 · 10<sup>-14</sup>  
2,5 · 10<sup>-14</sup>  
2 · 10<sup>-14</sup>  
1,8 · 10<sup>-14</sup>  
1,6 · 10<sup>-14</sup>  
1,4 · 10<sup>-14</sup>  
1,2 · 10<sup>-14</sup>  
10<sup>-14</sup>  
9 · 10<sup>-15</sup>  
8 · 10<sup>-15</sup>  
7 · 10<sup>-15</sup>  
6 · 10<sup>-15</sup>  
5 · 10<sup>-15</sup>  
4,5 · 10<sup>-15</sup>  
4 · 10<sup>-15</sup>  
3,5 · 10<sup>-15</sup>  
3 · 10<sup>-15</sup>  
2,5 · 10<sup>-15</sup>  
2 · 10<sup>-15</sup>  
1,8 · 10<sup>-15</sup>  
1,6 · 10<sup>-15</sup>  
1,4 · 10<sup>-15</sup>  
1,2 · 10<sup>-15</sup>  
10<sup>-15</sup>  
9 · 10<sup>-16</sup>  
8 · 10<sup>-16</sup>  
7 · 10<sup>-16</sup>  
6 · 10<sup>-16</sup>  
5 · 10<sup>-16</sup>  
4,5 · 10<sup>-16</sup>  
4 · 10<sup>-16</sup>  
3,5 · 10<sup>-16</sup>  
3 · 10<sup>-16</sup>  
2,5 · 10<sup>-16</sup>  
2 · 10<sup>-16</sup>  
1,8 · 10<sup>-16</sup>  
1,6 · 10<sup>-16</sup>  
1,4 · 10<sup>-16</sup>  
1,2 · 10<sup>-16</sup>  
10<sup>-16</sup>  
9 · 10<sup>-17</sup>  
8 · 10<sup>-17</sup>  
7 · 10<sup>-17</sup>  
6 · 10<sup>-17</sup>  
5 · 10<sup>-17</sup>  
4,5 · 10<sup>-17</sup>  
4 · 10<sup>-17</sup>  
3,5 · 10<sup>-17</sup>  
3 · 10<sup>-17</sup>  
2,5 · 10<sup>-17</sup>  
2 · 10<sup>-17</sup>  
1,8 · 10<sup>-17</sup>  
1,6 · 10<sup>-17</sup>  
1,4 · 10<sup>-17</sup>  
1,2 · 10<sup>-17</sup>  
10<sup>-17</sup>  
9 · 10<sup>-18</sup>  
8 · 10<sup>-18</sup>  
7 · 10<sup>-18</sup>  
6 · 10<sup>-18</sup>  
5 · 10<sup>-18</sup>  
4,5 · 10<sup>-18</sup>  
4 · 10<sup>-18</sup>  
3,5 · 10<sup>-18</sup>  
3 · 10<sup>-18</sup>  
2,5 · 10<sup>-18</sup>  
2 · 10<sup>-18</sup>  
1,8 · 10<sup>-18</sup>  
1,6 · 10<sup>-18</sup>  
1,4 · 10<sup>-18</sup>  
1,2 · 10<sup>-18</sup>  
10<sup>-18</sup>  
9 · 10<sup>-19</sup>  
8 · 10<sup>-19</sup>  
7 · 10<sup>-19</sup>  
6 · 10<sup>-19</sup>  
5 · 10<sup>-19</sup>  
4,5 · 10<sup>-19</sup>  
4 · 10<sup>-19</sup>  
3,5 · 10<sup>-19</sup>  
3 · 10<sup>-19</sup>  
2,5 · 10<sup>-19</sup>  
2 · 10<sup>-19</sup>  
1,8 · 10<sup>-19</sup>  
1,6 · 10<sup>-19</sup>  
1,4 · 10<sup>-19</sup>  
1,2 · 10<sup>-19</sup>  
10<sup>-19</sup>  
9 · 10<sup>-20</sup>  
8 · 10<sup>-20</sup>  
7 · 10<sup>-20</sup>  
6 · 10<sup>-20</sup>  
5 · 10<sup>-20</sup>  
4,5 · 10<sup>-20</sup>  
4 · 10<sup>-20</sup>  
3,5 · 10<sup>-20</sup>  
3 · 10<sup>-20</sup>  
2,5 · 10<sup>-20</sup>  
2 · 10<sup>-20</sup>  
1,8 · 10<sup>-20</sup>  
1,6 · 10<sup>-20</sup>  
1,4 · 10<sup>-20</sup>  
1,2 · 10<sup>-20</sup>  
10<sup>-20</sup>  
9 · 10<sup>-21</sup>  
8 · 10<sup>-21</sup>  
7 · 10<sup>-21</sup>  
6 · 10<sup>-21</sup>  
5 · 10<sup>-21</sup>  
4,5 · 10<sup>-21</sup>  
4 · 10<sup>-21</sup>  
3,5 · 10<sup>-21</sup>  
3 · 10<sup>-21</sup>  
2,5 · 10<sup>-21</sup>  
2 · 10<sup>-21</sup>  
1,8 · 10<sup>-21</sup>  
1,6 · 10<sup>-21</sup>  
1,4 · 10<sup>-21</sup>  
1,2 · 10<sup>-21</sup>  
10<sup>-21</sup>  
9 · 10<sup>-22</sup>  
8 · 10<sup>-22</sup>  
7 · 10<sup>-22</sup>  
6 · 10<sup>-22</sup>  
5 · 10<sup>-22</sup>  
4,5 · 10<sup>-22</sup>  
4 · 10<sup>-22</sup>  
3,5 · 10<sup>-22</sup>  
3 · 10<sup>-22</sup>  
2,5 · 10<sup>-22</sup>  
2 · 10<sup>-22</sup>  
1,8 · 10<sup>-22</sup>  
1,6 · 10<sup>-22</sup>  
1,4 · 10<sup>-22</sup>  
1,2 · 10<sup>-22</sup>  
10<sup>-22</sup>  
9 · 10<sup>-23</sup>  
8 · 10<sup>-23</sup>  
7 · 10<sup>-23</sup>  
6 · 10<sup>-23</sup>  
5 · 10<sup>-23</sup>  
4,5 · 10<sup>-23</sup>  
4 · 10<sup>-23</sup>  
3,5 · 10<sup>-23</sup>  
3 · 10<sup>-23</sup>  
2,5 · 10<sup>-23</sup>  
2 · 10<sup>-23</sup>  
1,8 · 10<sup>-23</sup>  
1,6 · 10<sup>-23</sup>  
1,4 · 10<sup>-23</sup>  
1,2 · 10<sup>-23</sup>  
10<sup>-23</sup>  
9 · 10<sup>-24</sup>  
8 · 10<sup>-24</sup>  
7 · 10<sup>-24</sup>  
6 · 10<sup>-24</sup>  
5 · 10<sup>-24</sup>  
4,5 · 10<sup>-24</sup>  
4 · 10<sup>-24</sup>  
3,5 · 10<sup>-24</sup>  
3 · 10<sup>-24</sup>  
2,5 · 10<sup>-24</sup>  
2 · 10<sup>-24</sup>  
1,8 · 10<sup>-24</sup>  
1,6 · 10<sup>-24</sup>  
1,4 · 10<sup>-24</sup>  
1,2 · 10<sup>-24</sup>  
10<sup>-24</sup>  
9 · 10<sup>-25</sup>  
8 · 10<sup>-25</sup>  
7 · 10<sup>-25</sup>  
6 · 10<sup>-25</sup>  
5 · 10<sup>-25</sup>  
4,5 · 10<sup>-25</sup>  
4 · 10<sup>-25</sup>  
3,5 · 10<sup>-25</sup>  
3 · 10<sup>-25</sup>  
2,5 · 10<sup>-25</sup>  
2 · 10<sup>-25</sup>  
1,8 · 10<sup>-25</sup>  
1,6 · 10<sup>-25</sup>  
1,4 · 10<sup>-25</sup>  
1,2 · 10<sup>-25</sup>  
10<sup>-25</sup>  
9 · 10<sup>-26</sup>  
8 · 10<sup>-26</sup>  
7 · 10<sup>-26</sup>  
6 · 10<sup>-26</sup>  
5 · 10<sup>-26</sup>  
4,5 · 10<sup>-26</sup>  
4 · 10<sup>-26</sup>  
3,5 · 10<sup>-26</sup>  
3 · 10<sup>-26</sup>  
2,5 · 10<sup>-26</sup>  
2 · 10<sup>-26</sup>  
1,8 · 10<sup>-26</sup>  
1,6 · 10<sup>-26</sup>  
1,4 · 10<sup>-26</sup>  
1,2 · 10<sup>-26</sup>  
10<sup>-26</sup>  
9 · 10<sup>-27</sup>  
8 · 10<sup>-27</sup>  
7 · 10<sup>-27</sup>  
6 · 10<sup>-27</sup>  
5 · 10<sup>-27</sup>  
4,5 · 10<sup>-27</sup>  
4 · 10<sup>-27</sup>  
3,5 · 10<sup>-27</sup>  
3 · 10<sup>-27</sup>  
2,5 · 10<sup>-27</sup>  
2 · 10<sup>-27</sup>  
1,8 · 10<sup>-27</sup>  
1,6 · 10<sup>-27</sup>  
1,4 · 10<sup>-27</sup>  
1,2 · 10<sup>-27</sup>  
10<sup>-27</sup>  
9 · 10<sup>-28</sup>  
8 · 10<sup>-28</sup>  
7 · 10<sup>-28</sup>  
6 · 10<sup>-28</sup>  
5 · 10<sup>-28</sup>  
4,5 · 10<sup>-28</sup>  
4 · 10<sup>-28</sup>  
3,5 · 10<sup>-28</sup>  
3 · 10<sup>-28</sup>  
2,5 · 10<sup>-28</sup>  
2 · 10<sup>-28</sup>  
1,8 · 10<sup>-28</sup>  
1,6 · 10<sup>-28</sup>  
1,4 · 10<sup>-28</sup>  
1,2 · 10<sup>-28</sup>  
10<sup>-28</sup>  
9 · 10<sup>-29</sup>  
8 · 10<sup>-29</sup>  
7 · 10<sup>-29</sup>  
6 · 10<sup>-29</sup>  
5 · 10<sup>-29</sup>  
4,5 · 10<sup>-29</sup>  
4 · 10<sup>-29</sup>  
3,5 · 10<sup>-29</sup>  
3 · 10<sup>-29</sup>  
2,5 · 10<sup>-29</sup>  
2 · 10<sup>-29</sup>  
1,8 · 10<sup>-29</sup>  
1,6 · 10<sup>-29</sup>  
1,4 · 10<sup>-29</sup>  
1,2 · 10<sup>-29</sup>  
10<sup>-29</sup>  
9 · 10<sup>-30</sup>  
8 · 10<sup>-30</sup>  
7 · 10<sup>-30</sup>  
6 · 10<sup>-30</sup>  
5 · 10<sup>-30</sup>  
4,5 · 10<sup>-30</sup>  
4 · 10<sup>-30</sup>  
3,5 · 10<sup>-30</sup>  
3 · 10<sup>-30</sup>  
2,5 · 10<sup>-30</sup>  
2 · 10<sup>-30</sup>  
1,8 · 10<sup>-30</sup>  
1,6 · 10<sup>-30</sup>  
1,4 · 10<sup>-30</sup>  
1,2 · 10<sup>-30</sup>  
10<sup>-30</sup>  
9 · 10<sup>-31</sup>  
8 · 10<sup>-31</sup>  
7 · 10<sup>-31</sup>  
6 · 10<sup>-31</sup>  
5 · 10<sup>-31</sup>  
4,5 · 10<sup>-31</sup>  
4 · 10<sup>-31</sup>  
3,5 · 10<sup>-31</sup>  
3 · 10<sup>-31</sup>  
2,5 · 10<sup>-31</sup>  
2 · 10<sup>-31</sup>  
1,8 · 10<sup>-31</sup>  
1,6 · 10<sup>-31</sup>  
1,4 · 10<sup>-31</sup>  
1,2 · 10<sup>-31</sup>  
10<sup>-31</sup>  
9 · 10<sup>-32</sup>  
8 · 10<sup>-32</sup>  
7 · 10<sup>-32</sup>  
6 · 10<sup>-32</sup>  
5 · 10<sup>-32</sup>  
4,5 · 10<sup>-32</sup>  
4 · 10<sup>-32</sup>  
3,5 · 10<sup>-32</sup>  
3 · 10<sup>-32</sup>  
2,5 · 10<sup>-32</sup>  
2 · 10<sup>-32</sup>  
1,8 · 10<sup>-32</sup>  
1,6 · 10<sup>-32</sup>  
1,4 · 10<sup>-32</sup>  
1,2 · 10<sup>-32</sup>  
10<sup>-32</sup>  
9 · 10<sup>-33</sup>  
8 · 10<sup>-33</sup>  
7 · 10<sup>-33</sup>  
6 · 10<sup>-33</sup>  
5 · 10<sup>-33</sup>  
4,5 · 10<sup>-33</sup>  
4 · 10<sup>-33</sup>  
3,5 · 10<sup>-33</sup>  
3 · 10<sup>-33</sup>  
2,5 · 10<sup>-33</sup>  
2 · 10<sup>-33</sup>  
1,8 · 10<sup>-33</sup>  
1,6 · 10<sup>-33</sup>  
1,4 · 10<sup>-33</sup>  
1,2 · 10<sup>-33</sup>  
10<sup>-33</sup>  
9 · 10<sup>-34</sup>  
8 · 10<sup>-34</sup>  
7 · 10<sup>-34</sup>  
6 · 10<sup>-34</sup>  
5 · 10<sup>-34</sup>  
4,5 · 10<sup>-34</sup>  
4 · 10<sup>-34</sup>  
3,5 · 10<sup>-34</sup>  
3 · 10<sup>-34</sup>  
2,5 · 10<sup>-34</sup>  
2 · 10<sup>-34</sup>  
1,8 · 10<sup>-34</sup>  
1,6 · 10<sup>-34</sup>  
1,4 · 10<sup>-34</sup>  
1,2 · 10<sup>-34</sup>  
10<sup>-34</sup>  
9 · 10<sup>-35</sup>  
8 · 10<sup>-35</sup>  
7 · 10<sup>-35</sup>  
6 · 10<sup>-35</sup>  
5 · 10<sup>-35</sup>  
4,5 · 10<sup>-35</sup>  
4 · 10<sup>-35</sup>  
3,5 · 10<sup>-35</sup>  
3 · 10<sup>-35</sup>  
2,5 · 10<sup>-35</sup>  
2 · 10<sup>-35</sup>  
1,8 · 10<sup>-35</sup>  
1,6 · 10<sup>-35</sup>  
1,4 · 10<sup>-35</sup>  
1,2 · 10<sup>-35</sup>  
10<sup>-35</sup>  
9 · 10<sup>-36</sup>  
8 · 10<sup>-36</sup>  
7 · 10<sup>-36</sup>  
6 · 10<sup>-36</sup>  
5 · 10<sup>-36</sup>  
4,5 · 10<sup>-36</sup>  
4 · 10<sup>-36</sup>  
3,5 · 10<sup>-36</sup>  
3 · 10<sup>-36</sup>  
2,5 · 10<sup>-36</sup>  
2 · 10<sup>-36</sup>  
1,8 · 10<sup>-36</sup>  
1,6 · 10<sup>-36</sup>  
1,4 · 10<sup>-36</sup>  
1,2 · 10<sup>-36</sup>  
10<sup>-36</sup>  
9 · 10<sup>-37</sup>  
8 · 10<sup>-37</sup>  
7 · 10<sup>-37</sup>  
6 · 10<sup>-37</sup>  
5 · 10<sup>-37</sup>  
4,5 · 10<sup>-37</sup>  
4 · 10<sup>-37</sup>  
3,5 · 10<sup>-37</sup>  
3 · 10<sup>-37</sup>  
2,5 · 10<sup>-37</sup>  
2 · 10<sup>-37</sup>  
1,8 · 10<sup>-37</sup>  
1,6 · 10<sup>-37</sup>  
1,4 · 10<sup>-37</sup>  
1,2 · 10<sup>-37</sup>  
10<sup>-37</sup>  
9 · 10<sup>-38</sup>  
8 · 10<sup>-38</sup>  
7 · 10<sup>-38</sup>  
6 · 10<sup>-38</sup>  
5 · 10<sup>-38</sup>  
4,5 · 10<sup>-38</sup>  
4 · 10<sup>-38</sup>  
3,5 · 10<sup>-38</sup>  
3 · 10<sup>-38</sup>  
2,5 · 10<sup>-38</sup>  
2 · 10<sup>-38</sup>  
1,8 · 10<sup>-38</sup>  
1,6 · 10<sup>-38</sup>  
1,4 · 10<sup>-38</sup>  
1,2 · 10<sup>-38</sup>  
10<sup>-38</sup>  
9 · 10<sup>-39</sup>  
8 · 10<sup>-39</sup>  
7 · 10<sup>-39</sup>  
6 · 10<sup>-39</sup>  
5 · 10<sup>-39</sup>  
4,5 · 10<sup>-39</sup>  
4 · 10<sup>-39</sup>  
3,5 · 10<sup>-39</sup>  
3 · 10<sup>-39</sup>  
2,5 · 10<sup>-39</sup>  
2 · 10<sup>-39</sup>  
1,8 · 10<sup>-39</sup>  
1,6 · 10<sup>-39</sup>  
1,4 · 10<sup>-39</sup>  
1,2 · 10<sup>-39</sup>  
10<sup>-39</sup>  
9 · 10<sup>-40</sup>  
8 · 10<sup>-40</sup>  
7 · 10<sup>-40</sup>  
6



100.000



$10^5$   
 $9 \cdot 10^4$   $3.5 \cdot 10^8$   
 $3 \cdot 10^8$



TARTALOMJEGYZÉK

<i>Guman Jenő</i> : Áramlás csővezetékben. Földgázvezeték méretezése.....	301
<i>Gruber József</i> : Lapátmetszetszerkesztés axiális vízgépeknél .....	391
<i>Tarján Gusztáv</i> : Adalékok az ülepítés klasszikus elméletéhez. Finkey ülepítés-elméletének kritikai vizsgálata .....	414
<i>Pattantyús Á. Géza</i> : Áramlás betoncsatornáknban.....	455
<i>Ladoméry István</i> : Különböző fizikai tényezők hatása a magas hőmérsékletű belső tüzelésű kemencék hőátadási viszonyaira .....	471
<i>Bán Imre</i> : A magyar kőszén-bányászat története .....	499
<i>Csonka Pál</i> : Adalékok a rugalmas körhengerhéj elméletéhez .....	527
<i>Faller Jenő</i> : Brennbergbánya régi térképei .....	535
<i>Forbáth Róbert</i> : Mangániszap dúsítása generátorgáz egyidejű kéntelenítésével.....	561
<i>Csonka Pál</i> : Merevvégű rácsos vezetékoszlopok méretezése csavarásra .....	585
<i>Török Tibor</i> : Kisfeszültségű szikragerjesztő szinképelemzéshez .....	595
<i>Csajághy Gábor, Scherf Emil és Székyné Fux Vilma</i> : Kálisó előállításának lehetősége Magyarországon .....	609
<i>Domony András és Vassel K. Róbert</i> : A titán és bór hatása az alumínium villamos vezetőképeségére, szemcseméretére és szilárdságára .....	629
<i>Fialouszky Lajos</i> : A teodolit tengelyhibáinak együttes hatása a vízszintes szögmérésre	649
A Műszaki Tudományok Osztálya rendezésében tartott kongresszusok, előadások.....	665
Könyvszemle :	
<i>Verő József</i> : Általános metallografia. I. Schleicher Aladártól.....	669
<i>C. C. Feldman</i> : Precíziós öntés. Kőrös Bélától.....	669
<i>Pattantyús Á. Géza</i> : Gépészeti lengéstan. Vörös Imrétől.....	670