

A MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
GELEJI SÁNDOR

33. KÖTET

1—4. SZÁM



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

1964

VI. OSZT. KÖZL.

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
GELEJI SÁNDOR

33. KÖTET 1—4. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG: BUDAPEST V., NÁDOR UTCA 7.
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.

A kéziratok a következő címre küldendők:

A Magyar Tudományos Akadémia
Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei
Budapest V., Nádor utca 7.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Megjelent munkájáért minden szerzőt száz különlenyomat illet meg. 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: 05-915-111-46), külföldi megrendelések a „Kultúra” Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest I., Fő utca 32., Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám: 43-790-057-181) útján eszközölhetők.

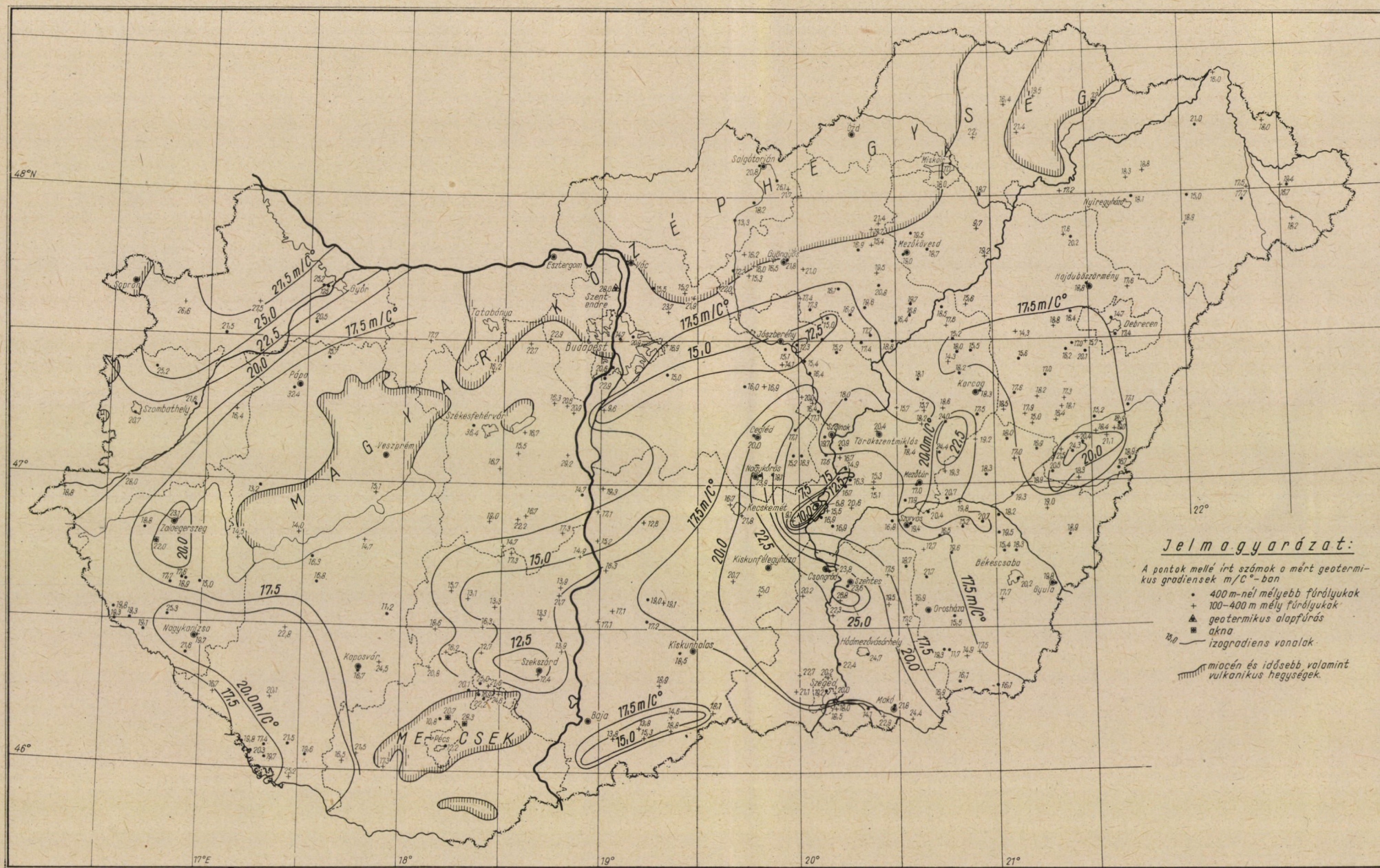
A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának kiadványa az

Acta Technica

című idegen nyelvű folyóirat.

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

Acta Technica szerkesztősége, Budapest V., Nádor utca 7.



I. ábra. Magyarország geotermikus gradiens térképe a legfontosabb hőmérsékletmérési adatok feltüntetésével

A MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
GELEJI SÁNDOR

33. KÖTET



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST
1964

VI. OSZT. KÖZL.



KÁRMÁN TÓDOR

1881—1963

„Ich schau' in diesen reinen Zügen
Die wirkende Natur vor meiner Seele liegen”

(Goethe: Faust)

Prof. Dr. phil., Dr. Ing. E. h., Dr. rer. nat. h.c., L. L. D. KÁRMÁN TÓDOR az Advisory Group for Aeronautical Research and Development (Paris) elnöke, 27 egyetem és műszaki főiskola tiszteletbeli doktora, számos tudományos akadémia tagja, sok nemzetközi és nemzeti tudományos társulat, egyesület tiszteletbeli elnöke és tiszteletbeli tagja, nagyszámú érdemrend és nagy tudományos kitüntetés (köztük a Prandtl-gyűrű és Gauss-émlékérem) tulajdonosa, 1881. május 11-én született Budapesten.

Apja Dr. KÁRMÁN Mór, a Budapesti Tudományegyetem tanára, országoshírű oktatási szaktekintély, a magyar középiskolai oktatási reform kidolgozója volt. Ő alapította a Tanárképző Intézeti Gyakorlógimnáziumot, az ún. Mintagimnáziumot és fia, Tódor ebben az intézetben végezte el a középiskolát. A kiváló pedagógus apa, a magas színvonalú iskola és a Kármán-család igazi intellektuális légköre jó alapot adtak életpályájához.

Matematikai érdeklődése már korán megmutatkozott, de apja tanácsára a mindennapi élethez közelebb álló foglalkozást választott, és ezért a középiskola elvégzése után a Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karára iratkozott be. Itt mint elsőéves hallgató megnyerte a Matematikai és Fizikai Társulat tanulóversenyének első díját [1], majd negyedéves korában a műegyetemi pályadíjat. Gépészmérnöki oklevelét 1902. szeptember 27-én kapta kitűnő minősítéssel.

Oklevelének megszerzése után az egyetemen maradt, mint BÁNKI Donát professzor tanársegéde, először a Gépszerkeztetani, majd a Hidrogépek Tan-

széken. BÁNKI Donát igen érdekes és sokoldalú egyéniség volt. Alig van olyan területe a gépszakmának, amelyet ő eredeti alkotásokkal ne gazdagított volna. Ő volt CSONKA Jánossal együtt a világ első karburátorának a feltalálója, és ő fedezte fel a róla elnevezett vízturbinát. Kiválóan tudta az elméletet a mérnöki gyakorlattal összekapcsolni, amit KÁRMÁN Tódor később a legmagasabb szintig fejlesztett. Ebben az időben KÁRMÁN Tódor az egyetem által rendezett nagyobb szabású külföldi tanulmányúton vett részt. Erről beszámolót is írt [2]. Később tanársegédi állása mellett a Ganz-gyárban kutató-mérnöként is dolgozott.

1906-ban további matematikai tanulmányok folytatása céljából a göttingai egyetemre távozott. Göttingában ebben az időben kiváló matematikusok működtek, mint Felix KLEIN, Hermann MINKOWSKI és David HILBERT. Közülük Felix Klein nemcsak neves matematikus, hanem kiváló tudományszervező is volt. Felismerte, hogy a tiszta és alkalmazott természettudományokat az eddiginél szorosabb kapcsolatba kell hozni egymással, s keresztülvitte, hogy az egyetemen olyan tanszékeket állítsanak fel, amilyenek azelőtt csak a műszaki főiskolákon voltak. Felix KLEINnek ez a bölcs jövőbelátása bőséges gyümölcsöket hozott. Az egyik ilyen tanszéket Ludwig PRANDTL, a modern hidrodinamika megalapítója kapta meg 1904-ben. KÁRMÁN hamarosan Ludwig PRANDTL oldalán végez kutatómunkát, aminek első eredménye doktori disszertációjában jelentkezik 1908-ban. Disszertációjának tudományos eredményei az alkalmazott mechanikai kézikönyvekben *Kármán-féle kihajláselmélet* („Von Kármán's Theory of Stability”) néven található meg.

KÁRMÁN Tódor Ludwig PRANDTL oldalán, mint ő azt igen gyakran hangzottatta, nemcsak ösztönzést kapott a tudományos munkára, hanem ez az időszak döntő befolyást gyakorolt tudományos kifejlődésére. Ludwig PRANDTL zseniális volt olyan elméleti megoldások megtalálásában, amelyek a mérnöki gyakorlatban is hasznosíthatók voltak. A fizikai lényegét jól tükröző, de egyszerű matematikai fogalmazásba öltöztetett eredményei a mérnöki gyakorlatban legtöbbször közvetlenül hasznosíthatók voltak. Ez a törekvés KÁRMÁN Tódor munkásságát is végigkíséri. Doktori disszertációját követően egy ideig még a mechanika területén folytatott tudományos munkásságot. A vékonyfalú üreges testek és csövek szilárdsági és feszültségi viszonyaival foglalkozik, majd márvány próbadarabokkal végzett kísérleteivel az anyagok plaszticitási elméletét alapozza meg.

Időközben Felix KLEIN Amerikában járt, és a repüléselmélettel kapcsolatos amerikai kezdeményezések láttán mély benyomásokkal tért vissza. Talán ennek köszönhető, hogy a Göttingai Alkalmazott Mechanikai és Matematikai Intézet kutatói figyelmüket egyre nagyobb mértékben az áramlástan felé fordították. Ekkor adja KÁRMÁN Tódor elméleti magyarázatát az áramlásba helyezett testek mögött képződő örvénysornak, mely azóta is *Kármán-féle örvénysor* („Kármán Vortices”, ill. „Kármánsche Wirbelstrasse”) néven isme-

retes a szakirodalomban. KÁRMÁN Tódor mutatott rá arra is először, hogy az áramlásba helyezett testről váltakozva leszakadó örvények rezgések forrásai lehetnek. Azt, hogy ezek milyen veszedelmesekké válhatnak, legjobban bizonyítja a Tacoma-híd 1940. évi katasztrófája.

1912-ben az aacheni Technische Hochschule az aerodinamika oktatására hívja meg. Ugyanebben az időben hazájában a nagy tradíciójú Selmechányai Bányászati Főiskolán is tanárrá nevezték ki. Bár rövid időre el is foglalta ez utóbbi állást, végül mégis Aachen mellett döntött, ahol nagyobb lehetőségek kínálkoztak kutatómunkájához.

Amikor az első világháború kitört, KÁRMÁN Tódort, aki korábbi katonai szolgálatát Magyarországon a vártüzérek-nél töltötte, hadnagyi rangban katonai szolgálatra hívták be. Mint a repülés kiváló szakértőjét azonban tanácsadó mérnöki minőségben az ausztriai Fischamendben levő katonai repülőgépgyárba helyezték. A háború évei alatt itt fejlesztette ki PETRÓCZY István ezredessel és ZUROVECZ J. asszisztenssel a könnyen sebezhető katonai léggömbök pótlására a világ első kötött helikopterét. Így lett a helikopteréptés úttörőjévé. A háború utolsó évében Budapestre tért vissza és a Műegyetemen aerodinamikát adott elő. Ugyanakkor az Oktatásügyi Népbiztosságon a főiskolai oktatás reformjával foglalkozott. Ezzel kapcsolatban lefektetett gondolatai ma is aktuálisak.

1919-ben visszatért Aachenbe. Vezetésével az aacheni Műszaki Főiskola aerodinamikai intézete Európa jelentős aerodinamikai kutató intézményévé vált. Ebben az időben írta meg a propellerek összefoglaló elméletét, a konform transzformáció felhasználásával általánosította a Zsukowszkij-féle transzformáció elméletét és TREFFTZEL együttműködésben lefektette számos szárnyszelvény elméleti megalapozását. Erősen foglalkoztatták a turbulencia kérdései is. Ezt jelzik a „The Stability of Laminar Flow and the Theory of Turbulence” és „Mechanical Similarity and Turbulence” című dolgozatai. A Prandtl-féle határreteg számítását igen pontos, könnyen kezelhető és gyorsan számítható közelítő megoldással helyettesítette. Egyik munkatársa, August POLHAUSEN a körhenger határreteg-viszonyaira végzett számításokat, és bemutatta, hogy a Kármán-féle módszer igen sok időt takarít meg, és gyakorlatilag ugyanazt az eredményt adja, mint a bonyolult megoldások. Később Hermann SCHLICHTING és munkatársai ezt a módszert különböző szárnyszelvényekre is kiterjesztették. Ezenkívül még számos olyan ötlet és kezdeményezés származott Kármántól, amelyeknek ma is alapvető jelentőségük van. Így többek közt rendkívül nevezetes az általa felállított hengerléselmélet. Idevágó megoldása igen széles körű irodalom elindítójává vált.

Alkotó, kutatómunkája mellett külön meg kell emlékezni oktatói tevékenységéről is. Mindig főként arra törekedett, hogy tisztázza és kifejtse a fizikai vonatkozásokat, mintsem a formális megoldások felé haladjon. Ez különösen megmutatkozott egyes speciális előadásáiban. Pl. a variáció-számítást kimon-

dottan mérnökök részére a mérnök nézőpontjából oly módon adta elő, hogy hallgatói nemcsak könnyen megtanulhatták ezt, hanem mély bepillantást nyerhettek a matematikába is. Igen híresek voltak szemináriumai, ahol mindig a probléma világos megfogalmazására és egyszerű matematikai kezelésére oktatott. Ilyen módon állandó és kiváló tolmács volt a matematikusok és mérnökök között nemcsak azért, mert mindkét tudomány nyelvét egyformán jól beszélte, hanem mivel a műszaki tudományok és a matematika az ő mindennapi életében egymástól elválaszthatatlanok voltak.

A kutatás és oktatás mellett KÁRMÁN Tódor komoly erőfeszítéseket tett annak érdekében, hogy az első világháború után a nemzetközi tudományos kapcsolatokat újból felelevenítse. Az ő kezdeményezésére jött össze már 1922-ben Innsbruckban a nemzetközi aerodinamikai és hidrodinamikai tudományos találkozó, és ez vezetett arra, hogy 1924-ben Delftben létrejött a *Congress of Applied Mechanics*. Ott határozták el, hogy ezt a kongresszust szabályos időközökben ismételtén megtartják (a következőt 1926-ban Zürichben). Később 4 éves ciklusokat határoztak el, amit a második világháború okozta megszakítással azóta is megtartottak.

1926-ban a *Guggenheim-féle alapítvány* meghívására az USA-ba látogatott, aminek az lett a következménye, hogy a pasadenai *California Institute of Technology* előadások tartására hívta meg. Néhány évig szemeszterenként váltakozva párhuzamosan tartott előadásokat Aachenben és Pasadenában. Később Aachenbe való visszatéréseire mindig hosszabb időszakokban is mindig rövidebb időre került sor. KÁRMÁN Tódor kinőtt Aachenből és 1930-ban véglegesen az USA-ba költözött és átvette a *Guggenheim Laboratórium* (Galcit) vezetését. Ezt az intézetet az aachenihez hasonlóképpen rendezte be, és itt is éppen olyan rendkívüli sikereket ért el, mint Aachenben, azzal a különbséggel, hogy itt a tanítványok és munkatársak már szinte az egész civilizált világból áramlottak hozzá. Itt egy újabb aerodinamikai iskola alakult ki körülötte.

KÁRMÁN Tódor és tanítványai már a messze jövőbe tekintettek. Már abban az időben, amikor a repülés még a fél hangsebességet sem érte el, már a nagysebességű aerodinamikai problémákkal foglalkoztak. Rómában az 1935-ben megtartott *Volta-konferencián* tartott előadásából kitűnik, hogy nemcsak előre látta a hangsebesség feletti repülés lehetőségét, hanem már azt is megállapította, hogy a szuperszonikus repülés területét két részre oszthatjuk, és abban a régióban, amit ő *ultra-szuperszonikusnak* nevezett Isaac NEWTON-nak az ellenállásra vonatkozó klasszikus megállapításai ismét érvényesek lesznek. Ez az a régió amit mi ma *hiperszonikusnak* nevezünk. Intézetéből egyre növekvő mennyiségű tudományos dolgozat került ki, amelyek a transzszonikus és szuperszonikus aerodinamikával foglalkoztak. Szépen foglalta össze a nagysebességű aerodinamika problémáit 1947-ben az *Institute of Aeronautical Sciences*-ben előadott *Tenth Wright Brothers Lecture*-jében. Továbbra is érdeklődésének elő-

terében maradtak a turbulencia kérdései. Ebben az időben ezen a téren Ludwig PRANDTL és G. J. TAYLOR munkái jelentettek komoly előhaladást. KÁRMÁN Tódor a hasonlóság elvét alkalmazva, a kérdést az említettekénél sokkal általánosabban és a kinetikus gázelmélettől független megvilágításba helyezte. Elmélete többek között a homogén turbulencia esetében a logaritmikus sebességeloszlás felfedezéséhez vezetett. Ezután G. J. TAYLOR-ral és Leslie HOWARTH-el együtt az izotropikus turbulencia elméletét alkotta meg.

Új fejezet kezdődött intézetének történetében, mikor azt a *Jet Propulsion Laboratory*-val kiegészítették. Az utóbbi laboratórium (JPL) ma a legnagyobb olyan tudományos intézmény, amelyik a levegőben és az űrben való hajózás tisztán tudományos kérdéseivel foglalkozik. Később KÁRMÁN Tódor igazgatója lett az *International Academy of Astronautics*-nek és a róla elnevezett nagy hiperszonikus kutatóintézetnek (*Von Kármán Hypersonic Test Facility in Tullahoma*) is.

A legutóbbi évtizedben erősen foglalkozott a rakétahajtás égési folyamataival. Felismerte, hogy a gázdinamikai, hőtani és kémiai folyamatokat nem lehet egymástól elkülöníteni, és azokat egyetlen egy komplex tudomány keretében, az aerothermokémiában kell egyesíteni. Ugyanígy nagy érdeklődéssel tanulmányozta a *magneto-hidrodinamika* és *plazma-dinamika* kérdéseit is. Ezt mutatja az az előadás, amelyet mint a Gauss-gyűrű első kitüntetettje tartott 1960. április 30-án „Entwicklung der Strömungsdynamik von der Lehre idealer Flüssigkeiten zur Plasmadynamik” címen.

Ezek a hézagos utalások nem adhatnak kellő képet KÁRMÁN Tódor eredményekben gazdag és sokoldalú munkásságáról. Erről még az a gyűjteményes négykötetes munka sem ad teljes áttekintést, amelyben az 1902. és 1951. között megjelent munkáit összegyűjtötték [3]. Ezek a kötetek III dolgozatát tartalmazzák. Meglepő a témáknak a sokasága, amely ebből a gyűjteményből tükröződik. Az alkalmazott matematika és elméleti fizika mellett a szilárdságtan, a rugalmasságtan tárgykörébe vágó, valamint az ideális, viszkózus és kompresszibilis folyadékok áramlásával kapcsolatos számos dolgozat sorakozik itt egymásután. Ezenfelül termodinamikai kérdések, az aerodinamika, repülőgép-stabilitási kérdések, helikopterek tervei és még számos egyéb kérdéssel foglalkozó munkák is találhatóak a gyűjteményes kiadásban. Ebben a gyűjteményben azonban nincsenek benne KÁRMÁN Tódornak 1951. után írt munkái és előadásai. Ezenkívül KÁRMÁN Tódor egyedül vagy másokkal együttműködve számos kézikönyvet is írt és gyűjteményes munkát adott ki. Külön meg kell említeni Maurice A. BIOT-val együttesen írt „Mathematical Methods in Engineering” című tankönyvét. Ebben a mérnöki problémák megoldásához szükséges matematikai módszereket fektette le igen sikeresen. Ez a könyv rövid idő alatt 10 kiadást ért meg és számos nyelvre, köztük oroszra is lefordították. E könyvét azért írta, mert, mint azt más helyen [4] kifejti, az a matematika, melyre a jövőendő mérnököket az első 4 félévben oktatják, általában elegendő

ugyan, azonban arra legtöbbször már nem kerül sor, hogy a hallgatókat megtanítsák arra, hogy miként kell ezt a matematikai tudást a mérnöki problémákban alkalmazni. Azért ellentétben azokkal a könyvekkel, amelyekben a matematikai módszerek állnak az előtérben és a mérnöki problémák csak példaként szerepelnek, ő magukból a mérnöki problémákból indul ki, és így mutatja be a matematika alkalmazásának a szükségességét és annak módszereit.

KÁRMÁN Tódor, aki a világ egyik vezető tudósa volt, magyarságát mindig híven megőrizte. Ennek azzal is kifejezést adott, hogy következetesen ragaszkodott ahhoz, hogy nevét mindig helyes magyar ortográfiával írják le. Mint elmondta, sok vitája volt emiatt kiadóival, akik ismételtén megpróbálták nevére az ékezeteket eltüntetni. 1962. évi magyarországi látogatásakor — amely sajnos utolsó látogatása volt — csodálattal eltelve hallgattuk több mint 5 évtizednyi külföldi élet után is tökéletes, minden idegen akcentustól mentes magyar beszédét.

Mindig kitüntető kedvességgel bánt azokkal a honfitársaival, akikkel különböző nemzetközi konferenciákon találkozott. A hozzá forduló fiatal magyar tudósokat mindig szívesen segítette. Ezért is örömmel tett a Magyar Tudományos Akadémia meghívásának eleget és 1962-ben hazalátogatott. Jól esett neki, mint azt meghitt beszélgetés során elmondotta, hogy meglátogathatta édesapja sírját, találkozhatott a régi barátokkal, és viszontláthatta ifjú éveinek színhelyét. Mindezek között azonban legjobban annak örült, hogy a Budapesti Műszaki Egyetem, az ő Alma Matere, őt ez alkalommal tiszteletbeli doktorrá avatta. Ekkor már a világ minden részén levő nagymúltú és tekintélyes 26 egyetemnek és főiskolának volt tiszteletbeli doktora, mégis úgy nyilatkozott, hogy ez a tiszteletbeli doktori oklevél áll legközelebb a szívéhez. Az 1962. október 22-én történt ünnepélyes doktorrá avatás alkalmával az Egyetem, mint 60 évvel ezelőtt végzett hallgatóját, gyémánt oklevéllel is kitüntette. Szívesen fogadta ezenkívül a Gépipari Tudományos Egyesület részéről átnyújtott *Bánki Donát-Emlékérmét*, amely egykori professzorára és annak tanszékén töltött éveire emlékeztette.

Akkor még nem tudtuk, hogy a teljes szellemi frissességben hozzánk érkező, sziporkázó humorú nagy tudósnak ez volt a búcsúlátogatása hazánkban. A halál váratlanul elragadta őt.

Elhúnytával századunk egyik legnagyobb természettudósát, hazánk szülöttjét veszítettük el, akinek alkotó géniusza és tanítása a tudomány széles területeit korszakalkotó eredményekkel gazdagította. Távozása fájdalmasan érint bennünket és az egész tudós világot, mely mindenkor megkülönböztetett tisztelettel hódol emlékének.

Dr. Varga József

IRODALOM

1. Az (1898. évi) V. matematikai tanulóverseny. *Középiskolai Matematikai Lapok*. Budapest, 1898. 6. évf. 1. sz. 66. old. Ugyanott Kármán jutalmazott dolgozata, 161. old.
2. KÁRMÁN T.: A Királyi József-Műegyetem 1906. évi nagy tanulmányi kirándulásának naplója. Budapest Pátria ny. 1906.
3. Collected Works of Theodore von Kármán. Vol. I–IV. Botterworth Scientific Publications, London 1956.
4. von KÁRMÁN, Th.: Mathematik und technische Wissenschaften. *Die Naturwissenschaften*, 18 (1930.), 12–16 old.; [3] Vol. II. 314–321. old.





NÁDAI ÁRPÁD

1883—1963

A rugalmasságtan és képlékenységtan világhírű magyar származású művelője, NÁDAI Árpád, f. évi július 17-én 80 éves korában Pittsburghban váratlanul elhunyt. Halála súlyos csapás a mechanika tudományára, melynek különböző területein igen jelentős, maradandó értékű munkásságot fejtett ki. Munkássága a rugalmasságtan számos problémájára, főleg a rugalmas lemezek elméletére, a képlékenységtan különféle feladataira, a fémek folyásával és törésével kapcsolatos vizsgálatokra, a nagy sebességű testek ütközési jelenségeire, a rugalmas alakváltozások okozta hőjelenségekre, az összetett igénybevételnek alávetett fémek folyási jelenségeire és egyes geomechanikai problémákra terjedt ki.

NÁDAI Árpád Budapesten, 1883. április 3-án született. Középiskolai tanulmányait 1893—1901 közt a budapesti Markó utcai főreáliskolában végezte. Ezután a zürichi Eidgenössische Technische Hochschule-ra iratkozott be, ahol főként a magyarországi születésű STODOLA A. professzornak az előadásai ragadták meg figyelmét. Itt 1906-ban gépészmérnöki oklevelet szerzett. Ezután a budapesti Schlick-gyárban, majd 1907—8-ban egy müncheni vasgyárban vállalt tervező mérnöki állást.

Tudományos tevékenységének első korszaka berlini tartózkodásának idejére esik, ahol 1909—12 közt az ottani műegyetemen Eugen MEYER professzor mellett mint tanársegéd, illetve tudományos munkaező működött. Itt 1911-ben *Untersuchungen der Festigkeitslehre mit Hilfe des thermoelektrischen Temperaturmessverfahrens* című dolgozatával műszaki doktori képesítést szerzett. Ebből az időszakból származik első jelentősebb dolgozata is, mely az egyenletesen megoszló erővel terhelt négyszöglemez problémájának tárgyalására oly eljárást dolgozott ki, mely kettős végtelen sorok helyett gyorsan konvergáló egyszerű sor alakjában adja a feladat megoldását. Ugyanakkor kísér-

letekkel igazolta, hogy a szabadon felfekvő lemezperemekre ható csavarónyomatékoknak Lord KELVIN és P. G. TAIT által javasolt módon, nevezetesen a lemezsíkra merőleges erőkkel való helyettesítése, megengedett.

Tudományos tevékenységének *második* időszaka a világháborút követő évekre esik, mikor is 1919-ben Göttingában a Felix KLEIN által alapított mechanikai kutatóintézetben helyezkedett el. Ennek az intézetnek a vezetője abban az időben Ludwig PRANDTL, a mechanika tudományának világhírű művelője volt, akinek oldalán a kiváló tanítványok egész sora: KÁRMÁN Tódor, W. PRAGER, FLÜGGE, J. D. HARTOG stb. komoly tudományos munkásságot fejtett ki. Ludwig PRANDTL, felismervén NÁDAI Árpád kiváló képességeit, őt közvetlen munkatársai közé fogadta, s főképp a doktoranduszok munkájának irányításával bízta meg. Munkásságának elismeréseként 1923-ban a göttingai egyetemen az alkalmazott mechanika rendkívüli tanárává, 1926-ban pedig rendes tanárává nevezték ki. Mint egyetemi tanár igen intenzív tudományos tevékenységet fejtett ki. Sűrűn egymás után jelennek meg a rugalmas lemezek elméletével foglalkozó dolgozatai, melyekben számos, ma már szinte klasszikusnak tekinthető eljárást mutat be különböző rugalmasságtani feladatok megoldására. Ezek közt különös figyelmet érdemelnek a koncentrált erővel terhelt lemezekre vonatkozó tanulmányok, a koncentrált erő környezetében levő lemezrész viselkedésére vonatkozó vizsgálatok, az általa bevezetett tükröztetési elv, valamint az egyenletesen megoszló erővel terhelt négy-szöglemez problémájának megoldására adott eljárása. A lemezelméletre vonatkozó — számos vonatkozásban úttörő jelentőségű — vizsgálatainak eredményeit az *Elastische Platten* című könyvében gyűjtötte össze, mely az ezen tárgykörbe vágó tudományos irodalom legértékesebb művei közé tartozik.

Lemezelméleti dolgozatai mellett egyre intenzívebben foglalkozik a képlékenységtan különféle problémáival is. Idevágó tanulmányait a *Der bildsame Zustand der Werkstoffe* című könyvében foglalja össze, melyet rövidesen angol és orosz nyelven is kiadnak. Ez a könyv a fémek képlékenységlméletének első, matematikai szempontból kifogástalan foglalata, melynek számos fejezete a képlékenységtan irodalmának egy-egy gyöngyszeme. Ezek közül elégséges itt csak a NÁDAI által bevezetett oktaédes nyírófeszültség fogalmára, a Nádaiféle homokbucka analógiára, illetve a szappanhártya—homokbucka analógiára hivatkozni.

Tudományos tevékenységének *harmadik* nevezetes időszaka a pittsburghi *Westinghouse Research Laboratories* keretében vállalt szakértői tevékenységének éveire esik. Ide először 1927-ben még mint göttingai egyetemi tanár nyert meghívást vendégelőadások tartására. A nagy kutatóintézet nyújtotta lehetőségek annyira megragadták, hogy 1929-ben végleg Pittsburghban telepedett le mint a *Westinghouse Elec. Comp.* gépészmérnök szakértője és tanácsadója. Ebben az időszakban főleg a fémek folyásával, a folyást közvetlenül megelőző és azt követő jelenségekkel, valamint a hengerlés

Kármán-féle differenciálegyenletének megoldásával foglalkozott. Beható kísérleteket végzett annak igazolására, hogy a folyási állapot bármely összetett igénybevétel esetén az oktaéderes nyírófeszültség egy jellegzetes határértékén következik be. A kutatóintézet által vezetése alatt végzett kísérletek kimutatták, hogy lágy acélananyagok esetében a folyási határ, nemkülönben a szakító erő és teljes nyúlás is, jelentősen függ a nyújtás sebességétől.

Tudományos munkásságának *negyedik* jelentős időszaka a nyugalomba vonulása (1949) utáni évekre esik. Ekkor írta élete legnevezetesebb munkáját, a *Theory of Flow and Fracture of Solids* című könyvét. E munkájában, melynek első kötete 1950-ben, második kötete pedig 1963-ban látott napvilágot, a fémek folyására és a törésjelenségekre vonatkozó elméleti és kísérleti eredményeket foglalta össze.

A képlékeny alakváltozás mechanikájával és az azt megelőző és követő állapotok problémáival foglalkozó könyvéről az MTA Műsz. Tud. Oszt. Közleménynek jelen száma részletes ismertetést közöl.

Kiterjedt tudományos munkásságának elismeréseként számos tudományos egyesület választotta tagjává. Tagja volt a *Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft*-nak, a *Helmholtz Gesellschaft*-nak, az *American Society of Mechanical Engineers*-nek, az *American Association of the Advancement of Science*-nek, a *Society of Rheology*-nak, a *Geophysical Union*-nak. Elnöke volt az *American Society of Mechanical Engineers* által a fémek plasztikus tulajdonságainak tanulmányozására életre hívott szakbizottságnak, felügyelője volt a washingtoni *National Research Council* kutatócsoportjának, valamint az amerikai nemzeti tudományos akadémia kutatási tervét megállapító bizottságnak.

A mechanika tudományának művelése terén szerzett érdemeit a különféle tudományos egyesületek legmagasabb kitüntetésekkel jutalmazták. Az *American Society of Mechanical Engineers* 1947-ben a *Worcester Reed Warner* aranyéremmel, majd 1958-ban a *Stephen Timoshenko* éremmel, a *Society of Rheology* az *Eugene Bingham*-éremmel (1952), a Franklin Társulat pedig 1960-ban az *Elliott Cresson* aranyéremmel tüntette ki.

Bár távol élt hazájától, magyar voltát sohasem tagadta meg, s mindig mély érzéssel gondolt vissza a Magyarországon eltöltött fiatalkori éveire. Midőn élete nagy műve, a *Theory of Flow and Fracture of Solids* II. kötete megjelent, meglehangú levél kíséretében ajánlotta fel annak egy példányát a Magyar Tudományos Akadémia könyvtárának. Levelében szeretettel emlékezik meg arról a középiskoláról, ahol tanult, s azokról a tanárokról, akik tanították:

„Őreg koromban szeretem emlékeimbe vissza hívni a boldog éveket, amikor 1893-tól 1901-ig annak a kitűnő, elsőrendű budapesti lipótvárosi Markó-utcai, nyolcz osztályos magyar állami főreáliskolának voltam egy tanulója. Azért is, mert a Markó-Főreáliskola felsőbb osztályainak akkor olyan kiváló tanárai voltak, akikhez hasonlókat más országok egyetemén is csak ritkán láttam. Jeles érettségi vizsgálatom után egy pesti táborig tüzér-ezredben

mint egyéves önkéntes szolgáltam. De szeretett hazámnak védelmére még egyszer behívtak engemet, ugyanis az első világháború idejében, a mely alatt négy évig voltam katona, az utolsó két hadi év alatt a dél-tiroli fronton az olaszok ellen, mint tiszt, ahol a Signum Laudis-éremet elnyertem.

Ilyenféle kellemes és egy pár szomorú háborúi visszaemlékezéseimmel töltött gondolataimmal tiszteletet ad nekem a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának ezekkel a sorokkal átnyújtanom az épen megjelent második kötetét a „Theory of Flow and Fracture of Solids” című könyvemnek, és azzal a kérelemmel, hogy ennek megjelenését a könyvkiadóm hivatalában: Mc. Graw-Hill Book Company, Inc., 330 West. 42nd Street, New York 36, N. Y. az *Önök Tudományos Folyóiratában* ismertessék és azután az Akadémiai Könyvtárnak adják át.”

Pár héttel levele kézhezvétele után megdöbbenéssel értesültünk haláláról. Távozása súlyos csapás számunkra, mert személyében a mechanikai tudományok világszerte ismert magyar származású, kiváló művelőjét veszítettük el.

A Szerkesztőség

NÁDAI ÁRPÁD

nevezetesebb tudományos munkái

1. Untersuchungen der Festigkeitslehre mit Hilfe von Temperaturmessungen. Berlin, Eberling, 1911.
2. Untersuchungen der Festigkeitslehre mit Hilfe des Thermoelektrischen Temperaturmessverfahrens. Diszertáció. Berlin, Eberling (1911).
3. Die Formänderung und die Spannungen von rechteckigen elastischen Platten. Berlin, Verein Deutscher Ingenieure. *Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens*, Heft: 170–171 (1915).
4. Die Biegungsbeanspruchung von Platten durch Einzelkräfte. *Schweizerische Bauzeitung* 76 (1920), 257–260.
5. Über die Spannungsverteilung in einer durch eine Einzelkraft belasteten rechteckigen Platte. *Der Bauingenieur* 2 (1921), 11–16.
6. Über die Biegung durchlaufender Platten und der rechteckigen Platte mit freien Rändern (Berlin). L. még: *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik* 2 (1922), 1–26.
7. Theorie der Plattenbiegung und ihre experimentelle Bestätigung (Berlin) 1922. L. még: *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik* 2 (1922), 331–340.
8. Die Verbiegungen in einzelnen Punkten unterstützter Kreisförmigen Platten (Leipzig). L. még: *Physikalische Zeitschrift* 23 (1922), 366–376.
9. Der Beginn des Fließvorganges in einem tordierten Stab. *Zeitschrift für Angewandte Mathematik u. Mechanik*. 3 (1923), 442–454.
10. Die Formänderungen und die Spannungen von durchlaufenden Platten, Berlin, Springer, 1924. L. még: *Der Bauingenieur* 5 (1924), 102–107.
11. Über die Gleit- und Verzweigungsflächen einiger Gleichgewichtszustände bildsamer Massen und die Nebenspannungen bleibend verzerrter Körper. Braunschweig, Vieweg, Berlin Springer, 1924. L. még: *Zeitschrift für Physik*, 30 (1924), 106–138.
12. Die elastischen Platten. Die Grundlagen und Verfahren zur Berechnung ihrer Formänderungen und Spannungen, sowie die Anwendungen der Theorie der ebenen zweidimensionalen elastischen Systemen auf praktische Aufgaben. Berlin, Springer 1925.
13. Darstellung ebener Spannungszustände mit Hilfe von winkeltreuen Abbildungen. Berlin, Springer 1927. L. még: *Zeitschrift für Physik* 41 (1927), 48–50.
14. Der bildsame Zustand der Werkstoffe. Berlin, Springer 1927.

15. Stress Distribution in Rotating Disks of Ductile Material after the Yield Point has been Reached. New York 1928. L. még: *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, 22 —. Társ szerző: Donnel L. H.
16. Plasticity. A.: Mechanics of the Plastic State of Matter, Assysted by A. M. Wohl (a német 1. kiadás bővített változata), New York, London. McGraw Hill, 1931. (Megjelent az *Engineering Societies Monographs* sorozatban.)
17. Plastic Behaviour of Metals in the Strain-Hardening Range. *Journal of Applied Physics* 8 (1937), 205–213.
18. Theory of Flow and Fracture of Solids. I. vol. New York—Toronto—London, McGraw-Hill, 1950. (Megjelent az *Engineering Societies Monographs* sorozatban.)
19. Theory of Flow and Fracture of Solids. II. vol. New York—Toronto—London. McGraw-Hill. 1963. (Megjelent az *Engineering Societies Monographs* sorozatban.)

BESZÁMOLÓ A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK MUNKÁJÁRÓL

GELEJI SÁNDOR

AKADÉMIKUS, OSZTÁLYTITKÁR

Elhangzott a Műszaki Tudományok Osztályának a Magyar Tudományos Akadémia
1963. évi Nagygyűlése keretében április 10-én tartott nyilvános ülésén.

I. Bevezetés

Az 1962. évi közgyűlés óta eltelt időszakban az Osztály tudományszervező és tudományos munkájában újabb eredményeket értünk el. Ennek ellenére még bőven van javítani valónk, hogy megfelelhessünk azoknak a célkitűzéseknek, melyeket a Párt VIII. Kongresszusa a tudomány és a tudomány munkásai számára kijelölt. A pártkongresszus határozatában megállapította, hogy a szocialista építésben elért eredményekhez a tudomány is jelentős mértékben hozzájárult. A szocializmusban a tudomány szerepe tovább nő, a tudomány közvetlen termelőerővé válik. Ezért a Párt évről évre növelni kívánja a nemzeti jövedelemnek a tudomány és a technika fejlesztésére fordított hányadát. Következésképpen fokozott mértékben nő a tudománnyal szemben támasztott igény is.

Különösen vonatkozik ez a műszaki tudományokra. Tudományos szakterületeink szoros kapcsolatban állnak a technika és termelés legkülönbözőbb ágazataival. Tudományos eredményeink nagymértékben segíthetik ezek fejlődését.

Tudósainknak és tudományos dolgozóinknak elsőrendű kötelessége, hogy minden képességüket a kijelölt cél szolgálatába állítsák, eredményeikkel megbecsülést szerezzenek a magyar tudománynak, és hozzájáruljanak az ország gazdasági felemelkedéséhez.

II. A kutatóhelyek eredményei

Ezek után áttérhetek az Osztály 1962. évi munkájának ismertetésére. Mindenekelőtt rövid áttekintést adok az Osztályhoz tartozó kutatóhelyek eredményeiről.

1. *Intézetek, laboratóriumok, kutatócsoportok*

Műszaki Fizikai Kutató Intézet

Az 1962. év folyamán az Intézetben több új tudományos eredményt értek el. Az *elektrolumineszcens csoport* több felismeréshez jutott az elektrolumineszkáló fény és villamos tér időbeli változása közötti összefüggésekre

vonatkozólag. A csoport kémiai részlege izzítás nélkül állított elő világító-kristályos cinkszulfidot. A *félvezető csoport* eredményeket ért el a germánium egykristályok diszlokációsűrűségének csökkentése és részleges kiküszöbölése terén. A diszlokáció keletkezésének okait vizsgálva, sikerült az iparban alkalmazott egyszerű kristálynövesztési eljárásban $2000/\text{cm}^2$ -nél kisebb diszlokációsűrűséget reprodukálhatóan előállítani. A félvezetők felületi jelenségeinek vizsgálata terén az Intézet szorosan együttműködik a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának Fizikai Intézetével.

Az 1962 áprilisában és szeptemberében megtartott prágai, illetve balatonföldvári konferencián kerültek nyilvánosságra azok az eredmények, amelyek a wolframból kilépő különböző szennyezések tömegspektrográfiai vizsgálatával kapcsolatosak, valamint a közel egy atmoszféra nyomású argonban lejátszódó ívképződésre vonatkozó vizsgálatok is. Eredményeket értek el a nemesgáz- és szénhidrogén-nyomok kimutatása, továbbá kiküszöbölése terén ultravákuumban. Az elektroncsőipar számára nagy jelentőségű lehet az oxidkatódok hőmérsékletének mérése és a kilépési munkára vonatkozó eljárások kidolgozása.

Újabb eredmények mutatkoznak a wolfram kristályosodási mechanizmusát, továbbá a kristálystruktúrának és hőkezelésnek a mechanikai tulajdonságokra gyakorolt hatását illetően. Eredményeket értek el a dendritkristályok diszlokációinak hőfokfüggése vizsgálatában is.

Automatizálási Kutató Laboratórium

A Laboratórium 1962-ben foglalkozott az automatika-elmélet fejlődésének legkorszerűbb kérdéseivel, a sztohasztikus folyamatok, mintavételező rendszerek és adaptív szabályozások vizsgálatával. A villamos számolóelemek és digitális berendezések elemei terén folytatott kutatásokban elkészült egy érintkezésmentes digitális jelbeadó kísérleti összeállítás. Kidolgozták továbbá a központi adatgyűjtő berendezések kommutátorát hajtó áramkörü egységet. Építőköcka rendszerű villamos szabályozó elemek kutatásában eredményként lehet megemlíteni a nagy időállandóval rendelkező PI szabályozó kísérleti összeállítását.

Digitális elven működő szabályozó kiegészítésére újabb impulzusadókat dolgoztak ki. Az autodinkutatások egyik jelentős eredménye a 25 kW-os autodin áttervezése 50 kW-os ± 220 V-os kimenő feszültségű feszültség-szabályozó-autodinné. A komplex automatizálás megvalósítására irányuló kutatások eredményeként elkészültek egy olyan nagyszabású mérésorozat tervei, amelynek segítségével az ammóniagyártás cirkulációs körének viszonyai pontosan felderíthetők. Ugyanebben a témában befejeződött a választott technológia egyik fő szakaszának műszerezésére vonatkozó tervek felülvizsgálata. A Laboratórium a „segítségnyújtás az iparnak” című témában a Klement Gottwald Villamossági Gyárral közösen méréseket végzett az új feszültség-szabályozó kivizsgálására. Ebbe a témába tartozik a Laboratórium analóg

számológépének üzemvitele is. Ennek kapcsán akadémiai és ipari intézmények részére több számítási feladatot oldottak meg. A Villamosgép- és Kábelgyár felkérésére hegesztő autodinén végeztek méréseket.

Geodéziai Kutató Laboratórium

A Laboratórium a felsőrendű alapvonalmérések vizsgálata terén folytatta az invar-drótok paramétereinek kísérleti mérésekből való meghatározására vonatkozó kutatásokat. A nemzetközi szélességszolgálat keretében a Nagycenk melletti asztrogeodéziai obszervatórium rendszeresen végezte észleléseit. Folytatták a geodéziai négyszögekre és a szektor módszer kiegyenlítésére vonatkozó kutatásokat. Számítástechnikai téren kidolgozták a Cholesky-eljárás általános alkalmazhatóságát. Új numerikus módszert fejlesztettek ki a térbeli légi háromszögelések hibaeloszlására. Vizsgálták a geodéziai műszerek teljesítőképességét és gazdaságosságát; új műszervizsgálati eljárásaik a külföld érdeklődését is felkeltették. E téren kifejtett munkájukkal több új műszerszabaddat is szereztek.

Geofizikai Kutató Laboratórium

A Laboratórium nagycenk-i obszervatóriuma 1962-ben is rendszeresen folytatta a földmágneses tér, a földi áramok, a légköri villamosság és a kisfrekvenciás zavarok időbeli változásának regisztrálását. Jelentős eredményt érttek el a földi elektromágneses tér hangfrekvencián aluli változásának kutatásában. Az „Upper Mantle Projets” keretében végzett villamos kéregszerkezeti vizsgálatokban komplex kutatási módszert vezettek be. A tellurikus frekvencia-szondázások értelmezésében alkalmazták a magnetotellurikus kutatások eredményeit, amivel sikerült néhány jelentős anomáliát megmagyarázni. Számítási eljárásokat dolgoztak ki az epicentrum meghatározására ellipszoidon. Ezt a munkájukat a kéregmozgásokkal foglalkozó nemzetközi konferencia különösen értékelte.

Geokémiai Kutató Laboratórium

Jelentős eredményt adott az ultraibolya-fényes rétegpárhuzamosítás kérdésének világviszonylatban is új bányabeli vizsgálata. Eddig az eocén pusztavám—oroszlányi medencében sikerült mintegy 12 km-es távolságban az előfordulás két telepét megbízhatóan azonosítani. A vizsgálatokat 1963-ban kiterjesztik a dorogi és tatabányai medencékre is. Kidolgoztak egy új, objektív mikroreflexióképeségmérő módszert, amely lehetővé teszi 1,5—5,0 mikron átmérőjű elegyrészek reflexióképeségének meghatározását. E fotomultiplieres módszer hibája 0,25%, és alkalmas ásványok (szénkőzet, érc, fémek) optikai jellegszámainak az eddigi módszerekkel el nem végezhető pontos megállapítására. A Laboratóriumban kidolgozott komplex devolatilizációs módszerek

meghatározták a fontosabb agyagásványok dehidrizációjának változását a nyomás és a hőmérséklet függvényében. Ezzel lehetővé vált az agyagos kőzet metamorfózisakor felszabaduló illók mennyiségének számítása.

Olajbányászati Kutató Laboratórium

A hazai kőolajok, rétegvizek és tárolókőzetek határfelületi tulajdonságainak és a határfelületi tulajdonságok befolyásolhatóságának vizsgálatával megállapították, hogy a kőolajok határfelületi koncentrációjának mérése alkalmas módszer lehet a rétegzonosításra. A mérésekből arra következtethettek, hogy az azonos rétegből termelt olajok azonos felületaktív tulajdonságúak.

A rétegvizek tenzometriás vizsgálatainak azt az eredményét, hogy a különböző rétegekből vett vízrétegminták jellegzetesen eltérő tulajdonságúak, az azonos rétegből vett minták viszont nagyon egyező tulajdonságúak, oszcillopolarográfiás módszerrel is megerősítették.

Gömbszemcsékből álló mesterséges szűrőtestek készítésére kidolgozott eljárásukra szabadalmat nyertek.

Ipargazdaságtani Kutató Csoport

Az Ipargazdaságtani Kutató Csoport folytatta tanulmányait az ipari állóeszközök fokozottabb kihasználására vonatkozóan. A levezetett összefüggések az üzemi munkarend, a dolgozók munkaideje és a beruházások optimális hatékonysága között (ezek a papíripar és a kohászat egyes üzemeiben már gyakorlatilag is beigazolódtak) lényegesen csökkenthetik a távlati tervezés beruházási szükségleteit.

Az Ipargazdaságtani Kutató Csoport ezzel kapcsolatos javaslatai 1963-ban vezető gazdasági szerveink elé kerülnek, és egy nemzetközi tudományos szimposium is foglalkozik majd velük.

Az automatika alkalmazásának gazdaságosságára vonatkozó kutatás során mintegy 200 megvalósított automatika adatait gyűjtötték össze. Ezeknek az adatoknak a folyamatban levő elemzése figyelemre méltó elvi és gyakorlati következtetésekhez vezethet.

2. Munkaközösségek

Áramlástechnikai Munkaközösség

Új kísérleti módszert dolgoztak ki, amely lehetővé teszi az áramlástechnikai gépek járókerekeiben kialakuló áramkép közvetlen megfigyelését, és különösen jó szolgálatot tesz a leválások helyének megállapítására.

A radiális átömlésű járókerekek vizsgálata terén új számítási módszert dolgoztak ki, amely tetszőleges meridiánmetszetenél előírt áramlási viszonyok mellett alkalmas nem végtelen-vékony lapátoszású járókerekek tervezésére.

Bányászati Munkaközösség

Az analitikus téma keretében kidolgozták a kapcsolt bányüzemek optimális termelési kapacitásának meghatározását; a többtelepes ásványelőfordulások együttes előkészítésének és fejtésének kérdését; a bányászati és ipari létesítményekkel kapcsolatos lokalizációs problémák megoldását, valamint az ásványvagyon-veszteségek műszaki-gazdasági értékelésére szolgáló alapok lefektetését.

Eredményeket értek el a nagy mélységű, magas közethőmérsékletű bányák klimatikus paramétereinek, így a mélyebb szintek szellőztetéséhez szükséges légmennyiségek megállapításában. Következtetéseket vontak le a természetes és mesterséges szellőztetés kölcsönhatása alapján a szellőztetőgépek gazdaságos üzemvitelére.

Eredményeket értek el a hidrociklon elméleti vizsgálatában, a flotációs folyamatok kinematikája terén, a flokuáló reagensek alkalmazásában és a gazdaságos őrlési folyamatok kutatásában.

Erősáramú Villamos Munkaközösség

Elkészült a tranziens analizátor első egysége, és tisztázták a géppel kapcsolatos programozási kérdéseket. A szilárd és gáznemű szigetelőanyagok villamos letörésével foglalkozó témakörben a turbógenerátorok rúdszigetelésére mérési módszert dolgoztak ki, amelyet átadtak az iparnak, és javaslatot tettek a szigeteléspróbák kiegészítésére. A kommutáció jóságának objektív megállapítására alkalmas módszer kidolgozása keretében elkészültek a szelektív csővoltmérős kommutátorfeszültségmérő tervei.

Építéstudományi Munkaközösség

A *tartószerkezetek* témakörben a beton szilárdsági és alakváltozási jellemzői közötti összefüggések kutatása befejeződött, a tiszta húzást kivéve. A könnyű adalékanyagos szerkezeti beton mechanikai tulajdonságainak vizsgálata is befejeződött, és kísérletek folytak hídszerkezetekhez való felhasználására.

A *szilárdságtani és stabilitási* problémák vizsgálatával kapcsolatos eredmény a kör alakú felülvilágító-nyílással áttört héjak erőjátékának vizsgálatára kidolgozott iterációs eljárás. A héjak erőjátékának vizsgálatával kapcsolatban említést érdemel a redőzött lemezek stabilitás-problémájának megoldására kidolgozott módszer.

A *vízgázdálkodási* témakörben 1962 folyamán elkészült a kútsorok vizsgálatára alkalmas nagyméretű modellberendezés, amelynek segítségével lehetővé válik a vízellátás céljait szolgáló kútsorok időszerű hidraulikai kérdéseinek felderítése. A zagyszállítással kapcsolatos mérő újszerű típustervei elkészültek, és a prototípus legyártásra került. A nagyobb vízépítési műtárgyak monográfiájának sajtó alá rendezése megtörtént.

A *duzzasztóművek hidraulikája* témakörben feldolgozták és folytatták a mozgógáták utáni utófenekek és energiacsillapítók hidraulikai méretezésére vonatkozó vizsgálatokat, továbbá megkezdték az irodalmi anyaggyűjtést a mozgógátakra működő erőhatásokkal kapcsolatos újabb vizsgálatokhoz.

A *talajmechanikai és alapozási* témakörben a helyszíni cölöpverési és próbaterhelési kísérletek tették lehetővé a szabvány végleges elkészülését. A csőcölöpök viselkedését is helyszíni kísérletek tisztázták.

A *földnyomási kérdések* elméleti kutatása terén kidolgozták a szivárgási erők figyelembevételének elvi módszereit és alternatíváit; az áramlási nyomás okozta többletföldnyomás számításához diagramok készültek.

Az *építészettörténeti* témakörben Magyarország építészetének történetével kapcsolatos adatgyűjtés folyamatban van, így többek között a budai barokk-korbéli építészet levéltári kutatásai, a veszélyeztetett népi műemlékek vizsgálata és dokumentációs feldolgozása. Ezenkívül az ötkötetes Magyar Építészettörténet első, „Magyarország építészetének története az államalapításig” című és negyedik, „A XIX. század építésze” című kötete az anyaggyűjtésen már túljutott, és feldolgozás alatt van. Folyamatosan készülnek Esztergom, Heves, Baranya és Somogy megye műemlékeinek felmérési munkái.

Gépszerkezettani Munkaközösség

Elvi síkon befejeződött a ridegtörés jelenségeinek tisztázására irányuló kutatómunka statikus igénybevételek esetén. Megállapították, hogy a többtengelyű és egyenlőtlen feszültségi állapot által okozott ridegtörési hajlam a törési munka segítségével egyértelműen jellemezhető.

A ridegtörési kutatás eredményeire támaszkodva, új hegeszthetőségi vizsgálati eljárást dolgoztak ki, amely 1963 februárjában a weimari nemzetközi hegeszthetőségi kongresszuson került bemutatásra.

Tisztázták a szemcsenagyság befolyását a fajlagos törési munkára, megállapítva azt, hogy a fajlagos törési munka tiszta fémeknél a szemcsenagyságtól gyakorlatilag független, vagy csak igen kismértékben függ tőle.

Eredményt értek el a törési munka területén, ahol megoldották annak a csavaró kísérletekből való kiszámítását.

A csavarkötések kifáradási vizsgálatát befejezték, és az iparilag használható értékes adatokat nyilvánosságra hozták.

Kalorikus Gépészeti Munkaközösség

A kutatómunka eredményeképpen javaslat készült a léghűtésű kondenzációs berendezések továbbfejlesztésére. Elméletileg megvizsgálták a lemez-bordás hőcserélők bordahatásfokát, és a vizsgálatokról idegen nyelvű közleményekben számoltak be.

A gázturbinák hazai alkalmazásával kapcsolatban javaslat készült olyan új energetikai kapcsolásra, amelynél a gázturbina ipari kemencék előtét-energiafejlesztő egysége.

A reaktortechnika terén befejeződött az újrendszerű reaktorfűtőelem-számítás, és előrehaladást értek el a terheléssel változó paraméterű atomerőmű kialakításában. A folyékony tüzelőanyagok vizsgálatával kapcsolatban a kísérletek alapján olyan összefüggést állapítottak meg, amellyel a porlasztási folyamat számszerűen értékelhető.

Kohászati Munkaközösség

A *képlékenyalakítás* témakörében a Kármán-féle hengerlési elméletet továbbfejlesztették, általánosan megoldották, és ezzel kapcsolatban a hengerlési nyomatókat pontosan definiálták, továbbá az alakosrudak maradósávadásának deformációs munkájára elméletet állítottak fel. Számítási módszert dolgoztak ki rúdsajtoltáskor a recipiensben keletkező axiális és radiális feszültségeknek, továbbá azok eloszlásának meghatározására. A kísérletek a módszer helyességét igazolták. Meghatározták a réz különböző sebességgel végzett melegduzzasztásokor keletkező feszültségeket az alakváltozás és az alakítási hőfok függvényében.

A *fémten* témakörében az acél edzhetőségének vizsgálata során kísérletek folytak az Ms hőmérséklet és a hűlési sebesség összefüggésének megfigyelésére. Ezenkívül olyan austenit szemnagyság-mérőmódszert dolgoztak ki, amely ötvözetlen acélnál is lehetővé teszi az austenit újrakristályosodásának a megfigyelését.

A *fémkohászat* témakörében vizsgálták a híg kénsavas oldással való mangánszulfátoldat-előállítás lehetőségeit. Tovább tökéletesítették és üzemi adatokkal ellenőrizték az alumínium-elektrolízis gazdaságos áramsűrűségének meghatározására kidolgozott módszert. A kénsavas cinkszulfátoldatra és a nyersólom réztelenítésére vonatkozó témák kísérletei folytatódtak.

A *vaskohászat* témakörében megállapították, hogy a kén oxidációjának a mechanizmusára a nyersvas kísérőelemei közül a karbon oxidációjának van a legnagyobb hatása. A legjobban kéntelenítő nagyolvasztó-salakok összetételeinek kialakítására több megállapítás született. Az acéltuskótápféj hűlési viszonyaira vonatkozó kísérletek befejeződtek. Az öntészeti nyersvasak szintetikus úton való előállítására előkísérleteket végeztek.

A *kohászati hőtan* témakörében a kohászati kemencékben való izzítás tényezőinek, valamint a nagyolvasztókoksok reakcióképességének vizsgálata eredményesen továbbfolyt.

Közlekedéstudományi Munkaközösség

Az aszfaltburkolatok stabilitásváltozásának vizsgálata során elért eredmények új előírások alapjául szolgálnak. Kidolgoztak egy olyan módszertani

útmutatást, amely lehetővé teszi az áruáramlás gazdasági elbírálását. A vasúti vágány megengedhető nyomtávmereteinek és irányhibáinak vizsgálata folytán lehetővé vált a tűrhető méreteltérések elméleti megállapítása. Az eredmények egyrésze folyamatosan hasznosításra is került.

Nehézipészeti Munkaközösség

Számos vizsgálatot folytattak az I-keresztmetszetű hegesztett tartók gerinc- és övhorpadási jelenségeinek tisztázására, továbbá a tartók teherbírásának meghatározására.

Korszerű mérőműszert készítettek hegesztő varratok zsugorodási vizsgálataihoz, és hozzáfogtak a sokoldalú módszeres mérésorozathoz. Iparilag hasznosítható részeredményt értek el különböző sínek termithegesztésének minősítésében. Lehetőség nyílt a sínhegesztő termitpor hazai szabadalmaztatására és a termittel előlegejtett gyorshegesztés kidolgozására.

3. Céltámogatott tanszékek

ELTE Földtani Intézet

A budai hegység fontosabb triász-szelvényeiből gyűjtött ősmaradványok rétegtani értékelése alapján az Apáti szikla ladini emeletbe sorolt kőzetösszetételének karni kora igazolódott. A fauna értékelése alapján a Pilis-hegység eddigi kösszeni-szintbelinek tartott mészképződményei is karni korúaknak bizonyultak. Új megállapítás, hogy a dachsteini mészkő képződése a Dunabalparti rögökben a karni emeletben kezdődött. A negyedkori képződmények vizsgálata terén a kifagyásos ásványos kéregképződés módjáról elkészült tanulmány nemzetközi szintű megoldást ad a meszes-vasas-mangános kéregképződésre mind a pleisztocén, mind pedig a mai periglaciális övben.

ELTE Geofizikai Tanszék

Kidolgozták a kéregmozgások elméletét a dinamikus földmodell energetikai adatai alapján. Megkezdték a belső szerkezeti vizsgálatok kiterjesztése érdekében a geotermikus és paleomágneses adatgyűjtéseket. A szeizmológiai kutatások terén az obszervatóriumi munka bővült. Kísérleti úton tanulmányozták a felületi hullámok diszperzióját.

Vezetéknélküli Híradástechnikai Tanszék

Elkészültek a tervezett színes diabontó főbb áramkörei, továbbá a bontócső-áramkörök, valamint a három alapszínű csatorna elő- és főrősítői tápegységeikkel. Megtervezte a tanszék a bontó optikai részét is.

Az ultrahangfizikai vizsgálatok terén az ultrahanglencsék működési mechanizmusának tisztázása érdekében elméleti kutatómunka folyt.

A kísérleti munkával kapcsolatban a visszaverődésmentes ultrahangtér kialakításával értékes részeredmények születtek.

Vezetékes Híradástechnikai Tanszék

Az elektronikus digitális számológépek működési sebességének és megbízhatóságának növelése terén az elmúlt évben főleg elméleti jellegű munka folyt.

A nyelvtisztítási automataberendezés és az áramkörök tervezése befejeződött. Nyelvtudományi konferencián előadásban ismertették a berendezés célját és működését.

Finommechanikai és Optikai Tanszék

Az optikai spektroszkópiai kutatás keretében végzett munka legjelentősebb eredménye az időben felbontott optikai berendezés elkészítése és annak kipróbálása volt. A már korábban kidolgozott szaggatott ívgerjesztőberendezések kiegészítése is megtörtént.

III. Az Osztályvezetőség tevékenysége

Az Osztályvezetőség 1962. évi tudománypolitikai jellegű tevékenysége középpontjában továbbra is az *önálló akadémiai kutatóhálózat megteremtése* állt. Az Elnökség határozatának megfelelően az Osztályvezetőség kidolgozta az Osztály *távlati intézetfejlesztési tervét*, amelyet a műszaki tudományok jelenlegi helyzetének beható elemzése előzött meg. Részletesen tanulmányoztuk ezt a kérdést a népi demokratikus országokban is. E munkának eredményeképpen kialakult az Osztály egységes álláspontja. Eszerint feltétlenül szükség van egy *Műszaki Alaptudományok Intézetére* és az *Automatizálási Laboratóriumnak* intézetté való felfejlesztésére.

A *Műszaki Alaptudományok Intézete* nem nagyköltsgű épületekben fokozatosan épülne fel, mintegy 280 főnyi összlétszámmal. A létesítendő Intézet tervbe vett hét épületében a következő kutatórészlegek elhelyezését tervezzük:

- műszaki mechanika és rezgésstan;
- elméleti mechanikai technológia;
- fémstan;
- hidromechanika és aeromechanika;
- elméleti metallurgia és műszaki hőtan;
- elméleti villamosságstan;
- akusztika, fénytán és spektroszkópia.

A Műszaki Alaptudományok Intézete négy szakaszban jöhetne létre, és 1967 végéig az összes épület üzembehelyezése megtörténhetnék. Az Osztály-

vezetőség az említett tudományszakok hazai művelését feltétlenül szükségesnek tartja.

Ami az *Automatizálási Laboratóriumot* illeti, az Akadémia Elnöksége, valamint a Tudományos és Felsőoktatási Tanács még korábban elhatározta a Laboratóriumnak intézetté való fejlesztését, továbbá a székháznak még az 5 éves tervidőszakban való megépítését. Elkészült a beruházási program, megtörtént a telek kijelölése, és elkezdődött a székház tervezése. Kívánatos volna, ha a budapesti telepítés kérdése is mihamarább rendeződne, nehogy ennek hiányában a tervezés és az építkezés késedelmet szenvedjen.

A távlati intézetfejlesztési terv kidolgozása során felmerült az a gondolat, hogy létre kellene hozni egy, a földtudományok területén működő alap tudományi intézetet is, amelynek — elképzelésünk szerint — a jelenlegi laboratóriumok tudományágai lehetnének az osztályai. Ennek a megvalósítása azonban a távolabbi jövő kérdése, mert létesítésének előfeltételei még nincsenek meg. A földtudományok területén folyó kutatás rövidebb távlatú fejlesztésére egy régebbi javaslat alapján Szeizmológiai Osztályt állítanának fel az ELTE geofizikai tanszékén, amelynek tudományos felszerelése már ma megvan.

Az Elnökség magáévá tette az Osztályvezetőségünk által kidolgozott távlati intézetfejlesztési tervet, és pártolólag terjesztette a felső szervek elé. Bízunk abban, hogy lehetővé válik a Műszaki Alaptudományok Intézetének terv szerinti felépítése, annál is inkább, mert a VIII. Pártkongresszus a műszaki alapkutatót is az elsősorban fejlesztendő tudományok között jelölte meg.

Már az 1962. évi közgyűlésen ismertettem, hogy a távlati kutatási tervnek a kormány által való megerősítése után Osztályunk három tudományos főfeladat felelőse lett. E munkát közvetlenül a koordináló bizottságok irányítják. Megállapítható, hogy a koordinációs munka sok olyan előre nem látott, bonyolult problémát vetett fel, amelynek megoldása még hátra van. Jelentős az irányítás bürokratizálódásának veszélye is.

Az Osztályvezetőség e fő gondja mellett tervszerűen foglalkozott intézetek, munkaközösségek, akadémiai és nemzeti bizottságok munkájának *ellenőrzésével*. Ezt a tevékenységet a már néhány éve bevezetett opponensi rendszer alkalmazása teszi alaposabbá. Megkezdtük az osztályvezetőségi üléseknek a soron levő intézetben való megrendezését is. Elsőnek az Automatizálási Kutató Laboratórium és az Automatizálási Bizottság beszámolóit vitattuk meg a helyszínen. Ez az ülés azonban nem sikerült úgy, mint szeretttük volna, mert több osztályvezetőségi tag távol maradt. Pedig az a véleményünk, hogy az Intézet dolgozóira kedvező hatást gyakorol, ha az Osztályvezetőség a kutatókat felkeresi és érdeklődik munkájuk iránt.

Az Osztályvezetőség ismételten napirendre tűzte a *tudományos dolgozók szakmai és ideológiai munkájának megvitatását*. A tervszerű ideológiai munka keretében kutatóink tanulmányozzák a marxista filozófiát, ideológiai vitákat rendeznek élükön az intézeti igazgatókkal. Különös részletességgel dolgozták

fel a Párt VIII. Kongresszusának irányelveit. E munkáról az igazgatók az Osztályvezetőséget rendszeresen tájékoztatják.

Az Osztályvezetőség tovább folytatta az egyetemeken rendelkezésre álló akadémiai *kutatás koncentrációját* és a Művelődésügyi Minisztérium képviselőivel folytatott tárgyalások után 15 egyetemi tanszék tudományos munkájának támogatását adta át a Művelődésügyi Minisztériumnak. A Műszaki Alaptudományok Intézetének megvalósításával párhuzamosan további tanszékek támogatását adjuk át a Művelődésügyi Minisztériumnak. Addig is azonban, amíg ez megtörténik, rögzíteni kell az Akadémia szerepét az egyetemi kutatásban, mert jelenleg több olyan probléma merül fel, amely a kutatás eredményességét zavarja.

Az Osztályvezetőség megvizsgálta az akadémiai bizottságok munkáját. Az utóbbi évek tudományszervezési munkája során számos olyan szervezés történt (Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság, koordináló bizottságok a főfeladatok irányítására), amely átfedéseket okoz a sokféle bizottság munkájában, amiért számos tisztázatlan kérdés merül fel. Ennek ellenére általános az a vélemény, hogy az akadémiai bizottsági rendszer hasznos és szükséges. Hangsúlyozzuk, hogy mielőbbi rendezésre és a feladatok pontos elhatárolására van szükség. Itt meg kell jegyezni, hogy az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság és az akadémiai bizottságok viszonya kedvezően fejlődik. Az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság szervezete és az akadémiai bizottságok között rendkívül szoros a személyi kapcsolat. Csaknem valamennyi akadémikusunk és bizottságunk tagja közreműködik az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság bizottsági rendszerében. Ezenkívül egyes bizottságaink (pl. Híradástechnikai Bizottság és albizottságai) számos javaslattal és előtanulmánnyal segítettek elő az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság munkáját.

Bizottságaink főfeladatának kell tekinteni az akadémiai kutatás munkájának irányítását és ellenőrzését, valamint az elért eredmények gyakorlati alkalmazásának elősegítését. Főleg ezen a ponton van szükség a koordináló bizottságok munkájával való összehangolásra. Bizottságaink kivétel nélkül behatóan foglalkoznak a tudományos káderutánpótlás fontos problémáival (aspiránsfelvételi és kandidátusi vizsgák, disszertációk lebonyolítása).

IV. A bizottságok munkássága

A következőkben röviden ismertetem bizottságaink 1962. évi munkásságát, azonban a kutatást ellenőrző és irányító, valamint káderfejlesztési tevékenységüket külön nem említem meg.

Földtani Bizottság

A Földtani Bizottság szakterületének több alapvető fontosságú kérdését vitatta meg. Ezek közül kiemelendő az, hogy megvitatta Magyarország át-

nézetes és részletes földtani térképsorozatainak első, nyomdába adásra kerülő anyagát. Megemlítjük továbbá azt a javaslatot, amely a Magyarország földtani térképeinél alkalmazandó egységes jelkulsrendszer általános bevezetésére és az 1963. évi alapfúrások kijelölésére vonatkozik. Foglalkozott még a Bizottság a földtani kutatások koordinálásával is.

Geokémiai Bizottság

A Geokémiai Bizottság ülésein a különleges szakterület több alapvető kérdése került előadásra és megvitatásra. Foglalkozott a Bizottság a hazai geokémiai kutatások koordinálásával, valamint nemzetközi szinten az abszolút földtani kormeghatározási módszerek kritikájával. Az oktatási reform kapcsán véleményt nyilvánított az ásványtan és geokémia szerepéről a vegyészképzésben. Beszámoló hangzott el India földtanáról és a katalániai Nemzetközi Vulkanológiai Kongresszusról. Ezzel kapcsolatban megvitták a hazai felhasználás szempontjából azokat a geokémiai eredményeket, amelyeket más földtani jellegű területek szolgáltattak.

Geofizikai Bizottság

A Bizottság 1962 folyamán folytatta a geofizikai helyzetkép teljes feltárását. A helyzetkép alapján meghatározott fejlesztési irányok részletes kidolgozását négy albizottságra bízta, amelyek feladata volt az országos gravitációs áttekintő térkép elkészítésének irányítása, a gravitációs mérések földtani értelmezésének kidolgozása, a korszerű szeizmikus műszer specifikálása, különös tekintettel a földtani finomszerkezetekre, továbbá műszerfejlesztési kérdések megoldása és a koordinációs feladatok ellátása. Az albizottságok munkájuk során konkrét eredményeket értek el.

Geodéziai Bizottság

Behatóan és ismételten foglalkozott a Bizottság a magyar geodéziai műszergyártás kérdésével, mert az export növelésének nagy lehetősége van.

A műszeripar és felettes szervei a Bizottságnak a gyártásra vonatkozó véleményeit és javaslatait messzemenően figyelembe vették. Ezeket a jövőben is igénylik. A jó együttműködés egyik kézzelfogható megnyilvánulása, hogy az export mind a baráti országokba, mind pedig tőkés viszonylatban ugrás-szerűen megnövekedett.

Bányászati Bizottság

A Bányászati Akadémiai Bizottság a Középdunántúli Szénbányászati Tröszt előterjesztett tanulmánya alapján foglalkozott a Dunántúl egyik legnagyobb bányászati egységének műszaki fejlesztési problémáival, és többek között megállapította, hogy a termelékenység és gazdaságosság növelése érdekében ezen a területen a mozgó fejtési biztosítás bevezetését kell szorgalmazni.

A javaslattal a Nehézipari Minisztérium illetékes vezetői is egyetértettek. A Bizottság az irányítása alatt működő albizottságok által előkészített tanulmányok alapján foglalkozott még a bányászati beruházások gazdaságosságának kérdéseivel és a gazdaságosság kimutatására szolgáló számítási metodika bírálatával. Ezzel egyidejűleg tárgyalta a bányászatban alkalmazott amortizációs kulcsok, valamint a létesítmények építési időtartamának kritikáját.

Vízgazdálkodási, Vízépítési és Hidrológiai Bizottság

A Bizottság ankétot tartott a „Kismintavizsgálatok a vízgazdálkodásban” címmel. Az ankéton elhangzott előadások számos új kutatási irányzatról, illetve új elméleti eredményről számoltak be.

A Bizottság kezdeményezésére az Országos Vízgazdálkodási Keretterv részletes felülbírálatára komplex akadémiai bizottság alakult. A bizottság munkája helyes irányelveket rögzített le, amelyeket a keretterv elkészítésénél figyelembe vettek.

Kohászati Bizottság

A Kohászati Bizottság — részint albizottságain keresztül — több olyan fontos ipari problémát vitatott meg a tudományos kutatással összefüggésben, amelyek hazai nyersanyagaink racionális felhasználására vonatkoztak. Így megvitatta a hazai karbonátos mangánércsek hasznosítására végzett kísérleteket és átiratot terjesztett ez ügyben az illetékes főhatóságok elé. Tárgyalta a hazai bauxitok komplex feldolgozására irányuló kutatásokat és a félüzemi kísérletek végzése mellett foglalt állást. Több alkalommal foglalkozott a jelenleginél nagyobb szilárdságú szerkezeti acélok problémáival.

Gépészeti Bizottság

A Bizottság szocialista együttműködése keretében részletes tárgyalást folytatott a Ganz-MÁVAG gyár műszaki vezetőivel, és mélyreható bírálatban részesítette a vállalat kitűzött kutatási és fejlesztési programját. A Bizottság felkérésére az egyes témákban közvetlen kapcsolat alakult ki a gyár érdekelt részelei és a megfelelő egyetemi tanszékek között.

A Gépszerkezetek méretezése albizottság előkészítése alapján a Bizottság megvitatta a „műanyagok felhasználása szerkezeti anyagként a gépészeti gyakorlatban” című helyzetfelmérő tanulmányt. Tekintettel a téma nagy népgazdasági jelentőségére, javaslatot dolgoznak ki az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság számára a további országos tennivalók megvalósítása érdekében.

Erősáramú Villamos Bizottság

A Bizottság megtárgyalta a turbógenerátorok rúdszigetelésével kapcsolatos kutatómunkát, és útmutatásokat adott az erőművekben szükséges mérés-

sekre, illetve az eredmények felhasználására. Megvitatta továbbá a villamos energiarendszerek frekvencia-tényezőjére vonatkozó tanulmányt, és több kiegészítést javasolt, amelyek KGST vonalon hasznosíthatók voltak.

Kalorikus Bizottság

A Bizottság foglalkozott a hűtéstechnika terén fennálló tudományos káderhiánnyal, és folyamatban van az ennek felszámolását célzó aspirantúra-javaslat kidolgozása. A Bizottság két albizottságot hozott létre, és részletesen megvitatta, mi legyen tudományos munkaterületük behatárolása.

Könnnyűipari Bizottság

A Bizottság tevékenységét elsősorban albizottságain keresztül fejtette ki. A Faipari Albizottság a fahelyettesítő anyagok szilárdsági, nedvességfelvételi és reológiai tulajdonságaival, valamint a hő- és hangszigetelés vizsgálati módszereivel foglalkozott. A vita eredményeképpen az albizottság az ismételt igénybevétel, a tartós terhelés és a fáradtság vizsgálatára vonatkozóan értékes útmutatásokat adtak a további kutatómunkához. A Szárítási Albizottság a szárításkutatás fejlesztésére tett figyelemre méltó javaslatokat. Ezeken kívül a többi albizottság is érdekes kérdésekkel foglalkozott. Így a Textilipari Albizottság a textilanyagok statikus villamos feltöltődésével kapcsolatos kutatást, a Papíripari Albizottság pedig az újabb hazai cellulóze- és papírkutatási eredményeket tárgyalta.

Híradástechnikai Bizottság

A Bizottság megvitatta a félvezetőanyagok hazai kutatásának helyzetét, és megállapította, hogy e nagy tradícióval rendelkező (vákuumtechnikai) területen nagy az elmaradás. Ezzel kapcsolatos véleményét javaslat formájában eljuttatta az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsághoz.

Foglalkozott a Bizottság a hazai telefonközpontok fejlesztésének kérdésével. A széles keretek között lefolyt vita tisztázta az elektronikus központok fejlesztésének mértékét és ütemét, valamint rámutatott az integrálrendszerre, mint a jövő telefonközpontjának korszerű típusára.

Építészettörténeti és Elméleti Bizottság

A Bizottság tudományos feladatait az Építéstudományi Munkaközösségen keresztül oldja meg. Ennek keretében folyamatosan végeztet kutatásokat a „Magyar Építészettörténet” és a „Nagy magyar építészek” monográfiásorozat, valamint a műemlékvédelmi és építészetelméleti tárgykörben. Az Akadémiai Kiadónál e sorozatok keretében megjelenő munkákat tudományos vonatkozásban előkészíti, a szerzők munkáját irányítja és megvitatja. A külföldi szakirodalomban megjelent magyar vonatkozású részeket kritikailag érté-

kelte, és a hiányok pótlása céljából a külföldi szakírók tájékoztatására szöveg- és fényképdokumentációt bocsátott rendelkezésre.

Építéstudományi Bizottság

A Bizottság felülvizsgálta az építőipar területén érvényben levő szabványokat és szabályzatokat, majd ezzel kapcsolatban több módosító javaslatot állított össze a Magyar Szabványügyi Hivatal részére.

Részletes beszámolót készített az ipari és mezőgazdasági építés tipizálásának eddigi eredményeiről. Megvitatta a tömeges lakásépítkezéseknél alkalmazott alapozási eljárásokat, továbbá előterjesztést állított össze a feszített vasbetonszerkezeteknél alkalmazott acél minőségének a megjavítására. Az elaborátumokat az Építésügyi, illetőleg a Kohó- és Gépipari Minisztériumnak megküldte.

Ipargazdaságtani Bizottság

A Bizottság megvitatta a Varsóban megtartott nemzetközi ipargazdaságtani konferencia anyagát. Ezzel kapcsolatban több fontos határozatot hozott a konferencián összeállított ipargazdasági kutatások jegyzékének felhasználásáról és az ezzel kapcsolatos tennivalókról, valamint az ipargazdaságtani kutatásokkal kapcsolatos dokumentációk nemzetközi cseréjéről a KGST-hez tartozó országok megfelelő intézményei között.

Közlekedéstudományi Bizottság

A Bizottság az 1962. évben arra törekedett, hogy a Távlati Tudományos Kutatási Tervben foglalt célkitűzések kidolgozására irányítsa a tudományterület, az albizottságok, valamint a Közlekedéstudományi Munkaközösség tudományos munkásságát. Az irányítása alatt működő albizottságok (a Vasúti közlekedési, Közúti és városi közlekedési, valamint Hajózási Albizottság) vitára tűzték ki a terv fontosabb témáit.

Szilikátkohászati Bizottság

A Bizottság megtárgyalta a tűzálló anyagipari kutatás kérdéseit, különös tekintettel a kohászat által támasztott fokozottabb igények kielégítésére. Megvitatták a nemzetközi szabványosítás által elfogadott új vizsgálati módszereket, amelyeket hazánkban is alkalmaznak.

Műszaki Tudománytörténeti Bizottság

A Bizottság foglalkozott a technikatörténeti kutatás jelenlegi állásával és a műszaki múzeum ügyével. A Bizottság megállapította, hogy szükséges a sok területen folyó kutatómunka összefogása, mert az ez idő szerint sem országos múzeummal, sem egyetemi tanszékkal, sem kutatóintézettel nem rendelkezik. Ennek érdekében a Bizottság feladatául tűzte ki a magyar technika-

történeti bibliográfia szerkesztési elveinek lefektetését, az anyaggyűjtési munka megszervezését, továbbá a műszaki és ipari emlékek tudományos topográfiájának megtervezését.

V. Előadások, konferenciák

Az 1962. év folyamán az Osztály rendezésében 19 előadás, illetve székfoglaló és felolvasó-ülés, 1 kollokvium, 1 ankét, 1 munkabizottsági ülés és 2 konferencia került megtartásra. Az előadások közül 3 székfoglaló, 10 pedig külföldi vendégtudós előadása volt.

1. Székfoglalók

Székfoglalót tartott

HEVESI GYULA akadémikus „Többműszakos és folyamatos munkarendek egyes gazdasági, szervezési és szociális kérdései”;

MILLNER TIVADAR akadémikus „Idegenanyag-nyomok viselkedése wolfram-fémekben”;

BOGÁRDI JÁNOS levelező tag „A hasonlóság kérdése hordalékos vízfolyások kismintavizsgálatainál”;

KOZMA LÁSZLÓ levelező tag „Távbeszélőtechnikai fejlesztési problémák” címmel.

2. Külföldi tudósok előadásai

A következő külföldi tudós vendégeink tartottak előadást:

Prof. Dr. A. M. FREUDENTHAL,

Prof. Dr. E. D. HANUKOV,

Prof. Dr. A. KRUPKOVSZKI,

Prof. Dr. h. c. K. LEDERSTEGGER,

Prof. Dr. J. A. LERNER,

Prof. Dr. Ing. habil. K. NEUBERT,

Prof. Dr. G. A. PRUGYENSZKIJ,

Prof. Dr. I. ROSENQUIST,

Prof. Dr. Sz. V. SZERENZEN és

Prof. Dr. A. M. TEREININ.

3. Konferenciák

Az Automatizálási Kutató Laboratórium március hónapban 2 napos *Automatizálási Kollokviumot* rendezett. Első alkalommal vitatták meg és értékelték a hazai automatizálási szakemberek eredményeit és munkásságát tar-

talmazó tanulmányokat. A kollokvium kedvező tapasztalatai alapján a Laboratórium minden évben kíván ilyen vitát rendezni.

Május 29. és június 2. között rendeztük meg Budapesten a Berliini Német Tudományos Akadémia keretében működő *Nemzetközi Kőzetmechanikai Iroda* „*Kőzetmechanikai mérési módszerek és mérőeszközök*” munkabizottságának ülését. A munkabizottság a tárgyalások eredményeként kialakította azt a metodikát, amellyel a különböző országokban, eltérő bányászati adottságok mellett végzett mérések eredményeit össze lehet hasonlítani. Így ezek a tudományos kutatás számára felhasználhatók lesznek. Az ülészakon 12 külföldi szakember vett részt.

A Vízgazdálkodási, Vízépítési és Hidrológiai Bizottság októberben egy napos *ankétot* rendezett a „*kismintavizsgálatok a vízgazdálkodásban*” kérdéseinek megvitatására, az öntözés, természetes vízfolyások, a szivárgási jelenségek stb. területén. Az ankét határozati javaslatokat dolgozott ki a kismintavizsgálatok fejlesztésének elősegítésére.

Ugyancsak egy nemzetközi szerv, a *Nemzetközi Geofizikai Együttműködés Európai—Ázsiai Régiója VI. Konferenciáját* október 10. és 16. között rendeztük meg. A konferencia célkitűzése volt a Nemzetközi Geofizikai Év keretében megkezdett geofizikai kutatások során elért eredmények értékelése, az észlelési adatok kicserélése és a kutatási munka módszereinek összehangolása. A kooperáció érdekében fel kell készülni a Nyugodt Nap Évére is. A tanácskozások után 32 javaslatot fogadtak el, amelyek egy része a nemzetközi együttműködés fejlesztésére, másik része a régión belüli koordináló munka megjavítására, harmadik része pedig az egyes országoknak a Nyugodt Nap Éve munkálataiban való részvételére vonatkozott. A konferencián 22 külföldi szakember vett részt. A tárgyalásokat követő 2 konferencia napon 26 tudományos előadás hangzott el a geofizika különböző területeiről.

E két munkabizottsági ülésen nehézségek mutatkoztak a tolmácsolásnál. Pedig ennek a problémának a megoldása mindinkább előtérbe kerül, mert egyre több országból érkeznek külföldi szakemberek konferenciáinkra.

Október 18. és 23. között tartottuk meg „*A történeti városközpontok fejlesztése — építészettörténeti kérdések*” tárgyú konferenciát. A szocialista országokban a két témakör művelésére már évek óta működnek témabizottságok. A konferencia célja e bizottságok eredményeinek áttekintése és az együttes munka továbbfejlesztése volt.

A konferencia keretében rendezett háromnapos tanulmányúton a külföldi és hazai résztvevők a helyszínen tanulmányozhatták és vitathatták meg a történeti városközpontok újjáépítésében és az új műemléki helyreállításokban realizálódott hazai tudományos fejlődést. Ezek a helyszíni viták nemcsak a sajátos magyar műemlékvédelmi problémák tisztázásához nyújtottak segítséget, hanem lehetővé tették az eredmények általánosabb értékelését és nemzetközi hasznosítását is. A konferencián 30 külföldi szakember vett részt.

VI. Nemzetközi kapcsolatok

Az Építéstudományi Bizottság acélszerkezeti szakbizottsága 1962. november havában az érdekelt iparágak és tervezők bevonásával sikeres ankétot rendezett a vékonyfalú acélszerkezetek gyártási, tervezési és alkalmazási problémáinak megvitatására.

A baráti országok akadémiaival fennálló egyezmények keretében műszaki tudományos együttműködési határozat alapján 2—12 hetes tanulmányútra küldtünk 27 személyt. Konferenciákon és kongresszusokon a szocialista országokban 6, a nyugati országokban pedig 54 személy vett részt, illetve 33-an tartottak előadást. Osztályunk kiküldetésében tehát összesen 120 tudós vagy tudományos munkatárs járt 1962-ben külföldön.

A baráti országokon kívül rendszeresen küldtünk kutatókat Franciaországba, Olaszországba, Finnországba, és remélhető a nyugati tanulmányúti csere további kibővülése is.

Ugyanakkor Magyarországon akadémiai egyezmény keretében 43 személyt láttunk vendégül, vagy elősegítettük tanulmányútjuk eredményességét. 1 lengyel kutató hat hónapon keresztül tanulmányozta a magyar spektroszkópiai eredményeket.

A tudósok meghívására fenntartott keretből 13 külföldi vezető szakember járt nálunk és tartott előadást, illetve konzultált hazai szakemberekkel.

Konferenciáinkon, tudományos ülésszakainkon 64 külföldi szakember vett részt, és így Osztályunk külföldi vendégeinek száma együttesen 119 főt tett ki.

Az 1962-es év egyik új eredménye az, hogy a külföldi tanulmányutak kerete mind szocialista, mind tőkés viszonylatban néhány hosszú, 6—8 hónapos tanulmányút lehetőségével bővült.

Ugyancsak bővült azoknak a témáknak száma is, amelyeknek közös kidolgozására a baráti államok akadémiaival egyezményeket kötöttünk. 1962-ben 34 ilyen közös kutatási témát tartottunk nyilván. Ezeknek egy kis részében koordinált és egymást kiegészítő kutatómunka folyt, a nagyobbik része pedig tanulmányutak eredményes lebonyolítására adott lehetőséget.

Ilyen egymást kiegészítő kutatómunka folyt pl. az MTA Áramlástan Munkaközösségének a Román Tudományos Akadémia temesvári kutatóbázisával létesített szerződése keretében. A közös cél az örvényszivattyúk szívóképességének vizsgálata.

Közös kutatómunkát végzett az Áramlástan Munkaközösség is a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának Mechanikai Intézetével, a kavitációs-erózió mérethatásának vizsgálata terén.

Eredményesnek bizonyult a Gépszerveztani Munkaközösség és a Román Tudományos Akadémia Műszaki Kutatási Központja közötti együttműködés is a fémek fáradásának vizsgálata terén.

A Műszaki Fizikai Kutató Intézet és a berlini Akadémiai Fizikai Intézet közötti együttműködés keretében alkalom kínálkozott a „Fémek zónás olvasztással történő tisztítása” tárgyú téma továbbfejlesztéseképpen kidolgozott Schmidt-tényező diagramoknak a német intézetben való ellenőrzésére.

Ugyancsak eredményes az Építéstudományi Munkaközösségnek a cseh-szlovák, román, lengyel, Német Demokratikus Köztársaságbeli és bolgár akadémiák építészettörténeti részlegeivel már évek óta folyó együttműködése. Ennek célja a közép-európai országok építészeti tevékenységének a marxista tudományosságnak megfelelő szinten történő vizsgálata és az ezzel kapcsolatos elméleti és gyakorlati — műemlékvédelmi problémák — közös megoldása.

Meg kell emlékezni a szocialista akadémiák varsói tanácskozásáról is. A Szovjetunió Tudományos Akadémiája március hóban Varsóba összehívta a szocialista akadémiák értekezletét, amelynek egyik célja az volt, hogy a kétoldali megállapodásokban eddig több-kevesebb sikerrel folytatott közös kutatásokat tervszerűbbé tegye és azokban célszerű munkamegosztást valósítson meg. A többoldalú együttműködés lehetővé tenné a szocialista országok tudományos kapacitásának, műszereinek hatékonyabb kihasználását, a felesleges párhuzamosság kiküszöbölését, és végeredményben meggyorsítaná a baráti országokban a tudományfejlesztés tempóját. Osztályunktól ilyen közös kutatási témaként a „félvezetőkkel és félvezetők anyagaival kapcsolatos kutatások” c. témát fogadták el. Ennek a témának koordinációs és szervezési feladatait a Csehszlovák Tudományos Akadémia látja el.

VII. A tudományos minősítési munka

Az 1963. márciusi adatok szerint az Osztályhoz 17 akadémikus, 19 levelező tag, 82 doktor és 401 kandidátus tartozik.

12 rendes, 70 levelező és 250 önálló aspiránsunk van, akiket 1959—62. években vettünk fel. A Szovjetunióban 16 rendes és 30 levelező aspiránsunk kiképzése van folyamatban. Hazánkban jelenleg 7 külföldi aspiráns működik.

Az 1962. év folyamán a Tudományos Minősítő Bizottság Műszaki Szakbizottsága 5 doktori és 53 kandidátusi értekezés nyilvános vitáját engedélyezte. Ebből a Tudományos Minősítő Bizottság 2 doktori és 33 kandidátusi védést hagyott jóvá. A nyilvános viták egyre tartalmasabbak, az opponensek és bírálóbizottságok fokozottabb követelményekkel lépnek fel. Nem ritka az elutasítás sem: a Tudományos Minősítő Bizottság a nyilvános viták alapján 1 doktori és 5 kandidátusi értekezést utasított el.

Folyamatban van 5 doktori és 29 kandidátusi értekezés elbírálása.

A szakbizottság, de általában a tudományos minősítés munkáját rendkívül hátráltatja az, hogy egyes felkért opponensek az előírt és általuk is

vállalt három hónapos határidőt nem tartják be. Sokszor egy évig vagy még tovább is elhúzzák a bírálathoz benyújtását. Az Osztály minden tőle telhetőt megtesz a határidő pontos betartásáért és a késések felszámolásáért. Ez alkalommal is a legnagyobb határozottsággal felkérem a tudományos fokozattal rendelkező tudósainkat, hogy tartsák be a vállalt kötelezettségeiket, hogy a tudományos minősítés, amely a dolog természeténél fogva amúgy is rengeteg energiát és hosszú időt igényel a jelöltektől, ne szenvedjen indokolatlan halasztást.

A közelmúltban zajlott le először a megfelelő kormányhatározat alapján a kandidátusok tudományos munkájának esedékes felülvizsgálata. A Tudományos Minősítő Bizottság Műszaki Szakbizottsága ezt a feladatot is az akadémiai bizottságok közreműködésével végezte el. Megállapítható, hogy a felülvizsgált kandidátusok túlnyomó többsége az előírt 5 év alatt kielégítő tudományos tevékenységet folytatott. Működésük jelentősen növelte a tudományos publikációk, kiadott könyvek számát. Sajnálatos azonban, hogy jó néhány kandidátusunk hivatali beosztása miatt nem tud tudományos munkával foglalkozni, és még sajnálatosabb, hogy néhányan, bár munkahelyük alkalmas lenne kutatásra, ezt nem használják ki, és nem váltják be a hozzájuk fűzött reményeket.

A kandidátusoknak tudományos munkában elért eredményeit mutatja, hogy 1962-ben 29 kandidátus kérte doktori disszertáció benyújtásának engedélyezését. Ezek közül a szakbizottság előterjesztése alapján a Tudományos Minősítő Bizottság 19-nek megadta a kért engedélyt, és csak kettőt utasított el. A többi kérelem elbírálása folyamatban van.

1962 elején közel 300 kérelem érkezett a szakbizottságokhoz az aspirantúra-felvétel tárgyában. Az akadémiai bizottságokból alakított felvételi bizottságok általában fokozott igénnyel léptek fel a jelöltekkel szemben, mégis sikerült az Osztály számára engedélyezett kontingenst megfelelő jelentkezőkkel betölteni. Hasonló a helyzet a külföldre küldendő aspiránsjelöltek felvételénél is. Ez úton ismételten köszönetet mondok a felvételi bizottságok elnökeinek és tagjainak lelkiismeretes munkájukért.

VIII. Könyv- és folyóiratkiadás

☞ A Műszaki Tudományok Osztályának könyv- és folyóiratkiadása 1962-ben a következőképpen alakult:

1962 folyamán az Osztály gondozásában 9 könyv jelent meg. Az összes terjedelem 285 ív volt. A könyvek a megjelenés idejének sorrendjében a következők voltak:

NEMES TIHAMÉR: „Kibernetikai gépek”;

BENEDIKT OTTO: „Nagytelítésű bonyolult mágneses körök új számítási módszere” című, 1958-ban megjelent magyar nyelvű könyvének angol kiadása;

TASNÁDI-KUBACSKA ANDRÁS: „Paläopathologie. Pathologie der vorzeitlichen Tiere”;

HENNYEY ZOLTÁN: „Lineáris áramkörök elmélete” című, 1958-ban megjelent magyar nyelvű könyve angol nyelven;

MAJOR SÁNDOR: „Gép- és turbinaalapot számítása és tervezése” című, az Akadémiai Kiadónál német nyelven 1962-ben megjelent könyve, angolul;

STRAUSZ LÁSZLÓ: „Magyarországi miocén mediterrán csigák határozója”;

SIMONYI KÁROLY: „Villamosságtan” című könyvének második, javított és bővített kiadása;

SITKEI GYÖRGY: „Hőátadás és hőterhelés belsőégésű motorokban”;

SZABÓ LÁSZLÓ: „A vaskohászat tűzálló építőanyagai” (a Vaskohászati Enciklopédia III/1. kötete).

A felsorolt könyvek közül három (Benedikt Ottó, Henney Zoltán és Major Sándor munkája) a szerzők magyarul már megjelent könyvének külföldi kiadóval közösen készített kiadása. Ezt ugyancsak a magyar műszaki tudományos irodalom sikereként könyvelhetjük el.

Az Osztály szerkesztésében megjelenő folyóiratok vonalán az előző évekhez hasonlóan további fejlődés tapasztalható. A szerkesztőséghez 240 tanulmány kézírata érkezett be, amelyeket a szakmai lektorok túlnyomó többségükben értékes, folyóiratainkban közlésre érdemes munkáknak minősítettek. Az elosztás a folyóiratok céljának megfelelően történt. Az *Acta Technica*-ban publikáltuk azokat az Akadémia által kezdeményezett tudományos kutatásokat, amelyekről a nemzetközi tudományos világot is tájékoztatni kívántuk. A hazai tudományos körök számára készülő Osztály Közleményeiben elsősorban a magyar olvasó számára érdekes tanulmányok kerültek publikálásra. A hazai olvasók tájékoztatását szolgálják az Osztály Közleményeiben megjelenő könyvismertetések és hírek is. Az utóbbiak az Osztály eseményeivel: székfoglalókkal, doktori és kandidátusi disszertációk vitájával, bizottsági ülésekkel foglalkoznak.

A beszámolási időszakban (1962. január 1-től 1963. április 1-ig) megjelent az *Acta Technica* 38., 39., 40. és 41. kötete, összesen 120 ív terjedelemben, 103 cikkel; az *Acta Geologica* VI/3—4. és VII/3—4. kötete, összesen 20 ív terjedelemben, 18 cikkel; a *Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei* 30. és 31. kötete, összesen 60 ív terjedelemben, 63 cikkel; az *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* VI. kötete 40 ív terjedelemben, 16 cikkel.

A megjelent folyóiratok összes terjedelme tehát 240 ív 200 cikkel.

Nyomdában van továbbá az *Acta Technica* 42. és 43. kötete, valamint a 44. kötet fél füzet, összesen kb. 75 ív terjedelemben, 80 cikkel. Ezek közül a 42. kötet a II. Mikrohullámú Kollokvium anyagát, a 43. kötet pedig a geodéziai-geofizikai sorozat 4. kötetének munkáit hozza.

Az *Acta Technica*-ban az 1962. év folyamán megjelent cikkek szakterületenként a következőképpen oszlottak meg:

Fizika, kémia	10 cikk
Anyagvizsgálat	10 „
Kémiai technológia	6 „
Szilárdságtan	22 „
Gépészet	7 „
Mechanikai technológia	6 „
Hőtechnika	5 „
Elektrotechnika	19 „
Bányászat, kohászat	6 „
Vízépítés	6 „
Építészet	2 „
Egyéb	4 „
Összesen:	<hr/> 103 cikk

A geodéziai jellegű cikkek azért hiányoznak, mert a geodézia-geofizika sorozat kötete nem jelent meg 1962-ben.

Megemlítem még az Acta Technica XI-től XL-ig terjedő kötetéről 1962-ben készült tárgy- és névmutatót. Ezt a kiadványt az Akadémiai Kiadó az előfizetőkön és csereviszonyban állókon kívül is széles körben terjesztetni fogja.

Örvendetes, hogy neves külföldi szerzők mind a szocialista, mind a nyugati országokból egyre gyakrabban küldik be tanulmányaikat az Acta Technica szerkesztőségéhez. Ez a tény, valamint az a körülmény, hogy a külföldi folyóiratok rendszeresen hivatkoznak az Acta Technica cikkeire, azt mutatja, hogy folyóiratunk tekintélye a nemzetközi tudományos fórumon évről évre növekszik.

*

Ezzel lezárul az a kép, amelyet beszámolómban az Osztály tudományos és tudományszervező munkájáról kívántam adni. Mint látható, tudomáspolitikai tevékenységünk középpontjában változatlanul az önálló akadémiai kutatóhálózat megteremtése áll, amely az Elnökségnek a Műszaki Alaptudományok Intézetére vonatkozó elvi állásfoglalása folytán a megvalósulás fázisába lépett. Az önálló kutatóbázis létrehozására irányuló munkásságunk eredményeképpen megszületett az Osztály távlati intézetfejlesztési terve, amely nagyobb perspektívában vázolja kutatási hálózatunk kiépítésére vonatkozó elképzeléseinket. Fokozott feladatot jelent az országos távlati tudományos tervből az Osztály gondozására bízott három főfeladat is.

Befejezésül köszönetet szeretnék mondani mindazoknak, akik tudományos és szervező, illetve adminisztratív munkával odaadóan segítették az Osztályt törekvéseinek elérésében. Az Osztály továbbra is számot tart támogatásukra feladatainak megoldásában, amelyek a jövőben egyre jelentékenyebbek lesznek.

HOZZÁSZÓLÁS

VADÁSZ ELEMÉR

AKADÉMIKUS

A beszámoló valóban mindenre kiterjedő, tökéletes beszámolója volt a Műszaki Osztály 1962. évi működésének. Ezért, azt hiszem, teljes egyetértéssel találkozom, ha osztálytitkárunknak a beszámolójáért, illetve az ezt létrehozó sokrétű munkásságáért és az Osztály nehéz munkájáért az adminisztratív segítő erőkkkel együttesen köszönetünket nyilvánítjuk.

A beszámolóból kitűnik, hogy igen nehéz, sokrétű feladat megoldásáról van szó, amelynek, azt hiszem, túlnyomó részét osztálytitkárunk és a vele együttműködő adminisztratív személyzet önfeláldozó munkával törekedett megoldani. Nehéz feladat ez a Műszaki Osztály sokrétűségénél fogva, és a sok irányú tudományágak összefogása még azzal is megnehezül, hogy az egyes műszaki tudományágak — ez minden tudományágra vonatkozik — tárgyuknál és szakmájuknál fogva sokszor akaratlanul is bizonyos ellentmondásba, sőt ellentétbe is kerülnek egymással a kívánalmak, a teendők és a végrehajtási módok tekintetében. Ez nehezíti meg különösen ennek a sokrétű munkának a végzését. Ebben a vonatkozásban is az a meggyőződésem, hogy osztálytitkárunk ezeket a nehézségeket — az akaratlan vagy szükségszerű ellentmondásokat és ellentéteket is — a legjobb megértéssel törekedett kiegyenlíteni.

Legyen szabad néhány észrevételt tennem elsősorban az Osztály, illetve az Akadémia és az oktatás kölcsönös relációjában. Az Akadémia feladata az alapszabály értelmében — erről a beszámoló is szólt — az, hogy mint legfelső tudományos fórum, az oktatásüggyel is foglalkozzék. Ebben a vonatkozásban most napirenden levő, minden irányú oktatási reformunkkal is foglalkoztunk. Erről ugyan nem esett szó a részletes beszámolóban, sőt említés sem történt róla, mégsem hiányolható, mert a részletek nem is tartoznak ide.

Mégis általánosságban és különös tekintettel arra, amit GELEJI osztálytitkár elnökségi előadásában a műszaki tudományok alap kutatásainak fejlesztésére vonatkozólag hangsúlyozott — amikor utalt az oktatással kapcsolatban a kádernevelés szükségességére és a tudományos kutatásra vonatkozó előkészítés együttesére — legyen szabad a magam szaktudományával kapcsolatban megemlíteni, hogy földtani vonalon nagyon súlyos és éppen a Műszaki Osztályra tartozóan is nagyon hátrányos oktatási reformhelyzetben vagyunk.

Talán nem szükséges hangoztatnom azt a nagyon kiemelkedő és mindnyájunk részéről tudott tényt, hogy LENIN annak idején, a szovjet rendszer megalapításakor, az egyik legfontosabb teendőnek a hasznosítható nyersanyagok kutatását tartotta. Erre felhívta az illetékes szakemberek figyelmét, tehát a földtan tudományának minden rendű és rangú képviselőjét, s ezt a kérdést egyenrangúnak tartotta az elektrifikálás kérdésével. Ebből a felismerésből és szükségességből, továbbá a VIII. Kongresszus irányelveiből is adódott az a nagyon sokszor hangoztatott, de nem mindig egyértelműen végrehajtott és megvalósított elv, hogy a tudomány a népgazdaság termelőeszközévé vált.

Ez valóban így is van. Földtani vonatkozásban minden szerénytelenség nélkül hangsúlyoznom kell, hogy a magyar földtan elsőnek jelentkezett, illetve

az első helyen állt ennek szolgálatára, és a szocialista építésben elsőnek végezte el a rá háruló meglehetősen nagy feladatokat. A Szovjetunió világrészre kiterjedő nagy területén belül az eredmények ebben az összefogásban hatalmas méretűvé, világraszólóvá lehettek.

Nem kívánom itt most felsorolni azokat az eredményeket, amelyeket a mi kis országunkban lelkes odaadással végzett munkánkkal elértünk. Vannak eredményeink, mégpedig olyanok, amelyeket kizárólag és egyedül csak a szocialista fejlődés során részünkre nyújtott munkalehetőségekkel tudtunk elérni. Nem akarok itt most számszerűségekre utalni. Ezek között az eredmények között nemcsak gyakorlati, tehát azonnal megvalósításra váró kutatási eredmények vannak, hanem világirodalmi jelentőségű elméleti megállapítások is, különlegesen a magyar földtani oktatásunk új rendszeréből folyó nevelésüggyel kapcsolatban.

Most az utóbbira akarok kitérni éppen a Műszaki Osztállyal való kapcsolatunknál fogva. A jelenleg folyamatban levő minden irányú oktatási reform során a földtan nagyon háttérbe szorul. Több mint félszázados ilyen irányú közreműködésem, tudománytörténeti és oktatástörténeti ismereteim alapján állítom, hogy iskolareformunkban a földtan tanítása határozott visszaesést mutat. A középiskolában nincs földtanoktatás. Ez azzal a kötelezettséggel jár, hogy ezt a nagyon fontos tudományt, amely valóban népgazdasági termelőerő, kezdettől fogva a felsőoktatásban kiemeljük. Ez mai állapotunkban annyit jelent, hogy egyetemeinken és általában felső oktatásunkban a földtan oktatásánál pótolni kell azt a hiányt, ami a földtan középiskolai oktatásunkból való teljes kiesése folytán állt elő. Ezt azért hangsúlyozom, mert nincsenek különösebb igényeink mennyiségileg a földtan oktatásában, még felsőoktatásunk vonalán sem. De ezen a helyen mégis kötelességünk hangsúlyozni, éppen az Akadémia feladatából kifolyólag, amelynek mint legfelső fórumnak a tudományra való neveléssel, tehát az oktatással is kell foglalkoznia, hogy a földtan vonalán a műszaki oktatásban eddigi érte-süléseink szerint sajnálatos kilátások vannak. A Műegyetemen a földtani tanszékek beszüntetéséről, sőt magának a tárgynak a teljes kiküszöböléséről van szó. Ezek még nem befejezett tények, de azért hozom ide, mert GELEJI akadémikus minapi előadásában a műszaki tudományok alapkutatói fejlesztésére vonatkozólag nagyon helyesen kiemelte az alapkutatásra való egyetemi nevelés szükségességét. Ugyancsak ezzel kapcsolatban hangsúlyozta GELEJI akadémikus előadása, hogy ahhoz, hogy valaki műszaki tudományos alapkutatást végezhesen, a tudományok mai, erősen szétdifferentiált voltában tulajdonképpen szintetikus munkát kell végeznie.

A Műegyetemen tehát — most egyelőre erről beszéljünk — a földtan háttérbe van szorítva, ami kizárólag abból ered, hogy az oktatási reform egyelőre 90 százalékban óraszámkérdésekkel, tehát mennyiségi kérdésekkel foglalkozik, holott a felsőoktatásban nem az óraszám kérdése, hanem a didaktikai kérdések a fontosak, vagyis az oktatás módjától függ az, hogy mit, hogyan és mennyit sajátítsunk el abból a tudományágból, amelyet heti 1 órában vagy 5 órában tanítanak. Nem az órázámon dől el a probléma, hanem az oktatás módján, amellyel az áll vagy bukik.

Egyelőre tanszékek beszüntetéséről hallunk a Műegyetemen, pedig kémiai vonalon és különösen építésügyi vonalon anyagokkal dolgozunk, amihez a nyersanyagok ismerete szükséges. Legyen valaki a legkiválóbb mérnök vagy építő művész — mert most, úgy látszik, a művészet

kérdése, az esztétikai rész áll előtérben — természettudományos alapozottság, adott esetben az anyagok minimális ismerete nélkül hogyan lesz belőle szintetizáló műszaki kutató tudós?

A kérdéseket — mint mondtam — nem kívánom részletezni, csak az elv szükségességét kellett itt hangsúlyozni. Kérem a Műszaki Tudományok Osztályát, illetve az Akadémiát, hogy ezzel a kérdéssel foglalkozzanak. Bejelentem egyúttal, hogy akadémiai bizottságunk, a Földtani Társulattal együtt egy széles körű nagy ankéton kíván foglalkozni a kérdéssel. Kérem a műszaki tudományok, illetve Akadémiánk képviselőit, hogy nemcsak az Akadémián belül, hanem szélesebb körben, kifelé, illetve felfelé is, a Művelődésügyi Minisztérium felé legyenek segítségünkre.

Szó esett tudományos képzésünkről és a Műszaki Osztály ilyen irányú nagyon hasznos tevékenységéről, illetőleg a Tudományos Minősítő Bizottságban való részvételről. GELEJI akadémikus rámutatott arra, hogy ez a jövő nemzedék tudományos munkásságra való nevelésének egyik módja és eszköze. Műszaki Osztályunk illetékes bizottságai ebben mindenkor tevékenyen részt vettek. Utalt azonban arra, hogy bizonyos hiányok és hátrányok is vannak. Én, mint a Bizottság ez idő szerinti elnöke, 1962-ben rámutattam arra, hogy a Műszaki Osztály nagyon elmaradt. Kértük akkor, hogy a Műszaki Osztály egy kicsit jobban és ne ilyen halogató módon legyen segítségünkre ebben a kérdésben. Most örömmel látjuk, hogy ezen a téren, a beszámoló alapján, erős javulás van.

Ennek ellenére még nyomatékosabban alá akarom húzni GELEJI osztálytitkárunknak azt az ide vonatkozó mondatát, hogy az opponensi vélemények tekintetében még mindig vannak hiányosságok műszaki szakembereink vonalán. A Tudományos Minősítő Bizottság elnökségében már sokszor hangoztattam, hogy itt egyenesen büntető szankciókra van szükség, mert ha valaki az előírt három hónapon belüli opponensi véleményét vállalja, akkor azt csinálja is meg és ne hat vagy kilenc hónap, sőt egy év vagy másfél év múlva, ismételt felszólításra. Néha a felszólítást is negligálva, még arra sem méltatja az Osztályt, hogy választ adjon rá. Ismételten javasoltam, hogy ilyen esetben az illető illetményét azonnal, minden külön eljárás nélkül, be kell szüntetni.

Legyen szabad megemlítenem még azt az örvendetes fejlődést, amely a Műszaki Osztály kiadványainak mind a színvonala, mind a mennyisége tekintetében mutatkozik. Nekem alkalmam volt az Akadémia újjászületése óta a Műszaki Osztály működését látni, nagyon jól fel tudom mérni ennek a fejlődésnek tudományos jelentőségét országos, sőt — mint a beszámolóból hallottuk — országon kívüli relációban is.

Az utóbbi kérdés az, amit szóvá kívánok tenni. Az Akadémia Elnökségében még mindig tisztázatlan és sok vitára ad alkalmat az Osztály Közleményei, ill. az Acták mennyiségi és minőségi értékelése, illetve egymáshoz való viszonya. Ezért felvetem itt a Műszaki Osztályon belül is azt a kérdést, hogy az Actáknak, az idegen nyelvű kiadványoknak, az Osztály Közleményeikhez, a magyar nyelvű kiadványokhoz való viszonya, mégpedig mennyiségi és minőségi viszonya, bizonyos mértékig revízió alá veendő. Minden nemzetköziségünk mellett elsősorban a magyar szaktudomány fejlesztésére, tehát a magyar nyelvű kiadványok fejlesztésére helyezném a fő súlyt. Vannak azonban olyan értékes közlemények — nem számítva a külföldi szakemberek közleményeit — amelyek csak az Actákban, tehát csak idegen nyelven jelennek meg. Lehet, hogy túlzó álláspont, de ez nem szolgálja a magyar szaktudományt.

Ezek a közlemények az idegen nyelvű kiadványok, illetve tudományágak körébe tartoznak. Nekünk elsősorban a magyar szakemberekre, a fiatalokra kell tekintettel lennünk, akiknek nyelvtudása örvedetes módon fejlődik ugyan, mégis ha egy-egy jelentősebb tanulmányt pl. csak angol vagy francia nyelven jelentetünk meg, megfosztjuk őket attól, hogy azt hasznosítsák.

Ez az a szempont, amelynek mérlegelését az Elnökségben is felvetettem. Ez a kérdés még rendezetlen. Kiadványaink örvedetes mennyiségi szaporodása ezt a kérdést állandóan előtérbe hozza. Tisztázni kell, hogy a jövőben milyen mértékben tudunk foglalkozni a kiadványokkal. Nemcsak nálunk nagy probléma ez, hanem minden más országban is. Olyan mennyiségben jelentkeznek a tudósok közleményekkel, hogy a kiadási igényt nem tudják kielégíteni. A francia és az angol irodalomban azt látom, hogy a rövidítéssel próbálkoznak. Évről évre felhívják a figyelmet arra, hogy a folyóiratok csak akkor közlik a tanulmányokat — és ez a könyvkiadóknál is így van — ha a terjedelmet rövidebbre fogják.

Ismételten megköszönöm az Osztály beszámolóját, és kérem az elmondottak megszívlelését. Különösen a földtanoktatással kapcsolatban kérem az Osztály támogatását.

SZILÁRDTESTEK KUTATÁSA ÉS E KUTATÁSOK KOORDINÁLÁSA MAGYARORSZÁGON

SZIGETI GYÖRGY

AKADÉMIKUS

Elhangzott a Műszaki Tudományok Osztályának a Magyar Tudományos Akadémia
1963. évi Nagygyűlése keretében április 11-én tartott nyilvános ülésén.

Mint mindnyájunk előtt ismeretes, a mai fizikának egyik legérdekesebb és talán az atommagfizika után legtöbb fizikust foglalkoztató problémája a szilárdtestek fizikája. A kvantummechanika alkalmazása a szilárdtestek kötésének elméletében, a villamos és mechanikai tulajdonságok megismerésében BLOCH, SOMMERFELD és BRILLOUIN alapvető munkái óta rendkívül termékenynek bizonyult, az elmélet alapján levezetett összefüggések a szilárdtestek számos tulajdonságára adtak jó, mind a mai napig helytálló magyarázatot. Az elmélet alkalmazásával számos új, később kísérletileg igazolt tényt lehetett előre jelezni.

A lumineszkálás jelenségeinek kutatása, majd egyes félvezetőkknél (réz-oxidul és szelén) mutatózó egyenirányítóhatás okainak keresése, a termoelektromos jelenségek vizsgálata, a 30-as évek elejétől kezdve a szilárd testek fizikájának új fejezetét nyitották meg: a félvezető anyagok fizikáját. Ezen a területen az első elméletet A. H. WILSON dolgozatai nyújtották, aki a félvezető anyagokat a kvantummechanikai kép alapján vizsgálta. Körülbelül ugyanabban az időben egész más irányból kiindulva W. SCHOTTKY a vákuumfizikából jól ismert tértöltésmélet alkalmazásával adott a félvezetők egyes tulajdonságairól konzisztens képet. A félvezető egyenirányítóknak a mikrohullámú technikában való alkalmazása szükségessé tette ezek elméletének még behatóbb tanulmányozását és e tanulmányok során fedezték fel BARDEEN, BRATTAIN és SHOCKLEY a tranzisztorhatást. E felfedezések egyik elméleti alapja a Nobel-díjas szovjet fizikus, TAMM által először ismertetett felületi állapotoknak figyelembevétel volt. A tranzisztorok felfedezése a félvezetők ipari alkalmazásának egészen új perspektíváját nyitotta meg. Az 50-es évek végén már világosan látszott, hogy a félvezető eszközöknek döntő jelentőségük lesz a híradástechnika, az automatikus szabályozástechnika és bizonyos vonatkozásban az erőáramú elektrotechnika területén is.

A lumineszkáló anyagok alkalmazásának a korszerű fényforrások terén való elterjedése, továbbá az elektrolumineszcencia jelenségének felismerése a fényforrások fejlesztésének új perspektíváját nyitotta meg.

Magyarországon a szilárdtestek fizikájával már a felszabadulás előtt is intenzíven foglalkoztak. A hazai idevágó kutatásokat négy iskola négy különböző szempontból művelte: GOMBÁS PÁL vezetésével a szilárdtestek kötésének kvantummechanikai elméletét építették ki világviszonylatban is elismert eredmények elérésével. Ugyancsak világszínvonalon jelentős munkát végeztek GYULAI ZOLTÁN és tanítványai, akik az alkalihalogenid kristályokat és azok növekedését, mechanikai és villamos vizsgálatát végezték. Az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. kutatólaboratóriumában a vákuumtechnikai ipar szempontjainak megfelelően vizsgálták a félvezető és lumineszkáló anyagokat. Innen származott az első elektrolumineszcens fényforrást védő szabadalom is, amelyet az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt.-tól még a felszabadulás előtt más világégek is átvettek (így pl. az amerikai General Electric Co. cég). Ugyanitt TÚRY PÁL és MILLNER TIVADAR vezetésével a wolfram kristályosodásának vizsgálata terén érték el gyakorlatilag rendkívül fontosnak bizonyuló eredményeket. A felszabadulás után mind a négy iskola tovább folytatta idevágó kutatásait, szép eredménnyel. A Központi Fizikai Kutató Intézet létesülésével itt is megindult a szilárdtestek fizikájának kutatása, kezdetben a mágnességgel kapcsolatos elméleti és kísérleti vizsgálatokkal, majd a fémekben mutatkozó rendezett és rendezetlen állapotok vizsgálatával és végül a reaktor megindulásakor különböző nagy energiájú részecskék és szilárdtestek kölcsönhatásának vizsgálatával. A Szegedi Egyetem fizikai tanszékén pedig BUDÓ ÁGOSTON professzor vezetésével indultak meg a lumineszkálással és félvezetőkkel kapcsolatos kutatások.

A Tudományos és Felsőoktatási Tanács létesítésekor a Tanács egyik fő céljával az a feladat tűzött ki, hogy valósítsa meg az országos távlati tudományos kutatási tervet. A tanács hosszas viták, az akadémiai, miniszteriális és ipari fórumoknak igen beható munkája alapján kitűzte azokat a főfeladatokat, amelyek területén a kutatást kormányzati szinten figyelemmel kell kísérni, ahol a kutatást az eddiginél sokkal tervszerűbben, nagyobb ráfordítással, az egyes kutatóhelyek munkájának jobb összehangolásával és célszerűen nemzetközi kooperációval lesz kívánatos folytatni. Ilyen területnek látta a tanács többek között a szilárdtestek kutatását is. El kellett döntenie, hogy ezen a területen országos szempontból a fennálló szükségleteknek megfelelően melyek azok a feladatok, amelyeket célul kell kitűzni, körvonalazni kellett a közeljövőben, majd a távlatilag perspektivikusan kitűzött célokat, az erre fordítandó és erre szükséges eszközöket, valamint beruházásokat. Fel kellett mérni, hogy milyen munkaerőket igényel az általunk kitűzött kutatás, illetve a rendelkezésre álló eszközökkel milyen eredményeket remélhetünk elérni. Várható-e, hogy ezen a területen a magyar kutatók segítségével iparunk lényegesen fejlődni fog, elérheti-e vagy túlhaladhatja-e egyes vonatkozásokban a világ-szintet. Meg kellett vizsgálni, hogy a baráti országokkal való együttműködés

mindkét fél részére mennyire mutatkoznék gyümölcsözőnek, és milyen módon lehetne a kutatásokat az eddiginél lényegesen jobban koordinálni.

Az 1002/1959. sz. minisztertanácsi rendelet meghatározta az országos távlati kutatási terv főfeladatait, ezen belül a szilárdtestek kutatása mint 3. sz. főfeladat szerepel. A kutatási főfeladatról tervtanulmányt kellett készíteni, és e célból a Tudományos és Felsőoktatási Tanács egy előkészítő bizottságot küldött ki. Az előkészítő bizottság 1960. év végére el is készített egy igen részletes és beható tervtanulmányt. Ebben kijelölte azokat a célkitűzéseket, amelyeket a szilárdtestek kutatásában hazánkban meg kell valósítani, illetve azokat a fő szempontokat, amelyek a jövőendő kutatás irányvonalát megszabják.

A további munka alapjául az a nézőpont szolgált, hogy a főfeladat keretébe a szilárdtestek kutatásának csak azokat a problémáit soroljuk, amelyek a híradástechnikai, optikai, vákuumtechnikai és fényforrás-ipar szempontjából fontosak. A szilárdtestek kutatásának egyéb témái más főfeladatok keretébe tartoznak. Szükségesnek láttuk az említett iparágak szempontjából fontos feladatokat külön kiemelni és egy főfeladat körébe csoportosítani, mert az említett iparágaknak hazánkban igen nagy tradíciói vannak, jelenlegi volumene a népgazdaság és főleg az export szempontjából igen jelentős, fontosságuk a jövőben még inkább emelkedni fog. Ezeknek az iparágaknak a fejlődését csak a kellően méretezett kutatás biztosíthatja. Ezt bizonyítja a Szovjetunió és a nyugati ipari államok példája is.

A főfeladat szempontjából számbajövő szilárdtestek lehetnek kristályosak, mint pl. a félvezető anyagok vagy a magas hőmérsékleten működő izzótestek, de lehetnek amorfak is, mint pl. a vákuumtechnikai és az optikai üvegek. Minden esetben jellemző a témakörünkben folyó kutatásra az, hogy a különben tisztának minősített anyagokban egészen kis mennyiségű szennyezéseknek döntő szerepük van. Ezek a szennyezések szabják meg pl. a félvezető anyagok sok villamos tulajdonságát vagy a nagykristályos wolfram alaktartóságát, és ugyancsak ezek döntenek el a lumineszkáló anyagok fényét és hatásfokát, vagy pl. az optikai üvegek színét.

A bizottság összeállította azokat a feladatokat, amelyeket a főprobléma keretében hazánkban kutatással és fejlesztéssel megoldani javasol. Összeállította e feladatok megoldására szükségesnek látszó kutatói létszám-, költség- és beruházási igényeket. E feladatok összeállításában igen hathatósan közreműködtek a szóban forgó iparágak miniszteriális főhatóságai is, amelyeknek a képviselői az előkészítő bizottság munkájában is részt vettek. Felmértük az egyes feladatok megoldásánál érintett ipari-termelési volumen értékét is az egyes iparágaknak a második 5 éves tervében szereplő adatai alapján. Ezekből az adatokból a bizottság megállapította, hogy a főfeladat körébe tartozó kutatás tervezett költségei az érintett iparág tervezett termelési volumenének kb. csak 5–10%-át tennék ki, viszont a kutatás eredményes vagy eredmény-

telen voltától az egész iparág fejlődése vagy elsorvadása döntően függ. Megállapította azt is, hogy a kutatás kellő fejlődésének fő akadályá elsősorban a helyhiány, így tehát az első és legsürgősebb feladat az iparág évi költségvetéséhez viszonyítva aránylag kis volumenű építkezések haladéktalan megkezdése és a fiatal kutatók munkábaállítása, esetleg a termelőüzemek kereteiben is, hogy mire az új laboratóriumi épületek elkészülnek, már kellő gyakorlattal rendelkező kutatógárda álljon rendelkezésre.

A tervtanulmány alapján a Minisztertanács a szilárdtestek kutatása című, 3. sz. főfeladat célkitűzését az alábbiakban rögzítette:

„A félvezető eszközök (kristálydiódák, tranzistorok, egyenirányítók) kidolgozásával kapcsolatos alapkutatások elvégzése a hazai félvezetőgyártás fejlesztésének céljára; lágy és kemény mágneses anyagok kutatása, főleg híradástechnikai célokra; a lumineszkálás kutatása, főleg a fénycsővek és televíziós képcsővek gyártásával kapcsolatban; továbbá az izzólámpagyártás és elektroncsőgyártás legfontosabb anyagaira vonatkozó kutatások.”

A Minisztertanács a főfeladat keretébe eső kutatások felelős irányító szervéül a Magyar Tudományos Akadémiát jelölte ki. A Magyar Tudományos Akadémia a főfeladat megoldása érdekében folyó kutatások összehangolására koordináló bizottságot nevezett ki. A koordináló bizottságok feladatával kapcsolatban a TFT 4/1962. sz. határozata a következőket mondja ki:

„A bizottságok munkájának a célja az, hogy elősegítse a főfeladatok éves tervének előkészítését és végrehajtását, a különböző helyeken folyó és egymással összefüggő kutatómunka egyeztetését, kutatási eredmények ellenőrzését és a főfeladat programjának szükség szerinti továbbfejlesztését.”

A koordináló bizottságok feladatai:

a) Véleményt nyilvánítani a főfeladathoz tartozó témacsoportokról és témákról, valamint arról, hogy ezek helyesen oszlanak-e meg a számbajövő kutatóhelyek között;

b) figyelemmel kísérni a főfeladat megoldásában részes kutatóhelyek kapacitásának — azon belül az alap-, alkalmazott és fejlesztési kutatások arányainak — alakulását, és még az éves tervek elkészítése előtt ajánlásokat kidolgozni a gazdasági fejlesztési keretek elosztására;

c) elősegíteni azt, hogy az illetékes országos hatáskörű szervek a főfeladattal kapcsolatos lényeges fejlesztési és tartalmi kérdésekben egymást kölcsönösen tájékoztassák, hogy a főfeladat területén készült jelentések, ill. publikációk a bizottság útján az érdekelt szervek és személyek részére hozzáférhetőek legyenek;

d) figyelemmel kísérni a főfeladatok megoldása érdekében végzett kutatások fontosabb eredményeit, megfelelő szervekkel történt elbíraltatás után véleményezni azokat az elfogadásra hivatott felelős szervek számára, és szemmel tartani az elfogadásra ajánlott eredmények felhasználását, ill. elősegíteni, hogy a fontosabb eredmények az indokolt mértékben nyilvánosságra kerüljenek;

e) évenként rendszeresen megvitatni és értékelni a főfeladat megoldása érdekében végzett kutatómunkát, és erről, továbbá munkájukkal kapcsolatos egyéb kérdésekről beszámolót készíteni a főfeladat megoldásáért felelős országos irányító szerv, valamint a TFT részére;

f) megfelelő ajánlásokkal előmozdítani a főfeladat távlati kutatási tervének folyamatos továbbfejlesztését, hogy az — figyelembe véve és előmozdítva a nemzetközi együttműködést — a mindenkori legidősebb kutatási feladatokat tartalmazza.

A bizottság tagjai 1962. június 6-i keltezéssel kapták meg kinevezési okmányaikat, és a bizottság alakuló ülését június 24-én tartotta meg. A bizottság munkájának adminisztratív teendőit az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete vállalta. A bizottság első ülésén átvizsgálta a jóváhagyott feladatokat és témacsoportokat, majd megállapította, hogy mely intézetekben folyik a megnevezett területeken kutatómunka. Felkérte a szóban forgó intézetek főhatóságait, hogy a kutatómunkát az intézet vagy intézmény (tanszék, tanszéki kutatócsoport) tervébe a bizottság által javasolt szövegezéssel és időzítéssel iktassa be.

Időközben a kutatóintézetek és ezek főhatóságai részéről az említett intézkedések megtörténtek, így tehát a kutatás a koordinációs bizottság által kitűzött és az összes érdekeltek által jóváhagyott terv szerint folyik már az 1963. évben is.

Míg magára a kutatásra, a kutatások helyére és módszerére vonatkozólag a bizottsági tagok teljes egyetértése alakult ki, a célkitűzéssel kapcsolatban már az első ülésen komoly vita indult meg olyan értelemben, hogy helyese-e a kutatómunka célkitűzéseit, azaz azt a célt, amelyet az egész országban folyó szilárdtest-kutatások által előmozdítani javasolunk, az előzőekben vázoltaknak megfelelően a félvezető és vákuumtechnikai ipar szolgálatába állítani. Felmerült az az aggodalom, hogy ha célul egy ilyen gyakorlati probléma előmozdítását tűzzük ki, vajon biztosítva lehet-e az alapkutatás jövődjé; vajon nem igényelnek-e kutatást a szilárdtestek fizikája terén az egyes szerkezeti anyagok mechanikai stb. tulajdonságait vizsgáló alkalmazott kutatások; alá fogja-e támasztani a tervben kitűzött céllal folyó alapkutatás a magyar alumíniumipar fejlődését vagy más szerkezeti anyagokkal kapcsolatos fejlesztést. Az ország ipara nemcsak a vákuumtechnikán alapul, hanem igen sok más terület is legalább ilyen fontosságú. A bizottságnak különösen fizikus tagjai törtek lándzsát amellet, hogy a célkitűzést bontsuk két részre: egyrészt tisztán alapkutatási, másrészt pedig az eredetileg kitűzött alkalmazás érdekeit elősegítő kutatási részre. A kérdéssel kapcsolatban a Tudományos és Felsőoktatási Tanács elnöksége foglalt végül állást, kimondva, hogy a jelen körülmények között, az adott helyzetben, az eredeti célkitűzést kell érvényben tartani. Ez a célkitűzés nem zárja ki egyéb kutatások elvégzését, különösen, ha ezek már tételesen a tervben is szerepelnek, de egyébként is minden kutatóhelynek

kötelessége kapacitásának bizonyos részét, kb. 20%-át a tervben tételesen fel nem sorolt, főleg távlati kutatásokra szabadon tartani. Ezek a kutatások hivatottak eldönteni a fejlődés későbbi irányát, és ezek eredménye, az itt születő felismerések alapján kerülhet sor majd a későbbiekben új témáknak a tervbe való felvételére vagy esetleg a célkitűzések módosítására. Mindezek alapján tehát a bizottság feladata annak a megvizsgálása, vajon a kitűzött célt, a kitűzött feladatok megoldását hogyan tudjuk a legjobban biztosítani.

Az 1962. évi eredmények számbavételénél nagymértékben a koordináló bizottság saját albizottságai, illetőleg a Magyar Tudományos Akadémia megfelelő bizottságainak munkájára támaszkodtunk. Egyes területeken az eredmények felmérése már meg is történt, más területeken folyamatosan történik. Az eddigi felmérés alapján megállapítható volt, hogy bár a tervben szereplő kutatások eredményesen folynak, a beruházások ütemét, különösen az ipari kutatóintézet fejlesztése terén lényegesen meg kell gyorsítani, hogy eredményeink korszerűek maradjanak.

Nem volna helyes, ha ezen előadás keretében próbálnánk az egyes kutatóintézetek eredményeit részletesebben ismertetni, mert ez részben az Akadémia felolvasó ülésein, részben az Eötvös Loránd Fizikai Társulat előadásain és kollokviumain, valamint más tudományos fórumok előtt rendszeresen megtörténik. Rá kell azonban mutatni arra, hogy hazánkban e területen az ipari és akadémiai kutatóintézetekben pontosan a kitűzött gyakorlati cél irányába tekintő kutatáson kívül igen jelentős létszámmal és eszközzel folyik olyan kutatás is, amely a szilárdtestek fizikájának tágabb alapjait tárja fel. A jövő fejlődése szempontjából igen fontos, hogy e tanszéki kutatásokat is kellő mértékben támogassuk, mert itt várható az, hogy a cél érdekében folytatott kutatás mellett esetleg nem várt felismerésekre is bukkanunk, másrészt a tanszékek és az ezek mellé rendelt akadémiai kutatócsoportok alkalmasak arra, hogy fiatalokat nagyobb számban neveljenek, velük megismertessék a legkorszerűbb módszereket, és így széles alapot nyújtsanak az összes kutatóhelyek tudományos utánpótlásának. E mellett azonban elengedhetetlenül fontos, hogy koncentráltan minél nagyobb erőt fordítsunk a fő probléma célkitűzéseit közvetlenül előmozdító és az egyes nagyobb kutatóintézetekre szervezeten koncentrált kutatás fejlesztésére, szakemberekkel és eszközökkel való el látására.

Mint a bevezetőben láttuk, a kutatás tervezett volumenét olyan arányban kívánjuk növelni, amilyen arányban az idevágó ipari termelés volumenét is az elfogadott országos tervek növelni fogják. A fejlesztésnek ez az üteme megvalósíthatónak látszik, de nem elegendő.

Mint már a bevezetőben is említve volt, az előttünk álló feladatok megoldását nem várhatjuk egyedül a hazai kutatástól, hanem feltétlenül szükséges együttműködést kiépíteni a baráti országok között a kutatás vonalán is. Az együttműködés kiépítése a KGST keretében az alkalmazott kutatás területén

már évek óta megkezdődött, és eredményesen folyik is. Így főleg a félvezető eszközök fejlesztése és kutatása területén létesült baráti szellemű együttműködés a kutatási témák közös meghatározása, a feladatoknak az egyes partnerek között való koordinálása és a kutatás során nyert eredményeknek és megszerzett ismereteknek kölcsönös cseréje. Ez az együttműködés az ipari vonatkozásban nyitott meg széles perspektívákat és mutatott fel már eddig is szép eredményeket. Az alap kutatások irányítása a legtöbb baráti országban is, úgy mint nálunk, a tudományos akadémiák kezébe van lefektetve. A félvezetők területén folyó alap kutatások összehangolására a baráti országok akadémiáinak küldöttei 1962. december hónap folyamán Prágában tanácskoztak, és a következő évek munkájára vonatkozólag egyezményt is dolgoztak ki. Kijelöltek néhány olyan témacsoportot, amelyben egy-egy baráti ország akadémiája vállalja a koordinálás szerepét. Ilyen szerepet vállalt többek között a Magyar Tudományos Akadémia is.

Az ipari KGST szervezeteknek és az akadémiáknak a félvezető kutatás területén történő együttműködésének kiépítése után került sor Moszkvában a KGST keretében az egész tudományos kutatás és ezen belül a szilárdtest-kutatással kapcsolatos együttműködési lehetőségek feltárására. Ez a megbeszélés jóváhagyta az akadémiák között Prágában a félvezető alap kutatásokra vonatkozólag kötött egyezményt, és ezenfelül még megállapította a többi fontos területeken is a munka jövődő kooperációját. Moszkvában a szakértők nemcsak a szilárdtestek fizikája területén folyó kutatások, hanem más kutatások területén is tettek a koordinálásra vonatkozó javaslatokat, amelyek jóváhagyása az érdekelt kormányok részéről rövidesen várható. Az egyezmény értelmében a szilárdtestek fizikájának kutatása terén egy feladat és több részfeladat koordinálása fog Magyarországra várni. Az értekezlet javasolta, hogy az együttműködés ne csak a tudományos eredmények, hanem műszerek és eszközök cseréjére is terjedjen ki. Mindezek alapján várható, hogy a hazánkban folyó kutatás is az eddiginél sokkal nagyobb intenzitással lesz folytatható, és eredményei egyrészt tudományos ismereteinket fogják gyarapítani, másrészt pedig hathatósan támogatni fogják iparunk fejlődését is.

A VÍZÉPÍTÉSI KÍSÉRLETÜGY HAZAI KEZDETEI*

LÁSZLÓFFY WOLDEMÁR

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet, Budapest

A következőkben a szerző rövid történeti visszapillantást kíván vetni a hazai vízépítési kutatásügy kialakulására. Személyes emlékei alapján teszi ezt, hiszen, mint fiatal műegyetemi tanársegéd ott volt az első laboratórium megszületésénél. A ma vízépítési kísérletüggyel foglalkozók zöme nem is tudja, hogy milyen utat tettünk meg a mai napig, amikor Akadémiánk életében első ízben ankét foglalkozik tisztán és kizárólag a kismintavizsgálatok kérdésével.

Egy a külföldi vízépítési laboratóriumokról 1911-ben BARTUS Adolftól megjelent szemle cikkhez fűzött *szerkesztői megjegyzés* [1] már utalt arra, hogy a Műegyetemen *készülnek* egy hasonló rendeltetésű kísérleti berendezés *tervei*. Ez talán az első irodalmi nyoma annak, hogy a hazai vízépítési laboratórium ügye komolyra fordult. Az, hogy a korszerű vízépítési laboratóriumok legrégibbjéhez, H. ENGELS professzor 1898-ban megnyílt drezdai folyószabályozási laboratóriumához hasonló nálunk is létesüljön, vágy vagy javaslat alakjában minden bizonnyal korábban is felmerült, de évekbe tellett, amíg az ügy a tervezésig eljutott.

1913-ban SAJÓ Elemér rövid beszámolót írt a berlin-charlottenburgi kísérleti intézethez történt hivatalos kiküldetéséről. Cikkének dőlt betűs befejező szavai: „*bebizonyult, hogy egy jól szervezett és jól vezetett kísérleti állomás gyümölcsöző beruházás az államra nézve*” ugyancsak rávilágítanak arra, hogy egy hazai laboratórium ügye szőnyegen forgott. Tudjuk, hogy a fent említett tanulmányútnak a tapasztalatai indították SAJÓT a Kvassay-zsilip építésével kapcsolatban végzett első vontatási kísérleteire, amelyeket a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet laboratórium-épületének bejáratánál látható mozaik örökít meg. És ismeretes, hogy a Műegyetem akkori vízépítés-professzora, Kovács Sebestyén Aladár, a hidrometriai gyakorlatok céljaira Nagymaroson 1893-ban létrehozott vízmérőállomást ez idő tájban vízépítési laboratóriumként akarta fejleszteni. Terveinek megvalósítását az I. világháború akadályozta meg.

* Elhangzott a „Kismintavizsgálatok a vízgazdálkodásban” című 1962. október 24-én tartott ankéton.

A hidraulikai laboratórium létesítésének tervét, kerek tízesztendei szunyadás után, 1925 körül vetette fel ismét ROHRINGER Sándor professzor. Kitaró erőfeszítéssel, néhány érdekelt vállalat támogatásával hozta össze az elsősorban oktatási célokat szolgáló első, kis, műegyetemi laboratóriumot. A tanszék akkori adjunktusa, TÖRY Kálmán volt a közvetlen segítője.

A laboratórium 60×60 cm keresztmetszetű, 8 m hosszú, üvegfalú csatornáját a Ganz-gyár adományozta 20 l/s max. teljesítőképességű szivattyú táplálta. Később még 2 üvegfalú káddal és egy kisebb medencéből táplált kb. 15 m hosszú csővezetékekkel egészült ki a berendezés. A kádakban a gáttesten át való szivárgást és a kutak körül kialakuló áramlási viszonyokat mutattuk be a hallgatóknak, a csővezetéken piezométerek segítségével szemléltettük a súrlódás hatását és a különböző idomdarabok okozta nyomásvesztés nagyságát.

Mikor az európai vízépítési laboratóriumok első összefoglaló ismertetése 1926-ban megjelent [2], a budapesti laboratórium még születőben volt. De a mű 1929-ben angol nyelven kiadott második, bővített kiadása már közli a leírását. A laboratórium az 1928/29-es tanévtől rendszeres gyakorlatokkal szolgálta a hazai mérnököképzést. A vízügyi szolgálat akkori vezetősége kísérletekre vonatkozó megbízásokkal segítette a kis laboratórium felszerelésének fejlesztését. Az első ilyen munka a bogyzslói Duna-átvágás szabályozási tervének felülvizsgálata volt.

A laboratórium működése hamarosan a szakirodalomban is éreztette hatását. Egymás után jelennek meg a tárgykörbe vágó cikkek és referátumok. Idehaza az első egyike a hídpillérek körüli kimosásokra vonatkozó kísérleteim beszámolója volt [3], külföldön ROHRINGER professzornak a német és osztrák sajtóban megjelent cikkei, ill. az 1931. évi nemzetközi hajózási kongresszusra benyújtott tanulmánya tette ismertté a budapesti műegyetem laboratóriumának a munkásságát [4]. A magyar mérnököknek a külföldi laboratóriumok munkássága iránti fokozódó érdeklődését SZILÁGYI Gyulának, a korán elhunyt BENEDEK Pálnak, SABATHIEL Józsefnek, NÉMETH Endrének, MAYER Lászlónak, MOSONYI Emilnek és másoknak a Vízügyi Közleményekben 1933 és 1937 közt megjelent ismertetései tanúsítják, amelyek az akkori idők legjelentősebb német, amerikai, olasz és francia kutatóintézetei mellett a Szovjetunió laboratóriumairól is tájékoztatást adtak. Egyesek külföldi laboratóriumokban ösztöndíjasként végzett saját kutatásaikról számoltak be (EINWACHTER, LÁSZLÓFFY, SZILY).

ROHRINGER Sándor elsősorban lelkes, lelkiismeretes pedagógus és kitűnő szervező volt. A laboratórium megteremtésével jelentékeny mértékben hozzájárult ahhoz, hogy a hazai vízépítési kutatás európai szintre emelkedett. A külföld ezért igen nagyra értékelte. Mikor Wolmar FELLENIUS svéd professzor kezdeményezésére 1935-ben Brüsszelben megalakult a *Nemzetközi Vízépítési-ügyi Kutatási Szövetség* [International Association for Hydraulic Research],

tanúja voltam, milyen őszinte megbecsülés vette körül, és hogy ez nem pusztán udvariasság volt, azt legjobban S. LELIAVSKY professzornak, a kairói műegyetem öntözési tanszéke világhírű vezetőjének „*An Introduction to Fluvial Hydraulics*” c., francia fordításban is megjelent munkája bizonyítja. Ez az 1961-ben kiadott mű több helyen hivatkozik ROHRINGER professzorra, és a folyók modellezésével foglalkozó 1935. évi, Brüsszelben bemutatott tanulmányát 5 oldalon 2 ábrával ismerteti.

ROHRINGER Sándor örökébe 1939-ben NÉMETH Endre lépett. Az ugyanakkor felállított II. sz. vízépítési tanszékre SZILY Józsefet nevezték ki, aki már a laboratóriumok neveltje volt, és röviddel kinevezése előtt éppen „*A vízépítési laboratórium és a modellkísérletezés*” c. munkája alapján (Budapest, 1939.) szerezte meg magántanári képesítését. Az ő nevéhez fűződik a második, nagyobb méretű modellek beépítésére alkalmas vízépítési laboratórium megteremtése is. Ezzel a hazai vízépítési kísérletügy túljutott kezdeti szakaszán.

A két laboratórium további fejlesztését és 1944. évi siralmas pusztulását NÉMETH Endre írta meg a Vízügyi Közlemények 1946. évi kötetében. Az azóta bekövetkezett fejlődés már a szemünk előtt folyt le. Tudjuk, hogyan újultak meg az Építőipari és Közlekedésügyi Műszaki Egyetem vízépítési laboratóriumai, miként épült meg 1955-ben MOSONYI Emil professzor vezetésével az egyetem harmadik, szabadtéri laboratóriuma, és hogy miként született meg a Közlekedés- és Mélyépítéstudományi Egyesületben alakított munkabizottság javaslata és SALAMIN Pál, valamint KOVÁCS György eszmei tervei alapján a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet mai nagy laboratóriuma.

Ez a kormányzatunk páratlan áldozatkészségével létrehozott laboratórium a hazai kutatás számára újabb, nagy lehetőségeket teremtett. Laboratóriumaink, miként eddig, a jövőben is haszonnal fogják szolgálni a magyar népgazdaságot.

IRODALOM

1. *Vízügyi Közlemények*. I. évf. 6. szám.
2. THIERRY-MATSCHOSS: *Die Wasserbaulaboratorien Europas*. Berlin, V. D. I.
3. *Vízügyi Közlemények*. 1929. évi 2. szám.
4. Laboratoriumsversuche als Hilfsmittel der Flußregulierung. XV. Internationaler Schiff-fahrts-Kongress, Venezia, 1931.

A KISMINTAVIZSGÁLATOK FEJLŐDÉSE ÉS SZEREPE A VÍZGAZDÁLKODÁSBAN*

BOGÁRDI JÁNOS
AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

A kismintavizsgálatok feladata — mint ismeretes —, hogy segítséget adjon a vízmozgás igen összetett jelenségeinek megismeréséhez, és ily módon olyan tapasztalati összefüggések birtokába juttasson bennünket, amelyeket analitikai eszközökkel egyáltalán nem lehet meghatározni. *A kismintavizsgálatoknak tehát egész egyszerűen az olyan feladatokat kell megoldaniuk, amelyeket összetettségük következtében még a legnagyobb matematikai apparátussal sem sikerül megoldani.* Nem csoda tehát, hogy több mint fél évszázados külföldi kezdeményezések után — nem említve a középkor nagy tudósának, LEONARDO DA VINCINEK fél évezreddel ezelőtti ilyen irányú munkásságát — hazánkban is ma már több olyan intézet működik, amelynek feladata éppen a kismintavizsgálatok végzése, sőt a szorosan vett három, illetőleg négy vízépítési laboratórium mellett még számos kutatóhely végez többé-kevésbé a vízgazdálkodás körébe vágó hidraulikai vizsgálatokat.

Még kell említeni, hogy a kismintavizsgálatok végzésénél külön előnyt jelent, hogy olyan *mellékbefolyásoktól mentes körülményeket alakíthatunk ki*, melyek közepette éppen a keresett jelenség válik dominánssá, röviden tehát zavaró szuperponáló hatások nem lesznek. Mivel a természetben ilyen észlelési, mérési körülmények szinte elő sem fordulhatnak, nyilvánvaló, hogy a kismintavizsgálatok igen előnyösek ebből a szempontból.

A kismintavizsgálatok további nagy előnye még, hogy *a vizsgálatok elvileg tetszés szerinti számban megismételhetők.* A megismételhetőség különben annyira alapvető sajátsága a kismintavizsgálatoknak, hogy ezt a körülményt tekinthetjük a legjellemzőbbnek. Egy másik fontos sajátságuk az a körülmény, hogy általában, bizonyos megkötöttségektől függően ugyan, de szabadon választhatjuk a méretarányt. Bár kétségtelen, hogy a választott méretarányok általában a valósághoz képest kisebb minták építését teszik lehetővé, de nagyon sok esetben a méretarány az 1 : 1, sőt olyan esetek is előfordulnak, amelyeknél a valósághoz képest méreteiben nagyobb modellen vizsgáljuk a

* Elhangzott „Kismintavizsgálatok a vízgazdálkodásban” című 1962. október 24-én tartott ankéton.

kérdéses jelenséget. Éppen ezért a kismintavizsgálat elnevezés sem teljesen megfelelő, mert hiszen általában kísérleti jellegű hidraulikai vizsgálatokat, kutatásokat értünk ez alatt az elnevezés alatt.

Mielőtt a kismintavizsgálatok fejlődésére térnénk rá, célszerűen a jelenlegi helyzetről is kell beszélnünk.

A kismintavizsgálatok elméleti, módszertani és gyakorlati szempontjait tekintve, óriási fejlődést tapasztalhatunk. Az eddig végzett sok-sok fáradságos elméleti kutatás számos törvényszerűséget állapított már meg. Az elméleti alapok általában tisztázottnak tekinthetők. A valóság és a kisminta közötti kapcsolatot biztosító ún. *mechanikai hasonlóság* feltételei elvileg ismeretesek. Az a nézet, miszerint az egyes vízmozgás-jelenségek minden szempontból való szabatos leképezése lehetséges, ma már a múlté. Meg kell mondanunk azt is, hogy az eddigi fejlődés során sok ferde és téves nézet is felszínre került. A rendkívül hasznosan alkalmazható és páratlan előnyöket biztosító dimenzió-analízis például több esetben tévedésekre vezetett. Ez elsősorban az ún. különleges feltételek meghatározása és kielégítése mellett fordulhatott elő, oly módon, hogy bizonyos, a folyadék anyagi tulajdonságaihoz kapcsolt és így minden körülmények között kielégítendő feltételt hanyagoltak el. Az egésznek az a látszata, mintha szinte várnák, hogy a tökéletes mechanikai hasonlóság kicsinyített modellnél is bekövetkezhetik.

Ezek a körülmények kezdetben, különösen a gyakorlat számára, bizonyos csalódást okoztak. Ebből az időből származott a kismintavizsgálatokkal szemben mutatkozó bizalmatlanság, ami talán a folyószabályozók részéről még napjainkban is nyomokban megmutatkozik. De az egészséges fejlődés tovább haladt a maga útján. Annak következtében, hogy minden kismintánál előre tudjuk a várható pontosságot és azt, hogy mire képes a kisminta válaszolni, a kételkedő szakkörök is bizalommal fordulnak a kismintavizsgálatok felé. Bebizonyosodott az a körülmény, hogy sok esetben a tényleges kvalitatív eredmény többet ér a bizonytalan kvantitatív értékelésnél. A részleges, a vizsgált feladat, a részfeladat szempontjából szükséges hidraulikai hasonlóság tért hódított és komoly eredményeket hozott. Általában tisztázódtak a geometriailag torzított modellek alkalmazásának feltételei és sok-sok, a gyakorlatban szinte mindennap előforduló kérdés megoldásához standard vizsgálati eljárások alakultak ki.

A kismintavizsgálatok fejlődését részleteiben talán három szempontból célszerű áttekinteni. Az első az *elméleti fejlődés*, a második az *eszközök, műszerek, mérő- és észlelő berendezések fejlődése*, a harmadik pedig a *gyakorlati alkalmazás és felhasználás területén mutatkozó fejlődés*.

A kismintavizsgálatokkal foglalkozó anketé során bennünket főképpen a gyakorlati alkalmazás és felhasználás területén mutatkozó fejlődés érdekel, mert hiszen ezzel egyidejűleg választ kapunk arra, hogy a kismintavizsgálatok milyen szerepet töltenek be ma a vízgazdálkodásban, sőt arról is tájékozód-

hatunk, hogy milyen szerepet kellene betölteniök a vízgazdálkodás problémáinak megoldásában.

Az *elméleti fejlődést* tekintve megállapítható, hogy az elsősorban a természeti megfigyelések és tapasztalatok, valamint a hidromechanika újabb elméleti tételeinek egyeztetésében mutatkozik meg. A fejlődés során általában letettek az általános érvényű modelltörvények alkalmazásáról. Ehelyett egy adott feladathoz keresik meg azokat a még kielégítendő különleges feltételeket, amelyek a vizsgált kérdés szempontjából a leglényegesebbek. Az ún. invariánsok alkalmazása szinte virágkorát éli. Találkozunk ezen a téren félreértésekkel is, mert néha egymástól függő invariánsokat vagy invariáns-csoportokat is külön feltételként vesznek figyelembe.

Új irányzatnak tekintendő, hogy a valóság és kisminta hasonlóságát általában minden feltétel *előzetes* megállapítása mellett kísérlik meg meghatározni. Az ilyen eljárások nagyobb előkészítő munkát igényelnek, de a kisminta alkalmazásánál a hidraulikai hasonlóságot már számottevőbb változtatások nélkül biztosíthatjuk.

Végül meg kell említenünk, hogy az elméleti fejlődés részben a kismintavizsgálati módszerek minél szélesebb körben való alkalmazására is vonatkozik.

A *mérő- és észlelő berendezések, eszközök fejlődésében* rohamos az előrehaladás. Mind nagyobb és nagyobb tért hódít az elektromos, valamint az elektronikus észlelés és megfigyelés. A legkülönbözőbb automatikus észlelő és regisztráló berendezéseket vezetnek be. A digitális számítógépek alkalmazása gyakorlatilag megszabadít a fáradságos és hosszadalmas számítási munkáktól. Még fontosabbak azonban az ún. analógiás számítógépek, amelyek tulajdonképpen bizonyos meghatározott analógiák alapján magukat a vizsgálatokat végzik el. Ezeknek a berendezéseknek a pontossága általában $0,1 \div 5,0\%$ között mozog, de az $1 \div 2\%$ -os pontosság különösebb nehézség nélkül biztosítható. Mint analógiás számítógépek, tulajdonképpen modelljei a vizsgált jelenségnek, és pedig — mint tudjuk — legtöbbször elektromos modelljei. Ezeknél mindig elektromos mennyiségeket mérünk, és ezekből az analógia-feltételek alapján kapjuk meg a keresett fizikai mennyiségeket. Az egyes változatok mérési ideje, sőt egy-egy változatról a másik változatra való áttérés rendkívül rövid idő alatt történik meg, ami a kísérleti időt, például a hidraulikus modellekhez viszonyítva, rendkívül nagymértékben lecsökkenti.

A radioaktív izotópok laboratóriumi alkalmazása is ma már többkevesebb sikerrel megindult. Várható, hogy az „atomkorszak” a kismintavizsgálatok körében is hamarosan bekövetkezik.

A további részleteket mellőzve, annyit kell még megállapítanunk, hogy a mérő- és észlelő berendezések fejlődése következtében számos, még tisztázatlan feladat megoldását várhatjuk a közeljövőben.

A *kismintavizsgálatok gyakorlati szerepe a vízgazdálkodásban* rendkívül szerteágazó. Ezzel kapcsolatban rögtön le kell szögeznünk azt a körülményt,

hogy a kismintavizsgálatok gyakorlati alkalmazása távolról sincs a vízgazdálkodás körére korlátozva. Különösen igaz ez napjainkban, amikor a népgazdaság többi ágazatai, elsősorban az ipar és a közlekedés, rendkívül sok kérdésben igényli a kismintavizsgálatok nyújtotta segítséget. A fentiek mellett külön ki kell emelnünk a mezőgazdaság igényeit, amely a vízgazdálkodással való szoros kapcsolata révén szinte az utóbbival egyenrangú módon kell hogy igénybe vegye a kismintavizsgálatok eredményeit.

A kismintavizsgálatok segítségét a vízgazdálkodás valamennyi ágazatában igénybe kell venni. Anélkül, hogy a teljességre törekednénk, röviden felsorolunk néhány olyan vízgazdálkodási ágazatot, melynek területén különösen jelentős a kismintavizsgálati módszerek alkalmazása.

Öntözés: az öntözővíz mérése, szabályozása és szétosztása, a talajba való beszivárgás, felszíni vízlepel mozgása, szórófejek vizsgálatok stb.

Belvízrendezés: vízhozammérők, vizek összegyülekezése.

Vízellátás: csőben való vízmozgás, kutak hidraulikája, talajvízmozgás.

Csatornázás, víztisztítás: tisztító berendezések, pl. ülepítőmedencék hidraulikája, mérőberendezések, kombinált és átmeneti műtárgyak (pl. vészkiömlők) hidraulikája.

Folyószabályozás, folyócsatornázás: hordalékmozgás, vízlépcsők elhelyezése és kialakítása, mederállandóság, energiatörő berendezések, árapasztók.

Árvízvédelem: töltések alatti szivárgás, nyomáscsökkentő padkák, kútsorok, szivárgók és csatornák hidraulikája.

A kismintavizsgálatokkal foglalkozó ankét keretén belül természetesen még az előzőekben felsorolt néhány téma közül sem tudunk mindegyikkel foglalkozni. Éppen ezért három olyan témát választottunk ki, amelyek a vízgazdálkodás jövőbeni fejlődését tekintve nagyon is időszerűnek látszanak. Ez a három téma időszerűsége mellett az eddig elért eredményeket tekintve is igen figyelemre méltó, és megismerésük jól megvilágítja a kismintavizsgálatoknak a vízgazdálkodásban betöltött szerepét.

Az első tanulmány Haszpra Ottótól származik. Ez a tanulmány az öntözés fejlesztésével kapcsolatos kismintavizsgálatokról nyújt tájékoztatást.

Öntözéseink nagyarányú fejlődése, de még inkább a jövőben tervbe vett fejlesztés mindenképpen indokolja, hogy az öntözés hidraulikai kérdéseinek tisztázására kiterjedt vizsgálatokat végezzünk.

Az öntözésnél a mezőgazdaságtannal, a talajtannal, a hidrológiával, az öntözővizek minőségével, az öntözés hidraulikai kérdéseivel stb. kapcsolatban rendkívül sok probléma merül fel. Számunkra természetesen elsősorban a hidraulikai vizsgálatok fontosak.

A csatornában mozgó víz elszivárgása, a tározókból történő elszivárgás, a folyók duzzasztott teréből történő elszivárgás s ezeknek vízvesztesség, ill. talajvízszinemelkedés formájában jelentkező hatása modellkísérlet és helyszíni vizsgálatok nélkül nem határozható meg az élet által megkövetelt pon-

tossággal. A csatornáknban mozgó víz különböző műtárgyakon, hidakon, bujtatókon, zsilipeken stb. halad keresztül, amelyek az áramlásban energia-veszteséget, a vízszintben esésveszteséget okoznak. A hidraulikai kismintavizsgálatok feladata olyan műtárgyak és átmeneti elemek kialakítása, amelyek a műtárgy rendeltetésszerű működését biztosítják, nem drágák, sőt esetleg olcsóbbak a klasszikus típusoknál, s amellet kisebb esésveszteséget is okoznak. A csatornában folyó vizet mérni kell; gazdaságos, üzembiztos, korszerű, lehetőleg regisztráló és összegezõ, ill. vízhozamadagoló berendezésekre van szükség, megint csak a kis esésveszteség hangsúlyozásával. És hasonló jó tulajdonságokkal rendelkező mérõberendezések kellenek a szivattyútelepek vízszolgáltatásának mérésére is. Megnyugtató módon nem oldható meg hidraulikai kísérletezés nélkül a földekre kijutó vízlepel haladásának és beszívár-gásának, elcsurgásának problémája.

Vannak csatornák, amelyek az öntözõvíz szállításán kívül belvízlevezetésre és hajózásra is szolgálnak (pl. a Keleti Fõcsatorna). Ezek vízszinalakulása rendkívül bonyolult, figyelembe véve még a keresztaszelvény változásait is. A kismintavizsgálat ilyen kérdésre is választ tud adni.

Fõként a rohamosan terjedõ esõszerű öntözéssel kapcsolatban nagyarányú laboratóriumi mérésekre van szükség a különféle átmérõjű, anyagú, gyártmányú csõvezetékek, idomok hidraulikai jellemzõinek meghatározására, hiszen ezek nélkül gazdaságosan tervezni nem lehetséges. Külön nagy vizsgálatssorozatokra van szükség a különféle szórófejek jellemzõ adatainak meghatározására, illetve ellenõrzésére.

Végül nem feledkezhetünk meg az öntözés egy újabb módjáról, a talajvízbõl történõ öntözésrõl, amely több más tudományág mellett a kúthidraulika fejlõdésének ad ösztönzést.

Az öntözéssel kapcsolatos hidraulikai kutatások jelentõs része, a néha meglepõen nagyfokú kicsinyítésű folyó és fõcsatorna kismintákat leszámtítva, általában csak néhányszoros kicsinyítésű kismintán, sõt gyakran 1 : 1 méretarányú modellen történik. Ezeknél a vizsgálatoknál a valóságra átszámtítás a legtöbb esetben nem okoz problémát. A vizsgálatok jellege, végrehajtási módja következtében azonban mindenképpen beletartoznak a kismintavizsgálatokkal foglalkozó anket anyagába.

Itt említhetjük meg, hogy távolról sem értünk egyet azzal a felfogással, hogy csupán a nagy beruházási összeget igénylõ, nagy és egyedi vizimunkálatok, illetõleg viziműtárgyak tervezéséhez szükséges kismintavizsgálatokat végezni. Véleményünk szerint a kisebb jelentõségű olcsó, de igen gyakran és igen nagy számban elõforduló vizimunkálatok, illetõleg viziműtárgyak, típusműtárgyak tervezéséhez ugyanolyan szükség van a kismintavizsgálatok végzésére, mint a nagy műtárgyaknál.

A második tanulmányban Hankó Zoltán a természetes vízfolyások kismintavizsgálati módszereivel foglalkozik.

A természetes vízfolyásainkkal kapcsolatos vízgazdálkodási feladataink túlnyomó része annyira összetett és annyira egyéni sajátága a kérdéses vízfolyásnak, hogy elméleti számításokkal megoldásuk szinte lehetetlen. Gondoljunk csak a folyószabályozás feladataira, amelyeknek végrehajtását még ma is legcélszerűbben a folyóval kapcsolatos tapasztalataink, megfigyeléseink alapján tudjuk elvégezni. Nyilvánvaló, hogy ha például csak a folyószabályozás feladatait tekintjük, minden olyan tapasztalat és eredmény, amely a folyó sajátságainak megfelelő megoldásokat elősegíti, rendkívül hasznos lehet. De a természetes vízfolyásokkal kapcsolatban a tisztán folyószabályozási feladatok mellett számos más feladat is felmerül. A folyami vízlépcsők elhelyezése, az ezzel kapcsolatos jéglevonulási, feliszapolódási kérdések, az erőtelepre való rááramlási viszonyok stb. mind olyan kérdések, amelyeket kismintavizsgálatok segítségével kell megoldanunk. Magától értetődő, hogy a vízfolyásokban elhelyezett műtárgyak kialakítása szempontjából is nélkülözhetetlenek a kismintavizsgálatok. A viziműtárgyak rendeltetészerű üzeme, például a folyami duzzasztóműveknél a vízlebotsátás mikéntje, a hajószilipek töltése és ürítése, a hajózás legcélszerűbb és leggazdaságosabb biztosítása, a viziműtárgyak jég elleni védelme, a műtárgyakkal kapcsolatban várható hordalékfeltöltődések elleni védelem stb. mind olyan kérdés, amit ma már szerte a világon modellkísérletek segítségével oldanak meg.

A természetes vízfolyások kismintavizsgálatai rendkívül széles körűek, mint azt a fentiekben vázolt különböző feladatok is mutatják. Mai ankétunkon a szilárdmedrű kisminták hidraulikai méretezési kérdéseivel foglalkozik az előadó. Vizsgálataink tárgya a felszíni áramképre és a vízszinalakulásra vonatkozik. Itt különösen az áramképnek a valósághoz képest való eltorzulása a fő kérdés, amelyet hosszú ideig a centrifugális erő torzulásának tulajdonítottak. Az előadó vizsgálatai megmutatják, hogy az áramképektorzulást főképpen a modell relatív érdességének a valósággal meg nem egyező volta idézi elő azáltal, hogy eltorzítja az egyes függvények sebességelosztását.

Míg a kisebb műtárgyaknál, mint láttuk, legtöbbször jelentéktelen a kicsinyítés, a folyószabályozási modelleknél általában a valósághoz képest nagymértékben kicsinyített modelleket kell építenünk, ami a modell méretszorzóinak a meghatározására vonatkozóan jelent igen nagy feladatot.

A harmadik tanulmány, Öllös Géza dolgozata, *a szivárgási jelenségek* kismintavizsgálatait ismerteti. A szivárgási jelenségek egyaránt jelentkeznek a műtárgyaknál, az öntözésnél, a vízbeszerzés problémáinál, sőt az árvédelmi töltések alatti káros szivárgások révén az ármentesítési munkálatoknál is.

A szivárgás jelenségét a műtárgyakkal kapcsolatban a műtárgyak alatti szivárgásra, a műtárgyak építésénél pedig gyakran a talajvízszinsüllyesztés kérdésére is ki kell terjeszteni. De a szivárgás vizsgálata segíti a tervezőt, hogy például a szádfalaknak és az alaplemezeknek optimális hosszát tudja tervébe beiktatni. Igen fontos a földgátakon keresztül, illetőleg az alattuk

történő szivárgás vizsgálata. Az öntözéssel kapcsolatban — mint már említettük — a kismintavizsgálatok az öntözőcsatornákból való elszivárgás vizsgálatára, valamint az ilyen öntözőcsatornáknak és a belvízcsatornáknak a talajvízszin alakulására gyakorolt hatásának megismerésére terjednek ki. De bizonyos szempontból még az öntözőcsatornák szigetelési kérdései, sőt a talaj víznyelő képességének a meghatározása is a szivárgási kismintavizsgálatok tárgya lehet. A vízellátási kérdésekkel kapcsolatban válnak szükségessé a kutak hidraulikájára vonatkozó vizsgálatok. A kutakból kitermelhető vízmennyiség, valamint az áramlási és egyéb viszonyok megismerése mind olyan kérdés, amelyet szivárgási vizsgálatokkal állapíthatunk meg.

A kis- és nagyműtárgyakkal kapcsolatos kismintavizsgálatokhoz viszonyítva a szivárgási vizsgálatok egész más módszertani és mérési eljárásokat kívánnak. Mint ahogy azt ÖLLŐS Géza tanulmánya is megállapítja, a szivárgási kisminták átszámítási feladatai egészen más természetűek, és szorosan kapcsolódnak a közelítőleg potenciálisan tekinthető áramlások kérdéseihez.

Az eddigiekből világosan látható, hogy a kismintavizsgálatok szinte nélkülözhetetlen segítséget tudnak adni a vízgazdálkodás legkülönbözőbb feladatainak megoldásánál. Ezekkel a lehetőségekkel élni kell, és ha bizonyos kezdeti nehézségek jelentkeznek is, a kismintavizsgálatok nyújtotta előnyöket nem szabad feladni. Véleményünk szerint szükséges lenne, hogy a nagy számban előforduló kisműtárgyakat csakis laboratóriumi kísérletekkel ellenőrzött szabványtervekkel lehessen tervezni és építeni. A nagyobb műtárgyak tervezésénél mindenképpen igénybe kell venni a kismintavizsgálatokat. Minden olyan terv készítésénél, amelynél számítással megoldhatatlan feladatok merülnek fel, véleményünk szerint szinte kötelező kismintavizsgálatok segítségével kísérteni meg a kérdés megoldását.

Arra is rá szeretnék mutatni, hogy a gyakorlat részéről a legkülönbözőbb formában jelentkező követelményeket csak akkor lehet jól kielégíteni, ha a kismintavizsgálati módszerek és elméleti tételek fejlesztéséhez szükséges alap kutatások lehetőségét is biztosítjuk.

Az ankéton szereplő tanulmányoknak elsősorban az a céljuk, hogy általános áttekintést nyújtsanak a kismintavizsgálatoknak a vízgazdálkodásban betöltött feladatairól. Ennek megfelelően a tanulmányok az egyes új vizsgálati módszerek és eredmények ismertetése mellett a szabványos kismintavizsgálati eljárások részleteire is kiterjednek. A tanulmányokban bizonyos ismétlések is előfordulnak, amelyek azonban mind azt a célt szolgálják, hogy minél általánosabb képet tudjanak nyújtani a kismintavizsgálati módszerekről és azoknak vízgazdálkodási alkalmazásáról.

KISMINTAVIZSGÁLATOK AZ ÖNTÖZÉS FEJLESZTÉSÉNEK SZOLGÁLATÁBAN*

HASZPRA OTTÓ

VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS KUTATÓ INTÉZET, BUDAPEST

Az öntözővizet akkor is mérni kell, ha ingyenes szolgáltatássá válik. A vízhozammérést, a vízmennyiségmérést és az adagolást olcsón, pontosan, megbízhatóan kell végezni. Ilyen irányú vizsgálatokkal a VITUKI-laboratórium 1956 óta foglalkozik.

A szabadfelszínű csatornák mérőműtárgyaira vonatkozó vizsgálatok közül a kosütési és levegőbeszívási jelenségek említethetők.

Típus csóáteresznel a betorkollás módosítása jelentékeny esésmegtakarítást eredményezett.

A trapéz-szelvényű Venturi-csatornák kisebb esésvesztéssel működnek, mint az eddig szokásos derékszögű szelvényűek.

A törőlapú átmenet olcsóbban, pontosabban építhető és az esetek nagy részében hidraulikailag is kedvezőbb a torzfelületnél.

A mellékáramú mérés mérsékelt hordaléktöménységű vízben, zárt szelvényben mennyiségmérésre használható. Elméletileg már a szabad vízfelszín megszakítása nélkül is tisztázott.

A felületi mérőfej a vízhozamot nyomáskülönbség létrehozásával méri. Mérhető esésvesztéséget általában nem okoz.

Az 1 : 1-ben vagy kicsinyített méretben végzett laboratóriumi vizsgálatok a vízmérés megoldásához sem nélkülözhetők.

1. Bevezetés

Az alábbiak a hazai öntözésekkel kapcsolatos hidraulikai feladatok közül a VITUKI-laboratóriumban végzett vízhozam- és vízmennyiségmérésre vonatkozó laboratóriumi modellkísérletekről számolnak be. Más vizsgálatokra csak annyiban térnek ki, amennyiben ezek szorosan hozzátartoznak az említett témához.

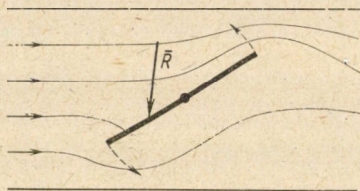
2. Szabadfelszínű csatornák mérőműtárgyaira vonatkozó vizsgálatok

Az idevágó vizsgálatok közül főképp a különféle csőszilipek és tiltók mérésre való felhasználását célzó vizsgálatokat kell említeni [1]. A kísérletek célja annak tisztázása volt, hogy elég szoros kapcsolat van-e a táblás vagy pillangószelepes csőszilip nyitási mértéke, a felvív és az alvíz szintkülönbsége, valamint az átfolyó vízhozam között, figyelembe véve különböző zavaró változókat is. A vizsgálatok számszerű adatokkal világították meg ezt az egyál-

* Elhangzott a „Kismintavizsgálatok a vízgazdálkodásban” című 1962. október 24-én tartott ankéton.

talán nem egyszerű kérdést, sőt kimutattak olyan jelenséget is, amelyre a tervező, sőt ilyen irányú gyakorlat híján a kísérletező sem számított.

Ilyen érdekes megfigyelés volt pl. a pillangószelepes tiltókon fellépő *kosütési jelenség*. Az a körülmény, hogy a hirtelen zárás kosütést okoz, közismert dolog. Ezért a szelep csukását nyilván megfelelő lassúsággal kell végrehajtani. Ennek ellenére a modellnak néhány igen heves kosütési jelenséget kellett elszenvednie, mivel a szelepforgató kar egyszerűen kiugrott a kezelő személy kezéből és a szelep bevágódott. A csőátereszt átmérője 300 mm volt. 150 l/sec körüli vízhozamnál a kosütés már olyan hevessé vált, hogy a két téglafalat, amelyek közé a cső be volt építve, megrepesztette. Nyilvánvaló, hogy ezek után, ha a szerkezet egyébként meg is felel, csak megfelelő biztonsági berendezéssel felszerelve alkalmazható, különben a sorozatban gyártott műtárgy hasonló sorozatban történő tönkremenetele, sőt még nagyobb károsodások is bekövetkezhetnek. A hirtelen záródás okát, a szelepre az áramlás-



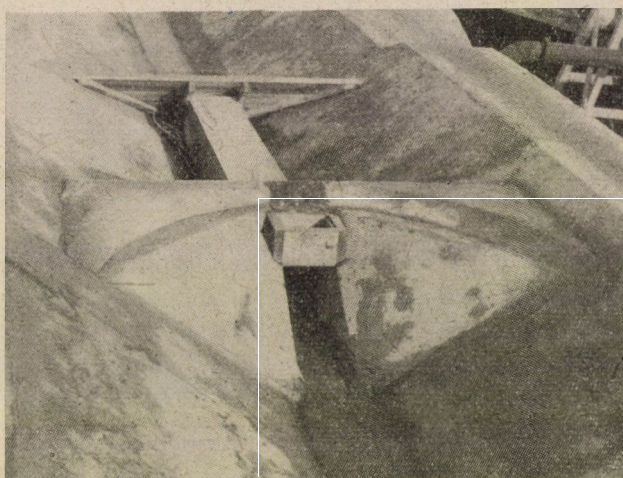
1. ábra. A pillangószelep körüli áramlás vázlata és a szelepre ható eredő

ból adódó forgató nyomatékot nem mi fedeztük fel. Az irodalomban, ha más körülményekre vonatkoztatva is, de nyoma van [2]. Szükségszerűsége is minden levezetés nélkül, kellő hidraulikai szemlélettel belátható (1. ábra). Mégis tény, hogy a vízépítő mérnök kezén forgó irodalom ezt a jelenséget nem tárgyalja s így valóban a modellkísérlet volt az egyetlen lehetőség ennek a jelenségnek idejében való felfedezésére.

Az említett modellel kapcsolatban a másik érdekes jelenség a *felvízi levegőbeszívás* volt. A levegőt a zsilipbe a felvízben kialakuló tölcser szállítja. A kísérletek során a tisztázandó kérdés az volt, hogy ez a jelenség mennyiben befolyásolja a zsilip víznyelését, továbbá, hogy miként lehet a tölcserképződést megakadályozni. A vizsgálat részletei nem különösebben érdekesek, ellenben érdeklődésre tarthat számot az a megfigyelés, hogy a tölcser csak akkor alakul ki, ha a főcsatornában a továbbfolyás jelentéktelen. Ha továbbfolyás van — a gyakorlatban legtöbbször ez a helyzet —, akkor a tölcser nem tud kialakulni, mert mire egy bizonyos vízrész felvinné azt a forgási sebességet, amely a tölcser kialakulásához szükséges, már tovább is haladt. A légbeszívás elleni védekezés tehát már fel sem merül.

3. Típus csőáteresz-sorozat hidraulikai vizsgálata [3]

A csőáteresz modellt először a tervező által megadott és általában szokásos homorú kúpos átmeneti felülettel építettük meg (2. ábra). Mivel azonban ez az alakítás megítélésünk szerint hidraulikai szempontból meglehetősen kedvezőtlennek volt minősíthető, a vizsgálatot megismételtük olyan sík átmeneti felülettel, amelynek vízszintes szintvonalai 45° -ot zártak be a csatorna tengelyével. Ez azt jelenti, hogy az átmeneti felület tengelyirányú hossza nem nőtt meg, felszíne viszont kisebb lett. Ezért kevesebb burkoló anyagot igényel, s ezenfelül sík volta miatt, egyszerűbben és pontosabban is építhető. A kísérletek kimutatták, hogy a módosított megoldás okozta veszteség a



2. ábra. Típus csőáteresz kismintája. Látható az eredeti homorú kúpos átmenet felső része és a javasolt sík átmenet

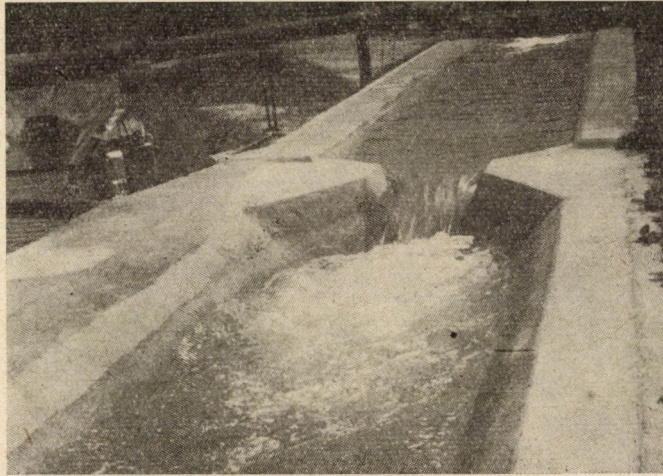
kisebb belépési kontrakció következtében jóval kisebb a kúpos átmenet okozta veszteségnél. A kúpos átmenettel ellátott $1 \div 1,5 \text{ m}^2$ keresztmetszetű csőáteresz vesztesége ugyanakkora, mint a nála 8 m-rel hosszabb, de sík átmenettel ellátott átereszé. A veszteség nyilvánvalóan tovább csökkenthető az átmenet és az áteresz fala közös élének lekerekítésével.

4. Trapézszelvényű Venturi-csatornára vonatkozó vizsgálatok [1,4]

Ismeretes hogy a közönséges derékszögű négyszögszelvényű Venturi-csatornák (3. ábra) vízszállítását visszaduzzasztás nélküli állapotban a

$$Q = a h^{3/2}$$

összefüggés fejezi ki, ha az érkező víz sebességét nem vesszük figyelembe, ill. ha belefoglaljuk az a együtthatóba. Ez azt jelenti, hogy a felvízmélység durván a vízhozam $2/3$ -ik hatványával arányosan nő. Ha tehát például a mérni kívánt legkisebb és legnagyobb vízhozam aránya $1 : 10$, akkor a felvízmélység változása $1 : 4,65$, ami meglehetősen nagy érték. Ezért STAROSOLSZKY Ö. kezdeményezésére a VITUKI-i laboratórium vizsgálatokat végzett trapézszelvényű Venturi-csatornákkal. A trapézszelvényű Venturi-csatorna torokszelvénye felfelé bővül, ezért ugyanazon fenékszélesség és vízmélység esetén



3. ábra. Trapézszelvényű Venturi-csatorna kismintája

több vizet képes szállítani, mint a derékszögű négyszögszelvényű Venturi-csatorna. A vízhozam és a felvízmélység közti kapcsolat valamilyen

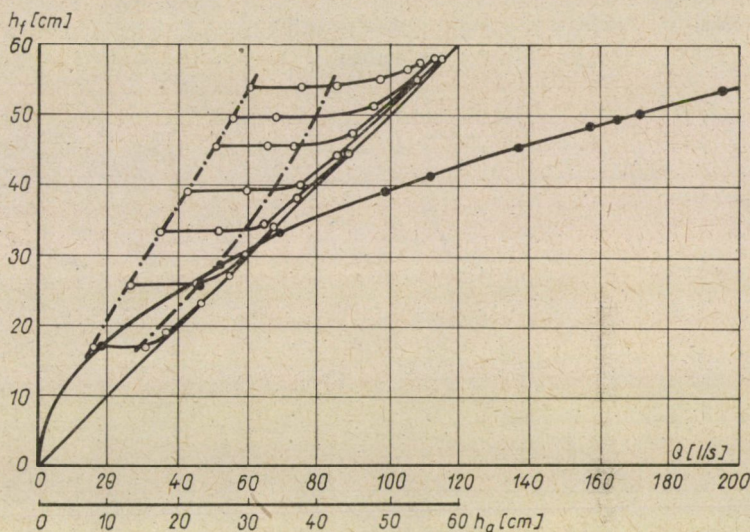
$$Q = a h^n$$

alakú függvénnyel fejezhető ki, ahol a vizsgált típusoknál n értéke 2^7 és $2,5$ között változott. Az összefüggés megfordításából világos, hogy a felvízmélység a vízhozam $1/2$ -ik, $2/5$ -ik hatványával arányos, vagyis valóban kedvezőbb a helyzet, mint derékszögű négyszögszelvényű Venturi-csatorna esetében.

Az adatok feldolgozását a 4. ábra mutatja. A vízhozamgörbe meghatározására a visszahatás nélküli állapot szolgált, vagyis az az állapot, melyben az alvíz nem hat vissza a felvízre. Az említett határállapot meghatározása Lamoen-féle görbesereggel történt.

A visszahatási határt leginkább h_a és h_f arányaként szokták megadni. Derékszögű négyszögszelvényű Venturi-csatornáknál ez az arány vagy konstans, vagy a h_f és h_a közti kapcsolat legalábbis lineáris; ábrája az origón

átmenő, vagy azt elkerülő egyenes. Trapézszelvényű Venturi-csatornákban a h_a/h_f viszony nem konstans, sőt a h_a (h_f) kapcsolat nem is lineáris. Ettől függetlenül azonban h_a/h_f értékében a gyakorlatban szóbajövő vízhozam tartományon belül a derékszögű és a trapézszelvényű Venturi-csatorna között nincs lényeges különbség. Eltérés mindössze abban van, hogy — azonos torok fenékszélesség esetében — ugyanaz a veszteség a trapézszelvényű Venturi-csatornánál nagyobb vízhozamhoz tartozik, mint a derékszögűnél.



4. ábra. Trapézszelvényű Venturi-csatorna hitelesítési ábrája: $Q(h_f)$ vízhozamgörbe és $h_a(h_f)$ visszahatási határvonal mint a Lamoen-görbék felgörbülési kezdőpontjának összekötése

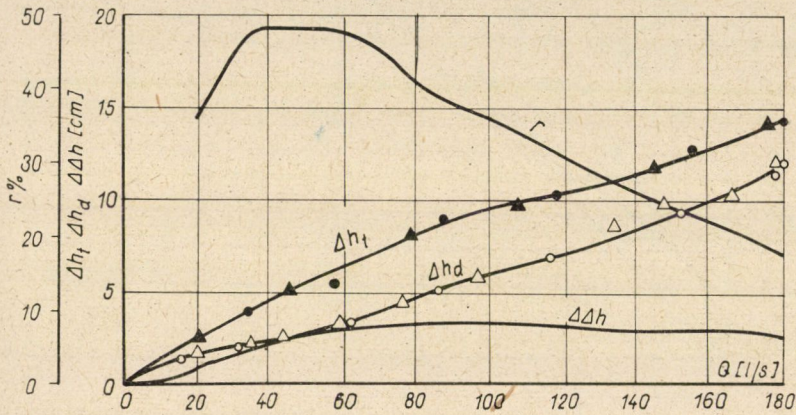
A vizsgálatok eredménye alapján a legkülönbözőbb feltételeknek megfelelő Venturi-típust ki lehet választani és meg lehet építeni. Pontos építés esetén helyszíni hitelesítés nem szükséges.

Érdeemes még megjegyezni, hogy Venturi-csatornák vízhozama elméleti alapon is számítható; STAROSOLSZKY Ö. összehasonlító számításai azonban azt mutatták, hogy ha nem is nagy, de tendenciózus eltérések tapasztalhatók a mérések és az elméleti számítás között. A modellkísérletek elvégzése tehát helyes volt és nyugodtan mondhatjuk, hogy hasonló esetben sohasem nélkülözhető.

5. Vizsgálatok törtlapú átmenettel

A Venturi-kísérletek módot adtak olyan vizsgálat sorozat elvégzésére, melynek eredményei a típushitelesítés során célszerűen felhasználhatók voltak. A megbízó az elterjedt gyakorlatnak megfelelően a vizsgálandó

típusok tervét *torzfelületű átmenettel* adta meg. Javaslatunkra azonban hozzájárult ahhoz, hogy *torzfelület* helyett két háromszög alakú síklapból álló, úgynevezett *törtlapú átmenettel* is végezzünk méréseket. A javaslatot több elgondolás támasztotta alá. Először is a *torzfelületű átmenet* megépítése viszonylag költséges, modellméretekben pedig kifejezetten rendkívül nehéz. Zsaluzni a szokásos módon nem is lehet, mert a deszkáknak kis hosszon olyan nagyfokú torziót kellene elszenvedniök, amit azok nem bírnak ki. A másik ok, amiért a *torzfelület* helyett a *törtlapú átmenet* javasoltuk, az volt, hogy hidraulikai érzékünk szerint a két felület által okozott veszteség között jelentős különbség nem lehet, sőt talán a *törtlapú átmenet* a kedvezőbb.



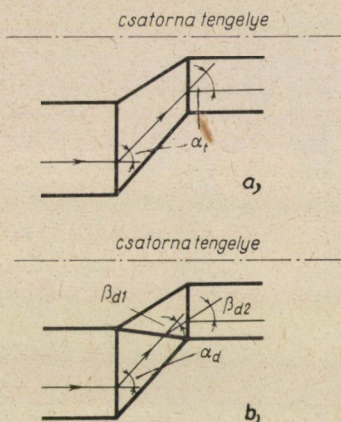
5. ábra. Torzfelületű átmenettel és törtlapú átmenettel megépült Venturi-csatorna összehasonlítása. Δh_t = a torzfelülettel épült Venturi-csatorna esésvesztése a visszahatási határon. Δh_d = a törtlapú átmenettel épült Venturi-csatorna esésvesztése a visszahatási határon. $\Delta\Delta h = \Delta h_t - \Delta h_d$ = a törtlapú átmenettel épült Venturi-csatorna esésnyeresége a torzfelülettel épülthöz képest. $r = 100 \cdot \Delta\Delta h / \Delta h_t$ = a relatív esésnyereség százalékban. Q = a vízhozam

Az összehasonlító kísérletek [5] a várakozást felülmúlóan jó eredménnyel zárultak. A törtlapú átmenet alkalmazása a műtárgynak az előbbieken már definiált esésvesztését még a közepes és a végeredményben mértékadó nagy vízhozamok esetében is 15 ÷ 35%-kal csökkentette (5. ábra). Nyilván felmerül a kérdés, hogy mi ennek a jelenségnek az oka. A 6. ábrán két, kontúrjában azonos átmeneti felületet ábrázoltunk felületnétzetben.

Az a) ábrán a felület torzfelület, a b) ábrán törtlap. A két felület hidraulikai összehasonlítását egy szélső áramvonal (közelítőleg szintvonal) segítségével lehet szemléletesen elvégezni. Nézzük először a *torzfelületet*. Látható, hogy ha az áramlás balról jobbra tart, az áramvonal első, α_t szögű törése konkáv s veszélyes leválás nem léphet fel; ebben a szelvényben a sebesség is még kicsi, tehát jelentős helyi veszteség sem keletkezik. A következő törés

konvex, ugyancsak α_t nagyságú, itt leválás következik be s fokozott kontrakció lép fel. A sebességek viszonylag nagyok, az átmenet okozta veszteség jelentős része itt következik be.

A b) ábra a *törtlapú átmenetnél* előálló helyzetet mutatja. A törtlapú átmenet két olyan háromszögből áll, amelyek egymáshoz a közös él mentén belülről nézve domború töréssel csatlakoznak. A szélső áramvonal első, α_d szögű törése itt sem veszélyes, bár nagyobb, mint α_t . A második, β_{d1} törés még nem túlságosan nagy sebességek helyén következik be, tehát az itt létrejövő leválás nem okoz jelentős veszteséget. A legkritikusabb helyen levő β_{d2} törés viszont kisebb, mint a torzfelület megfelelő helyén levő α_t , így a



6. ábra. A két átmeneti felület elvi összehasonlítása. a) torzfelület, b) törtlapú átmenet felülnézete

kontrakció kisebbfokú s ezért kisebb sebességek lépnek fel, mint a torzfelület megfelelő helyén, amiért is a veszteség is kisebb lesz.

A kérdés közelebbi megvilágítása érdekében vizsgálatokat végeztünk egyszerű bővülő és egyszerű szűkülő átmenetekkel is. *Bővülő átmenet* esetén az adott bővülési szögnél a végzett néhány vizsgálat arra mutatott, hogy a torzfelület és a törtlapú átmenet ellenállása között érdemleges különbség nincs. *Szűkülő átmenet* esetén a helyzet más. Ennek megismeréséhez célszerű a relatív esésnyereség (r) fogalmát bevezetni:

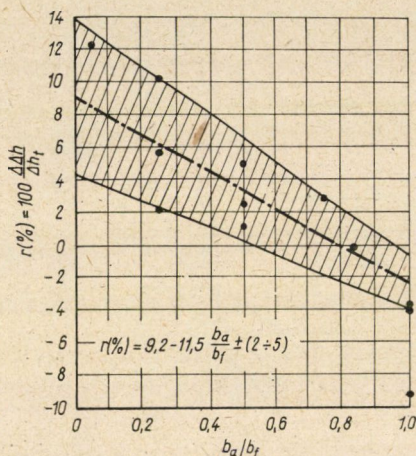
$$r = \frac{\Delta h_t - \Delta h_d}{\Delta h_t}$$

Itt Δh_t a torzfelületű átmenet, Δh_d a törtlapú átmenet okozta veszteséget jelöli, természetesen ugyanazon keresztmetszélyváltás esetén. Az ekként definiált r relatív esésnyereség tehát megadja, hogy a torzfelület által okozott

veszteséghez képest a törtlapú átmenet által okozott esésveszteség viszonylag mennyivel kisebb. Számos mérés adataiból

$$r(\%) = 9,2 - 11,5 \frac{b_a}{b_f} \pm (2 \div 5),$$

amint az a 7. ábrán látható. Itt b_a az alvizi, b_f a felvizi fenékszélességet jelenti. Az ábra jól mutatja, hogy $b_a/b_f > 0,5$ esetén az esésnyereség esetleg negatívvá is válhatik, vagyis hidraulikai szempontból a torzfelület lehet a kedvezőbb. Abszolút értékben azonban pl. 100 cm mély csatorna esetén is csak milli-



7. ábra. A törtlapú átmenet relatív esésnyeresége a fenékszűkülési viszony függvényében. b_a = alvizi fenékszélesség, b_f = felvizi fenékszélesség

méterekről van szó, tehát megítélésünk szerint még ebben az esetben is a törtlap mellett érdemes dönteni, hiszen építési előnyei (olcsóbban, egyszerűbben, szabatosabban építhető, mint a torzfelület) maradéktalanul megvannak. A szabatoságot külön szeretnénk hangsúlyozni, hiszen ez, mérőműtárgyról lévén szó, növeli a típusHITELESÍTÉS értékét. A mérési pontosság fokozása pedig végsősoron a termésHOZAM fokozásában jelentkezik.

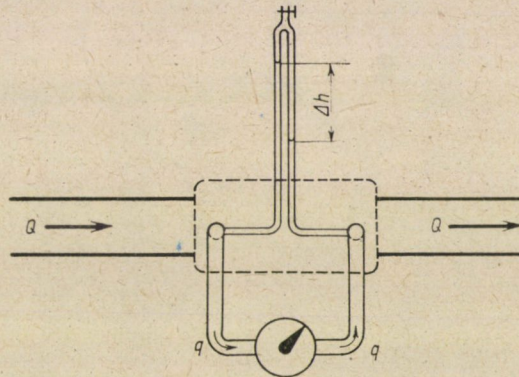
Még egy kérdés maradt tisztázatlan, nevezetesen: miként lehetséges az, hogy az egyszerű szűkülő átmenettel végzett vizsgálatok lényegesen kisebb esésnyereséget mutattak ki, mint amit előzőleg Venturi-csatornáknál tapasztaltunk? A válasz némi megfontolás után nem nehéz. A törtlapú átmenet gyorsabban szűkíti be a medret, mint a torzfelület, és így hatása hasonló ahhoz, mintha a torkot hosszabbítanánk meg. BözsöNY D. vizsgálataiból [6] viszont tudjuk, hogy a torokHOSSZ növelése az esésveszteség csökkenésével

jár. Venturi-csatorna esetén tehát a törtlapú átmenet egyidejűleg két hatást fejt ki: csökkenti a kontrakciót, és mintegy növeli a torokhosszat. Az igen kedvező eredmény e két hatásnak együttesen tulajdonítható.

6. Csővezetékben áramló víz hozamának és mennyiségének mérésére szolgáló berendezésekkel végzett vizsgálatok

6.1. Mellékáramkörű mérés

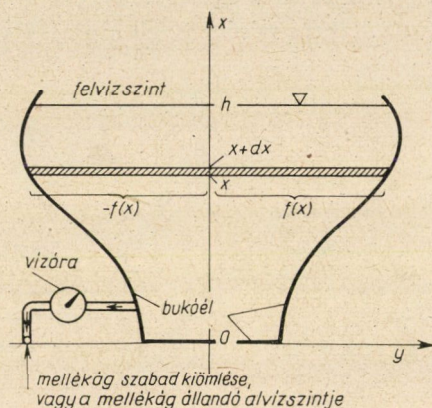
Ez az eljárás több mint félévszázados múltra tekint vissza. Azóta elterjedten használják tiszta víz és más tiszta folyadékok, valamint gázok és gőzök mérésére. Kísérleteink célja az volt, hogy ezt a kényelmes és egyszerű mérési módszert az öntözővíz mérésére is alkalmassá tegyük.



8. ábra. A mellékáramkörű mérőberendezés elvi vázlata

Mint ismeretes, a mellékáramkörű mérés lényege az, hogy az áramló vizet olyan berendezésen vezetjük keresztül, amelynek két pontja között az áramlás hatására nyomáskülönbség keletkezik (8. ábra). A két pont közé vízórával ellátott mellékágat kapcsolunk, amelyen át a nyomáskülönbség hatására a teljes vízhozam valamilyen tört része halad keresztül. Ha a teljes vízhozam és az órán áthaladó vízhozam aránya állandó, akkor az órával tetszőlegesen változó vízhozam esetén is lehet összegezést végezni, mert az óra által mutatott vízmennyiséget megfelelő tényezővel szorozva, a teljes átfolyt vízmennyiséget kapjuk meg. Ez a tényező, az ún. *szorzótényező* azonban csak akkor állandó, ha a főágban is és a mellékágban is egyrészt a vízhozam, másrészt a berendezés által létrehozott, a vízórárt működtető nyomáskülönbség között azonos jellegű, gyakorlatilag egyszerű négyzetes kapcsolat van. Ilyen áramlási viszonyok alakulnak ki pl. különféle szűkületekben,

mérőperemekben, Venturi-csővekben, valamint ívcsővekben és számos más berendezésben, továbbá a gyakorlatban használatos különféle típusú vízórákban. Az irodalomban [7] elterjedt vélemény szerint bizonyos, a gyakorlat számára teljesen kielégítő Reynolds-féle számhatár fölött ez a helyzet valóban előáll és a szorzótényező konstans. Vizsgálataink első eredménye az volt, hogy az említett állítás a gyakorlat számára szükséges tartományban sem egészen helytálló. A fő- és a mellékágban a turbulencia ui. nem azonos mértékben alakul ki, s így a szorzótényező a vízhozammal változik. Tény, hogy ez a változás a gyakorlat számára ma még nem jelentős, tudományos szempontból azonban már ma is érdekes, és ezért a kísérleti adatok alapján kidolgoztuk a mellékáramú mérés elméletét változó szorzótényező esetére [8].



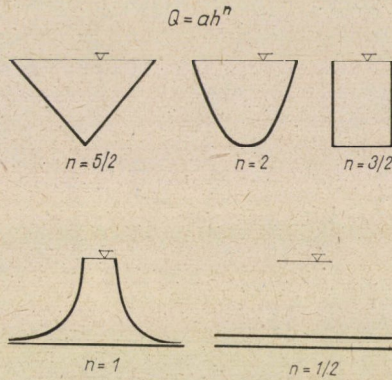
9. ábra. Mellékáramkörü órával ellátott mérőbukó elvi elrendezése

A mellékáramú mérés felhasználása eddig kizárólag zárt vezetékben, illetőleg nyílt csatornába iktatott zárt szelvény segítségével történt. Az utóbbiak sorába tartozik például a jól ismert Pikalov-féle csőzsilip, amelynek hosszirányú méreteit éppen a laboratóriumunkban GYÖRKE O. által végzett kísérletek alapján lehetett csökkenteni [9, 10]. Nem tudunk azonban olyan próbálkozásról, amely a mellékáramú mérést a *szabad felszín megszakítása nélkül*, tehát bukó, Venturi-csatorna, vagy valami hasonló berendezés segítségével sikeresen oldotta volna meg, pedig ennek jelentősége volna olyan vízfolyásokon, amelyek felszíni uszadékot tartalmaznak. A feladat valóban nehéz, mert, mint az előbbieken már említettük, a mellékágban szóba kerülő összegező berendezések, tehát vízórák a rajtuk átfolyó vízhozammal négyzetes kapcsolatban levő nyomáskülönbség hatására működnek. A nyomáskülönbséget létrehozó berendezésben tehát ugyanilyen összefüggésnek kell fennállnia. A használatos bukók és Venturi-csatornák között azonban ilyen feltételt kielégítő típus nincs.

A bukóval kapcsolatos mellékáramú mérés elrendezése a következő: A mellékág valahonnan a felvízből (a mindenkori vízszin alól) torkollik ki, visszavezetése pedig szabad kiömlésű csővel, vagy kis, állandó szintű túlfolyóval a bukóél legalacsonyabb pontja magasságában történik (9. ábra).

A bukóél megfelelő kialakításához egy integrálegyenlet megoldása szükséges. Az ábra jelöléseivel, a hidraulikában szokásos egyszerű levezetést alkalmazva, a bukón átfolyó vízhozam

$$Q = 2\mu \sqrt{2g} \int_0^h f(x) \cdot \sqrt{h-x} dx = B \sqrt{h}.$$



10. ábra. A $Q = a h^n$ általános bukóképlet n kitevője szerint rendezett nevezetesebb bukóalakok

Az egyenlet végtelen sok megoldása közül az egyik, nem analitikus megoldás rögzített bukót, helyesebben kifolyó nyílást ad:

$$f(x) = \lim_{c \rightarrow 0} g(x, c),$$

ahol

$$g(x, c) = \frac{B}{2\mu c \sqrt{2g}}, \quad \text{ha } 0 \leq x \leq c;$$

$$g(x, c) = 0, \quad \text{ha } x > c.$$

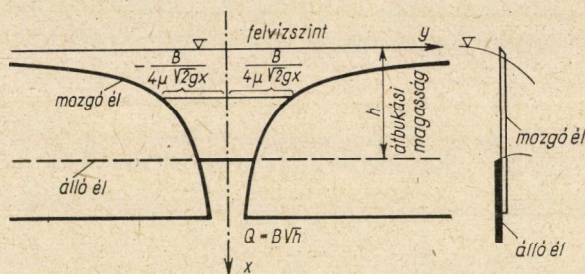
Ez végeredményben egy zérushoz konvergáló magasságú és a végtelenhez tartó szélességű nyílás, amelyen át a „bukás” tulajdonképpen nyomás alatti kifolyás formájában történik. Szabad felszín tehát nincs. Gyakorlatilag kismagasságú vízszintes kiömlőszárvval közelíthető meg, és bizonyos körülmények között használata könnyen elképzelhető.

A 10. ábrán egyébként láthatunk néhány nevezetesebb bukóalakot; jól látszik a bukónyílás alakjának és a $Q(h)$ összefüggés hatványkitevőjének kapcsolata.

Az integrálegyenlet megoldásai általában az átbukási magasságtól is függenek. Az egyik megoldás alkalmazása elképzelhető. Ez a vízfelszinnel együtt mozgó élt tartalmazó bukót ad. Alakját kényelmesebb a vízfelszínhez kötött 0-pontú, lefelé irányuló x tengely segítségével megadni (11. ábra).

$$y = \frac{B}{4\mu\sqrt{2gx}}$$

Ez olyan hiperbola, melynek vízszintes aszimptotája, az y tengely, a vízfelszínbe esik. A bukónak ezenkívül van egy vízszintes álló éle, ehhez simulva csuszkál a mozgó él. Kivitele talán nehézkes, de véges méretekkel többféleképpen is elképzelhető, s megvan az az előnye, hogy valóban nem szakítja meg a szabad felszint, azaz a felszíni uszadék átbocsátására alkalmas.



11. ábra. A $Q = B\sqrt{h}$ vízhozamképletnek eleget tevő és így mellékáramkörű mérésre felhasználható „kvadratikus” bukó egyik alakja

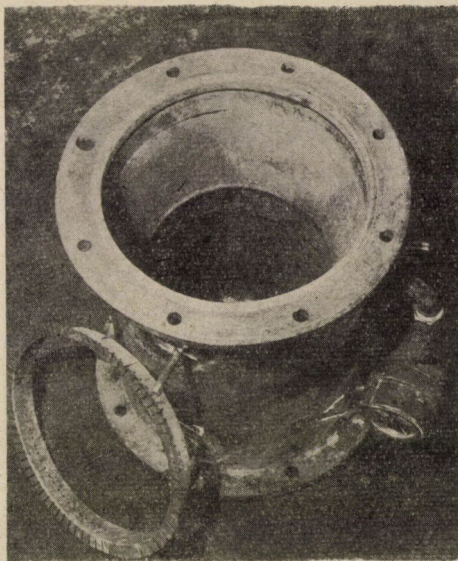
Megvalósítása például úgy történhetik, hogy a mozgó élet a felvízbe, vagy a felvízzel közlekedő medencékbe helyezett, kellő méretű úszókhoz rögzítik. Az egész egyelőre tudományos eredményként kezelhető, de lehetséges, hogy akár a közeljövőben felmerül olyan feladat, amely így oldható meg a legcélszerűbben.

6.2. A mellékáramkörű berendezés hasznosítása öntözővíz mérésére

E tekintetben lényegében két feladattal állunk szemben: 1. Az esésveszteséget a lehető legjobban le kell szorítani. 2. A mellékágat az öntözővízben levő uszadék és lebegtetett hordalék káros hatásától mentesíteni kell.

Mellékáramkörű mérőkből egy kisebb sorozat elkészült Venturi-csővel kapcsolatban. Ez az ún. *Tiszai—Kafka*-féle mérő (12. ábra). Ezeknek az esésvesztesége nem elhanyagolható, de nem is túlságosan nagy, kb. 15-szörös csőátmérőnyi cső súrlódási veszteségével egyenlő. Felmerült viszont az a javaslat, hogy használjuk fel mérésre az öntözési gyakorlatunkban elterjedt *hegesztett törtívű könyökcsoveket*, amelyekre úgymint szükség van, veszteségük

tehát nem a mérést terheli. A simaívű könyökcsovek belső és külső íve között az íves mozgás hatására a vízhozammal négyzetes kapcsolatban levő nyomáskülönbség ébred. Erre vonatkozóan mind bel-, mind külföldön számos kísérleti vizsgálat történt. Kérdés volt, hogy a törtívű könyökcsovekben mi a helyzet. Számos különböző geometriájú törtívű könyökcsovet vizsgáltunk meg [10]. Meghatároztuk a külső és a belső ív menti nyomáseloszlást (13. ábra) és ennek alapján a legkedvezőbb megcsapolási helyeket. Durvább törésű könyököknél a legnagyobb nyomáskülönbség a belső ív első és a külső ív

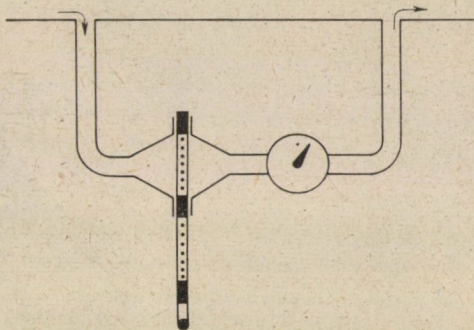


12. ábra. A Tiszai—Kafka-féle mellékáramkörü órával ellátott Venturi-cső. Baloldalt a mellékág beömlőnyílására helyezhető szűrőabroncs

utolsó töréspontja között alakul ki, és a vízhozammal jó közelítéssel négyzetes kapcsolatban van. Kisebb törésszögek esetén a maximális és a minimális nyomás helye bizonytalan, és kisebb hegesztési pontatlanságok erősen befolyásolják. A szokásos könyökcsoveknél a létrehozott nyomáskülönbség nagyságrendben egyezik a Tiszai—Kafka-féle Venturi-csőével. Megállapítottuk azokat a feltételeket is, amelyek közepette a levegőbejutás a mellékág működését a legkevésbé veszélyezteti. Ez általában vízszintes tengelysíkú könyök és alul átvezetett vízóra esetén következik be, de bizonyos feltételek betartása esetén más helyzetben is lehetséges. Egyébként a könyökcső mellékáramú óra nélkül, egyszerű nyomáskülönbség-méréssel is használható, de természetesen csak a pillanatnyi vízhozam meghatározására. Pontossága a Venturi-csőéhez hasonló.

víz kivételeknél, míg a tiszai vízkivételek viszonyai erre állandó jelleggel nem megfelelők.

Az órába bejutó hordalék zöme az órán keresztül megy. Azonban a szerkezet számos olyan helyet tartalmaz, amely áramlás szempontjából csaknem teljesen holttér. Ilyen a fogaskerekek tere, ahol a lerakódás a leggyorsabban indul meg, bár jó ideig a lágy iszap a kerekek mozgását a legcsekélyebb mértékben sem akadályozza. Hosszabb üzemszünet mindenestre az iszap tömörödését okozza, s ez már gátolja vagy éppen megakadályozza az óra működését.



14. ábra. Egyszerű mellékáramkörü szűrőberendezés vázlata

Összefoglalva: ha nem úgy fogalmazzuk meg a követelményt, hogy a mérőberendezés bármely öntözővizet tudjon mérni, hanem csak *bizonyos hordaléktöménység alattit*, a mellékáramkörű mérésnek lehetnek alkalmazási területei.¹

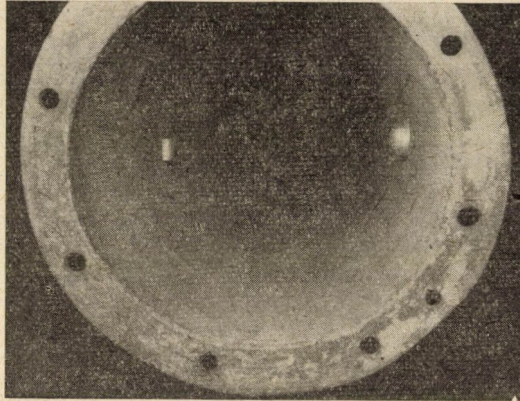
7. Felületi mérőfejjel végzett vízhozammérések [13, 14]

A felületi mérőfej a nyomáskülönbséget létrehozó és annak alapján mérő berendezések közé tartozik. Azonban az eddig használatos berendezések (pl. mérőperem, Venturi-cső, Pitot-cső stb.) működése, de legtöbbször pusztán jelenléte is az átáramló folyadék energiatartalmát többé-kevésbé jelentős mértékben csökkenti, vagyis külön üzemi költséget okoz.

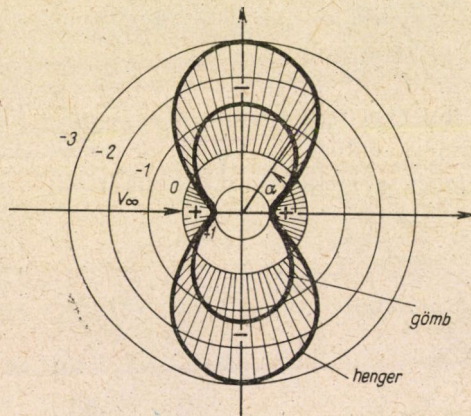
A felületi mérőfej (15. ábra) az áramló közeg, esetünkben tehát a víz határán, a cső vagy esatorna belső felületén helyezkedik el; kis kiterjedésű, így gyakorlatilag a folyadék mozgásállapotát csak közvetlen környezetében változtatja meg, az általa okozott veszteség tehát a legtöbb esetben ki sem mutatható. A hordalék és uszadék mozgását nem akadályozza.

¹ 1962 novemberében a jelentés elkészült [12], s ezt a véleményt megerősítette.

A felületi mérőfej egyik típusa a cső vagy csatorna belső felületén szögecsszerűen elhelyezett *félgömbfej*. Ha a falmenti súrlódástól eltekintünk és az áramlást veszteségmentesnek tekintjük, akkor az előálló nyomáscsúszlás nem más, mint a végtelen homogén áramterbe helyezett gömb körül ideális folyadékban kialakuló nyomáscsúszlás (16. ábra) fele.



15. ábra. Felületi mérőfejek 350 mm átmérőjű csőben. Baloldalt félhenger, jobboldalt félgömb



16. ábra. Nyomáscsúszlás homogén ideális áramlásba helyezett gömb és henger körül

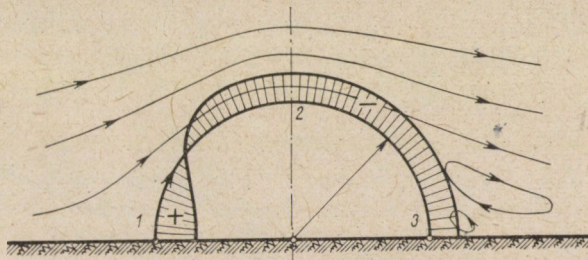
A gömb torlópontja és a végtelenben érvényesülő sebességvektorra, a v_{∞} -re merőleges rádiuszú pontjai között a

$$\Delta h = \frac{9}{4} \frac{v_{\infty}^2}{2g}$$

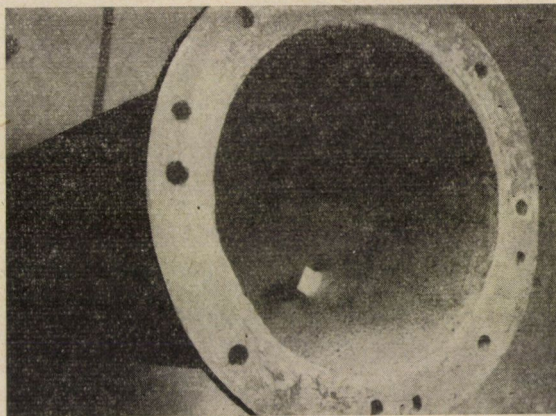
piezometrikus nyomáskülönbség, vagyis a Pitot-cső által szolgáltatott nyomáskülönbség 2,25-szöröse keletkezik. Ez a nyomáskülönbség alkalmas a sebesség meghatározására.

Hasonló jellegű nyomáseloszlás alakul ki a tökéletesen sima falra helyezett félhenger körül is. Itt a legnagyobb nyomáskülönbség a Pitot-csőének négyeszerese.

Valóságos folyadékban a Reynolds-féle számtól függően ez a nyomáseloszlás eltorzul (17. ábra). Különösen a fal zavaró hatását megnyugtató módon csak kísérlettel lehet figyelembe venni.



17. ábra. Falra erősített félhenger körül kialakuló nyomáseloszlás vázlatja turbulens áramlásban



18. ábra. 250 mm-es csőbe helyezett torlasztólap

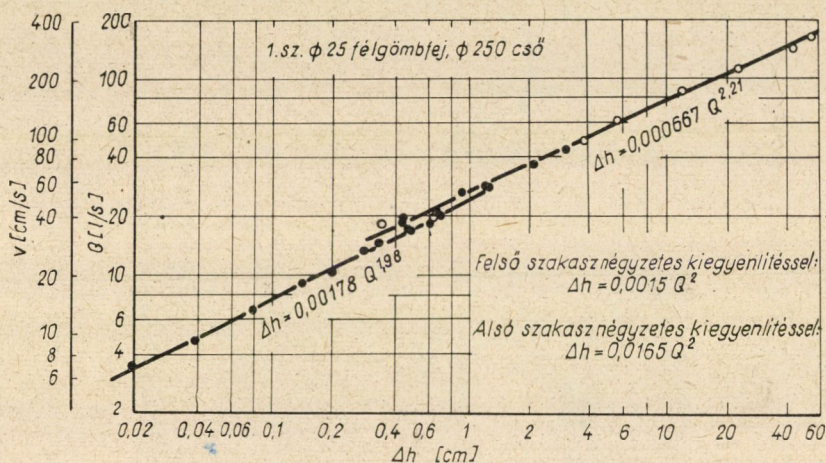
Ugyancsak kísérlettel lehet meghatározni a felületi mérőfej legegyszerűbb és leggyakorlatibb típusa, az egyszerű *torlasztólap* (18. ábra) két oldala között fellépő nyomáskülönbséget is. A torlasztólap a cső vagy csatorna falára erősített és az áramlás irányára merőleges sík lemez. Ezt is és az előző két típust is úgy lehet sebességmérésre felhasználni, hogy a legnagyobb és a legkisebb nyomás helyén furatokat létesítünk, és onnan a vizet piezométer-táblához vezetjük. A torlasztólapnak előnye, hogy mindkét furata egyenesvonalú, és így esetleges eltömődése esetén rendkívül egyszerűen tisztítható.

A mérőfejek mindhárom típusával számos mérést végeztünk. A kísérleti eredmények igen kedvezőek. Mérettől és alaktól függően az egyes mérőfejek

által adott nyomáskülönbség a Pitot-cső által szolgáltatotthoz képest $0,65 \div 1,05$ -szörös. A csőbe helyezett felületi mérőfej által létrehozott nyomáskülönbség pontosabb egyenlete

$$\Delta h = a v^n,$$

ahol n értéke 1,8 és 2,3 között van a típustól és a mérettől függően (19. ábra). Meg kell említeni, hogy kb. 30 és 55 cm/sec közepsebesség között van egy bizonytalan tartomány, amelyben a mérési pontok v -re, ill. Q -ra vonatkozóan egy kb. 15% szélességű sávban helyezkednek el. Ez azt jelenti, hogy ha a sáv



19. ábra. Csőbe épített felületi mérőfej hitelesítési ábrája

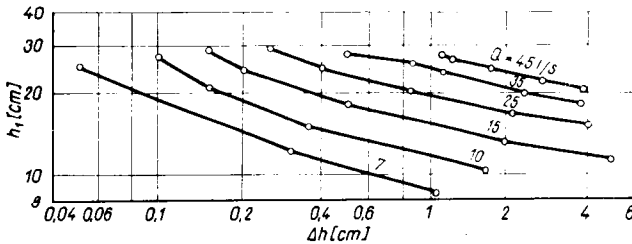
középvonalát vesszük hitelesítési vonalnak, eredményünkben $\pm 7 \div 8\%$ hiba lehet. Ez nincs túl a megengedhetőség határán, a kritikus szakasz alatt és fölött pedig a mérőfej épp olyan pontosan mér, mint a Venturi-cső, mérőkönyök vagy más hasonló berendezések.

A terepen szerzett tapasztalatok jók. A 18. ábrán látható 25×15 mm-es torlasztólap a Szolnok melletti rákócizfalvai tiszai vízkivételen idén 2 hónapig üzemelt. Semmiféle eltömődés nem következett be. Végeredményben a szerkezet jónak látszik, és ezért a jövőben érdemes foglalkozni azzal, hogy összegező berendezéssel egészítsük ki.

A felületi mérőfej, elvben legalábbis, *nyílt csatornában* folyó víz hozamának mérésére is felhasználható. Ebben az esetben azonban nem elég a létrehozott nyomáskülönbség mérése, mert a nedvesített keresztmetszvény nem állandó. A két megcsapoláson jelentkező piezometrikus nyomást külön-külön kell figyelembe venni, vagy ahogy azt a 20. ábrán tettük, a nyomáskülönbség mellé a torlópontra jelentkező nyomást célszerű második független változónak felvenni.

A felületi mérőfej használható az eredeti, de mindenesetre *burkolt* csatornaszelvényben; használható kisebb keresztmetszvény szűkítéssel, abból a célból, hogy a mérési szelvényben a középsebesség lehetőleg mindig 15—20 cm/sec fölött legyen, és használható Venturi-csatornában is a mérési tartomány kibővítésére.

Mindenesetre a felületi mérőfejjel csatornában végzett mérés nem lehet olyan pontos, mint a csővezetékben való mérés, egyrészt mert a kisebb nyomáskülönbséget kevésbé pontosan lehet észlelni, másrészt mert a mérés



20. ábra. Csatornába épített felületi mérőfej hitelesítési ábrája

rendszerint éppen abban a sebességtartományban történik, amely a mérőfej bizonytalansági zónájába esik. Ezen a téren a vizsgálatok folytatása kívánatos. További feladatot jelent még majd az összegezés, ami ez idő szerint még nem megoldott feladat.

IRODALOM

- HASZPRA O.: Öntözési mérőműtárgyak laboratóriumi vizsgálata. Beszámoló a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet 1958. évi munkájáról. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1962.
- LOJCSJANSZKIJ, L. G.: Folyadékok és gázok mechanikája. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1956.
- HASZPRA O.: Típus csőátereszek esésvesztése. Beszámoló a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet 1960. évi munkájáról. Sajtó alatt.
- HASZPRA O.: Trapézszelvényű Venturi-csatornák laboratóriumi vizsgálata (II. sorozat). Összefoglaló jelentés. Budapest, 1959. Kézirat a VITUKI könyvtárában.
- HASZPRA O.: A törtlapú átmenet vizsgálata. *Hidrológiai Közöny*, 1962. 2.
- BÖZSÖNY D.: Kísérletek a Venturi-csatornával. *Hidrológiai Közöny*, 1957. 2.
- ADDISON, H.: Hydraulic Measurements. Chapman and Hall Ltd., London, 1949.
- HASZPRA, O.: A mellékáramkörű vízmennyiségmérés elmélete és alkalmazásai. *Vízügyi Közlemények*, 1959. 4.
- FAZEKAS K.—GYÖRKE O.—HASZPRA O.: Az öntözővízméréssel kapcsolatos laboratóriumi vizsgálatok. Beszámoló a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet 1956. évi munkájáról. Műszaki Kiadó, 1957. Budapest.
- HASZPRA O.: Laboratóriumi kísérletek az öntözővíz mérésére. Beszámoló a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet 1957. évi munkájáról. Műszaki Kiadó, Budapest, 1959.
- KÁROLYI Z.—STAROSOLSZKY Ö.: Az öntözővíz mérése. *Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet: Tanulmányok és kutatási eredmények*, 1. szám, Budapest, 1957.
- HASZPRA O.: Vízmérő szerkezetek üzemi kipróbálása és értékelése. Összefoglaló jelentés. Budapest, 1962. Kézirat a VITUKI könyvtárában.
- HASZPRA O.: A felületi mérőfej. Hidraulikus rendszerű vízhozammérés csövekben gyakorlatilag energiavesztés nélkül. *Hidrológiai Közöny*, 1963. 1.
- HASZPRA O.: A felületi mérőfej alkalmazása szabadfelszínű csatornában és csőszerű műtárgyakban. *Hidrológiai Közöny*. Sajtó alatt.

TERMÉSZETES VÍZFOLYÁSOK KISMINTAVIZSGÁLATAI*

HANKÓ ZOLTÁN

VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS KUTATÓ INTÉZET, BUDAPEST

„Ha vízzel van dolgod, először kísérletezz,
azután mérlelj!”

(Leonardo da Vinci)

Tanulmányunkban természetes vízfolyások áramlási viszonyainak vizsgálatára alkalmas szilárdmedrű modell hidraulikai méretezésével foglalkoztunk. Célul tűztük ki olyan modell tervezési feltételeinek meghatározását, melyben a felszíni áramlási kép és a vízfelszín alakulása hű mása a természetnek.

Vizsgálataink szerint a felszíni áramlási kép hasonlóságának feltétele, hogy a természetes és a modell-meder relatív érdekessége azonos legyen. Ez esetben ugyanis a függély sebességi ábra hasonlósága biztosított, és ennek következtében a centrifugális erő függély menti eloszlása is azonos. Tehát a centrifugális erő, mely a tengelyirányú sebesség négyzetével arányos, nem torzul el. Ebből következik, hogy a természetes és a modell-mederben kialakuló csavaráramlás intenzitása feltehetően azonos.

A vízfelszín alakulása az ellenállási viszonyok alakulásának függvénye, s miután az ellenállás a súrlódási és a formaellenállás összegeként határozható meg, e kettő hasonlóságát kell a modellben biztosítanunk. Az ellenállásviszonyok helyes modellezése elsősorban a súrlódási ellenállás helyes modellezésén múlik.

Tanulmányunkban hidraulikai méretezési eljárást adtunk geometriai méreteiben torzított és torzítatlan modell számítására minden lehetséges reális esetre vonatkozóan. Véleményünk szerint a levezetett összefüggésekkel számított modell a vízfelszín és a felszíni áramlási kép alakulását tekintve a kiválasztott vízállásnál (vízhozamnál) középértékben hű mása lesz a természetnek.

1. Bevezetés

Ebben a tanulmányunkban a természetes vízfolyások áramlási viszonyainak vizsgálatára alkalmas szilárdmedrű kisminta hidraulikai méretezésének kérdésével foglalkozunk. Ámbár számos olyan kérdés van, melyek megoldását kismintavizsgálattal elő lehet segíteni, jelen tanulmányunkban csak a *felszíni áramkép* és a *vízfelszín* alakulását ismertetjük.

2. A felszíni áramlási kép alakulása

Egy vízfolyás felszíni áramlási képe jó jellemzője az áramlási viszonyoknak. Ennek meghatározása azonban a természetben olyan költséges, hogy a legtöbb esetben le kell róla mondanunk. Éppen ezért fokozottan érdekes, hogy a természetes állapot modelljén észlelhető áramlási kép mennyiben hű mása a természetben kialakuló áramlási képnek. Ha a természetes állapot modelljének áramlási képe hű, joggal feltehető, hogy egy tervezett beavat-

* Elhangzott a „Kismintavizsgálatok a vízgazdálkodásban” című 1962. október 24-én tartott ankéton.

kozás modelljén elvégzett vizsgálat alapján következtetni lehet a beavatkozás áramlást módosító hatására a természetben is.

Közismert, hogy nyíltfelszínű vízfolyások medrében a víz csavarvonal-szerűen mozog. A csavarmozgás két erőhatás eredőjeként jön létre. A tengelyirányú erő a víztest önsúlyának lejtőirányú összetevője. Ez hozza létre a víztest mozgásának tengelyirányú összetevőjét. A másik erő az íves pályán mozgó víztestre ható centrifugális erő, mely a keresztiszelvény síkjában működik. Ez a keresztirányú áramlás előidézője. E kétféle mozgás eredője a csavarmozgás.

Már közhelyként hangzó megállapítás, hogy a centrifugális erő a modellezés, különösen a modell geometriai méreteinek torzítása esetén eltorzul, a szekunder áramlás megváltozik s ennek következtében a felszíni áramlási kép is eltorzul. Ezt a megállapítást több modellkísérlet igazolni látszik.

Véleményünk szerint ez a megállapítás, ebben a formában nem helytálló. Ismeretes ugyanis, hogy nyíltfelszínű vízmozgás modelljének hidraulikai jellemzőit a Froude-féle invariáns figyelembevételével szoktuk számítani akár torzítatlan, akár torzított a modell. A Froude-féle szám a tehetetlenségi és a súlyerő hányadosa. Hogy a Froude-féle szám invariáns, az azt jelenti, hogy a tehetetlenségi és a súlyerő viszonya állandó. Ebből következik, hogy a centrifugális (tehetetlenségi) erő nem torzul el a modellezés következtében, ez nem lehet oka a csavaráramlás megváltozásának, a felszíni áramlási kép eltorzulásának.

A felszíni áramlási kép torzulása azonban vitathatatlan — különösen geometriai méreteiben torzított modell esetén — okát tehát másutt kell keresni.

Vizsgálataink szerint a csavaráramlás megváltozásának, a felszíni áramlási kép torzulásának az az oka, hogy a Froude-féle invariáns figyelembevételével számított modell medrének relatív érdessége nem egyezik meg a természetes meder relatív érdességével. A relatív érdesség módosulása következtében ugyanis megváltozik a függély sebességábrájának alakja. Ha a relatív érdesség megnő, a fenékközeli sebesség értéke lecsökken, s felszínközeli pedig megnő, a középsebesség azonban változatlan marad (azonos teltség és azonos vízhozam esetén). Miután a centrifugális erő a tengelyirányú sebesség négyzetével arányos, a függély sebességábrájának megváltozásával megváltozik a centrifugális erő függély menti eloszlása is. A centrifugális erő a felszín közelében megnő, a fenék közelében lecsökken, ennek következtében a csavaráramlás megerősödik és a felszíni áramlási kép eltorzul.

Példaképpen bemutatjuk az 1. képen látható három áramlási felvételt. Mindegyik a Duna nagymarosi szakaszáról készült 1200 m³/s, illetőleg annak megfelelő modellvízhozam esetén. Az *a* jelű kép a természet áramlási viszonyait ábrázolja, melyet az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem II. Vízépítéstani tanszéke szerkesztett az 1953. szeptember 19-i úszó fáklyás

vizsgálat alapján. (A vizsgálatról SZEPESSY J. a *Hidrológiai Közönyben*, az észlelés feldolgozásának fotogrammetriai módszereiről HANKÓ G. a Földmérési Közlönyekben számolt be [2, 3].) A *b* jelű képet ugyancsak a II. Vízépítéstani tanszék készítette egy 1 : 500, 1 : 80 méretarányú torzított modellen végzett vizsgálat során [4]. A *c* jelű kép a Vizgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet Vízépítési Laboratóriumában készült egy 1 : 75 méretarányú torzítatlan modellen végzett vizsgálat alapján [5]. A *b*-t összehasonlítva az *a*-val, látható, hogy a modell áramlási képe erősen eltorzult. A csavaráramlás megerősödése miatt a felszíni áramlási kép minőségileg változott meg. A *c* és *a* jelű felvételek között ilyen nagy eltérés nem tapasztalható, az áramlási képek elég jó egyezést mutatnak. A részletes elemzés során kisebb eltérés azonban itt is kimutatható.

Az előbbi megállapítás igazolására határozzuk meg a csavaráramlás intenzitására jellemző mérőszám és a meder relatív érdessége közötti összefüggést.

A csavaráramlás intenzitására jellemző mérőszámnak nevezzük az áramlási vonalak és a vízmozgás tengelye által bezárt szög tangensét. Tekintettel arra, hogy elsősorban a felszíni áramlási kép alakulására vagyunk kíváncsiak, ezért a továbbiakban a felszíni áramlási vonalak és a vízmozgás tengelye által bezárt szög alakulását vizsgáljuk.

Említettük, hogy vizsgálataink szerint a csavaráramlás eltorzulásának az az oka, hogy a függély sebességábrájának alakja a relatív érdességtől függően változik. VELIKANOV, M. A. tapasztalati összefüggést ajánl a függély sebességábra függvényével való kifejezésére széles, lapos meder esetén, mely szerint [6]:

$$u = v \frac{\ln \left(1 + \frac{h}{h_1} \frac{h_1}{\varepsilon} \right)}{\ln \frac{h_1}{\varepsilon} - 1}, \quad (1)$$

ahol

- u* — a helyi közepes sebesség, a fenéktől *h* távolságban levő pontban,
- v* — a függély középsebessége,
- h* — a vizsgált pont távolsága a fenéktől, ahol a sebesség *u*,
- ε — a meder abszolút érdessége,
- h*₁ — a vízmélység.

Ez az összefüggés a fenékközeli pontokban helytelen értéket ad, mert *h* = 0 helyen (fenék) *u* = 0, ami a mérések adataival nem egyezik meg. Egyébként ez összefüggés alapján is megállapítható — mint azt már említettük —, hogy a relatív érdesség növekedésével a függély sebességábra elnyújtottabbá válik.

A centrifugális erő minden elemi vírzészecskét az ív görbületi sugarán kifelé akar elmozdítani. A felszínközeli elemi vírzészecskére nagyobb erő

hat, mint a fenékközeli, mert a centrifugális erő a tengelyirányú sebesség négyzetével arányos. Ebből következik, hogy a felszínközeli részecske kifelé fog elmozdulni, míg a fenékközeli, melyre kisebb erő hat, befelé kényszerül. A folytonosság következtében ugyanis a felső térből kilépő vízcsepecskének az alsó térbe be kell lépnie. (Ez nagymértékben leegyszerűsített szemlélet, mert elhanyagoltuk pl. a folyadéksúrlódásból, a turbulenciából származó helyi kicserélődést stb.)

A centrifugális erő a tengelyre merőleges (sugárirányú) megoszló erőrendszer, s a keresztmetszvény síkjában forgatónyomatékokot hoz létre. A tengelyirányú erő a víztest önsúlyának lejtőirányú összetevője. A kettő eredője erőcsavar, s ez hozza létre a csavarmozgást.

Az erőcsavar hatására a felszíni áramlási vonalak a homorú part felé mutatnak, s a vízmozgás tengelyével bezárt szögük tangense ($\tan \alpha_f$) a csavaráramlás intenzitására jellemző. Vizsgálataink szerint

$$\tan \alpha_f = \frac{v^2}{grJ} c \left(\frac{\varepsilon}{h_1} \right)^d, \quad (2)$$

ahol

g — a földi nehézségi gyorsulás,
 r — az íves pálya görbületi sugara,
 J — az energiavonal (vízfelszín) esése,
 c és d — állandók.

Az $Fr_g = v^2/gr$ viszonyt a Szerző a görbület Froude-féle számának nevezte. Ezt kell osztani az energiavonal esésével. Az így nyert hányados invariáns, torzított és torzítatlan modellben egyaránt, ha egyébként a modell hidraulikai jellemzőit a Froude-féle invariáns figyelembevételével számítjuk.

A (2) összefüggés szerint tehát a csavaráramlás intenzitásának a víz felszínére vonatkozó értéke egyenesen arányos a görbület Froude-féle számával, továbbá a relatív érdesség d -edik hatványával és fordítottan arányos az energiavonal (a vízfelszín) esésével.

Miután látjuk, hogy a csavaráramlás intenzitása csak a relatív érdesség függvénye, mert az Fr_g/J hányados invariáns, vizsgáljuk meg, hogy ez a modellezés során hogyan változik.

A modell a természethez geometriailag hasonló nyíltfelszínű vízfolyás. Mindkettőre egyaránt érvényesnek tekinthetjük Chézy sebességeképletét, amely a meder hidraulikai és geometriai jellemzői közötti összefüggést fejezi ki:

$$v = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}} \sqrt{RJ}, \quad (3)$$

ahol

λ — a súrlódási ellenállási tényező,
 R — a hidraulikus sugár.

Írjuk fel a sebességképletet méreetszorozós alakban és oldjuk meg az ellenállási tényező méreetszorozójára:

$$a_\lambda = \frac{a_R a_J}{a_h^2}, \quad (4a)$$

ahol a jelenti a méreetszorozót (átszámítási tényezőt) általában, indexbe téve annak a mennyiségnek a jelét, amire vonatkozik.

Az elméleti levezetések mellőzésével helyettesítsük be az esés és a sebesség átszámítási tényezői helyébe a Froude-féle invariáns szerinti értékeket [7], az általánosabb, a *torzított modell* esetére

$$a_\lambda = \frac{a_R \frac{a_h}{a_l}}{\frac{a_h}{a_l}} = \frac{a_R}{a_l}. \quad (4b)$$

Tehát az ellenállási tényező méreetszorozója a hidraulikus sugár és a vízszintes méretek átszámítási tényezőjének hányadosaként határozható meg.

Torzítatlan modell esetén $a_R = a_l$, tehát $a_\lambda = 1$, azaz a modell-meder ellenállási tényezőjének meg kell egyeznie a természetes meder ellenállási tényezőjével.

Torzított modell esetén $a_R < a_l$, tehát $a_\lambda < 1$, vagyis a modell-meder ellenállási tényezőjének nagyobbak kell lennie, mint a természetes meder ellenállási tényezőjének.

Az ellenállási tényező és a hidraulikai jellemzők közötti összefüggést a Colebrook—White-féle függvény fejezi ki a turbulencia teljes tartományára vonatkozó érvényességgel. Eszerint [8]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(0,0676 \frac{\varepsilon}{R} + \frac{0,627}{Re \sqrt{\lambda}} \right), \quad (5)$$

ahol

- λ — a súrlódási ellenállási tényező,
- ε — az abszolút érdesség,
- R — a hidraulikus sugár,
- $Re = vR/\nu$ — a Reynolds-féle szám.

Nyíltfelszinű vízmozgás modellezése során, melyet a Froude-féle invariáns alapján számítunk, a Reynolds-féle szám értéke a kicsinyítés következtében csökken. *Torzítatlan modell* esetén — a fenti összefüggés szerint — a relatív érdességnek, ε/R , is csökkennie kell, hogy az ellenállási tényező értéke azonos maradjon, mert a modell Reynolds-féle száma rendszerint nem éri el a turbulencia tiszta négyzetes tartományát, hanem az átmeneti tartományba esik. *Torzított modell* esetén a modell ellenállási tényezője nagyobb a természetes meder ellenállási tényezőjénél, és ez a csökkenő Reynolds-féle szám mellett rendszerint csak a relatív érdesség növelése árán biztosítható.

A fentiekből következik, hogy ha a modell-meder hidraulikai ellenállását a természetes meder ellenállásához hasonlóvá kívánjuk tenni, akkor a modell-meder és a természetes meder relatív érdességének eltérőnek kell lennie, éspedig torzítatlan modell esetén kisebbnek, torzított modell esetén nagyobbaknak. Tehát a modellezés következtében a modell-meder relatív érdességének törvényszerűen el kell térnie a természetes meder relatív érdességétől.

Megjegyezzük, hogy a tapasztalat szerint a legtöbbször torzítatlan modell esetében is nagyobb a modell-meder relatív érdessége, mint a természetes mederé, mert a kicsinyítés következtében a hidraulikus sugár jobban csökken, mint amilyen simára tudjuk a modell-medret építeni.

Mint láttuk, a csavaráramlás intenzitására jellemző mérőszám a relatív érdesség függvénye. A relatív érdesség a modellezés következtében változik, tehát így válik érthetővé az a megállapítás, hogy a csavaráramlás a modellezés következtében eltorzul. A csavaráramlás eltorzulásának tehát nem a centrifugális erő eltorzulása az oka, hanem az, hogy a relatív érdesség megváltozása következtében a centrifugális erő függély menti eloszlása megváltozik. Az 1. képen a b jelű áramlási felvétel egy torzított modelltől készült, melynél a meder relatív érdessége a számítások szerint kb. ötvenszerese a természetes meder relatív érdességének. Ez indokolja a csavaráramlás intenzitásának nagymérvű megnövekedését. A c jelű áramlási felvétel egy torzítatlan modelltől készült, ahol a meder relatív érdessége a számítások szerint valamivel kisebb, mint a természetes mederé, tehát a csavaráramlás intenzitása is gyengült. Az eltérés azonban nem olyan szembetűnő, mint az előbbi esetben.

3. A vízfelszín alakulása

A vízfelszín alakulása az ellenállásviszonyok alakulásának a függvénye. Ismeretes, hogy az ellenállás a meder adott teltsége és adott vízhozam esetén két részből tevődik össze. A vízrések egymásközi és a víztestnek a mederfalhoz való súrlódásából származik a súrlódási ellenállás, a kereszttszelvény alakjának megváltozásából, szűkületből, bővületből, kanyarból stb. származik a forma- (helyi) ellenállás.

Feltehető a kérdés, hogy a vízfelszín alakja a modellben vajon hű mása-e a természetben kialakuló vízfelszínnek. Ennek feltétele, hogy az ellenállások a modellben a Froude-féle invariánsnak megfelelően alakuljanak, miután a hidraulikai jellemzőket is a Froude-féle invariáns alapján számítjuk.

A súrlódási ellenállás a λ ellenállási tényező függvénye. Ennek átszámítását az előbbieken már láttuk.

A formaellenállással kapcsolatosan joggal feltételezhetjük, hogy értéke a modellben a Froude-féle invariánsnak megfelelően alakul. E feltételezésünk alapja, hogy a helyi ellenállásoknál a súlyerő az aktív erő, mely a mozgást

létrehozza és a tehetetlenségi erő a passzív erő. Nyíltfelszinű vízmozgások modelljeiben a tehetetlenségi és a súlyerő viszonya invariáns, amiből következik, hogy ha a modellépítésnél hibát nem követünk el, a formaellenállás a Froude-féle invariánsnak megfelelően alakul.

A helyzet azonban mégsem ilyen egyszerű, mint amilyenek az a most elmondottak alapján tűnik. Először is a mederfelvétel, továbbá a modellépítés elkerülhetetlen hibái és a geometriai alakzatok elnagyolása miatt, a modell formaellenállása eltérhet a természetétől. Másrészt a súrlódási ellenállást meghatározó ellenállási tényező értéke a természetben mind a vízállással, mind a vízfolyás hossza mentén változik. Éppen ezért az előzetes számítások alapján a modell medrét átlagos érdességgel szoktuk megépíteni. Tovább bonyolítja a helyzetet, hogy előállhat az is, hogy a modellbeli turbulens áramlás hidraulikailag sima lesz, mert a csökkenő Reynolds-féle szám mellett a lamináris határreteg vastagsága meghaladja az érdességi elemek méretét. Ebben az esetben a súrlódási ellenállási tényező a relatív érdességtől függetlenné válik.

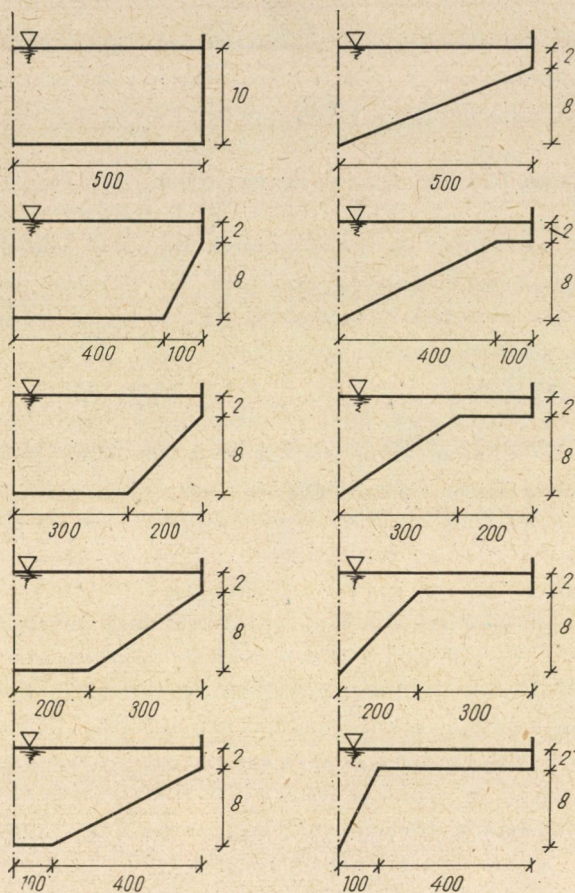
Mindezekkel csak arra kívántunk rámutatni, hogy az ellenállási viszonyok helyes modellezése majdnem megoldhatatlan feladat úgy, hogy a vízfelszín minden vízállásnál, s a vizsgált szakasz minden szelvényében helyes legyen. Ha sikerül a modellben biztosítani a turbulens mozgásállapotot, s durva geometriai hibát nem követünk el, számíthatunk arra, hogy a formaellenállás értéke helyes lesz. Az átlagos érdességgel való építés következtében a súrlódási ellenállásban azonban feltétlenül hibát követünk el. Ha azonban az összes ellenállásban a formaellenállás szerepe nagy, mint pl. kanyargós vízfolyás esetén, a súrlódási ellenállásban elkövetett hiba a vízfelszín alakját viszonylag kevésbé módosítja.

4. A kisminta hidraulikai méretezése

Az előbbieken a felszíni áramlási kép és a vízfelszín alakjának modellezésével kapcsolatos hidraulikai kérdéseket külön-külön vizsgáltuk. Feltehető a kérdés, hogy a két feltétel egyidejű kielégítésére van-e lehetőség.

Láttuk, hogy a felszíni áramlási kép hasonlóságának az a feltétele, hogy a természetes és a modell-meder relatív érdessége azonos legyen. A vízfelszín alakulásának hasonlóságát pedig az ellenállásviszonyok helyes modellezésével biztosíthatjuk. S miután a Froude-féle invariáns figyelembevételével számított nyíltfelszinű vízmozgásról van szó, a súrlódási ellenállási tényező helyes modellezésének kérdését kell megoldanunk.

A kérdés részletes elemzése előtt foglalkoznunk kell azzal, hogy a geometriai méretek torzítása hogyan befolyásolja a hidraulikus sugár értékét.



1. ábra

A geometriai méreteiben torzított modell vízszintes és magassági átszámítási tényezőjének hányadosát — megállapodászerűen — magassági torzításnak nevezzük. Tehát

$$T_h = a_l/a_h, \quad (6)$$

ahol

- T_h — a magassági torzítás,
- a_l — a vízszintes méretek átszámítási tényezője (a méretarány reciproka) és
- a_h — a magassági méretek átszámítási tényezője.

További vizsgálatainkhoz be kell vezetnünk — az előbbi analógiájára — a hidraulikus sugár torzításának fogalmát. A hidraulikus sugár torzítása alatt a vízszintes geometriai méretek és a hidraulikus sugár átszámítási tényezőjének hányadosát értjük. Tehát

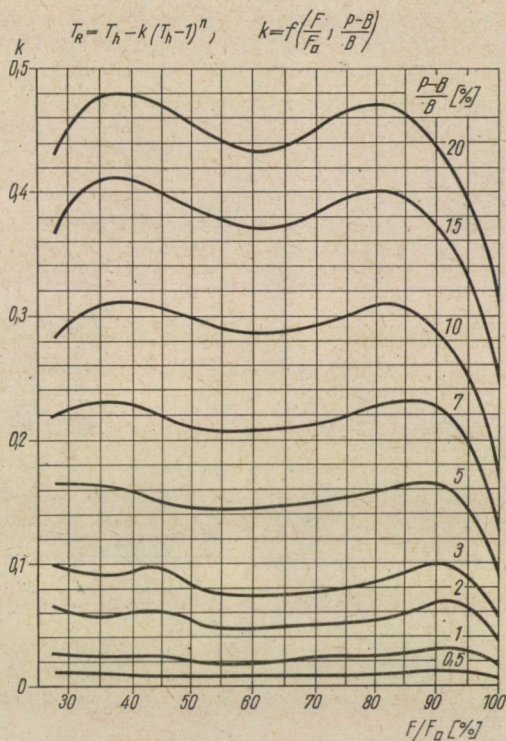
$$T_R = a_l/a_R, \quad (7)$$

ahol

T_R — a hidraulikus sugár torzítása és
 a_R — a hidraulikus sugár átszámítási tényezője.

Vizsgálataink szerint a hidraulikus sugár torzítása a magassági torzítás függvénye, azaz

$$T_R = T_h - k (T_h - 1)^n. \quad (8)$$



2. ábra

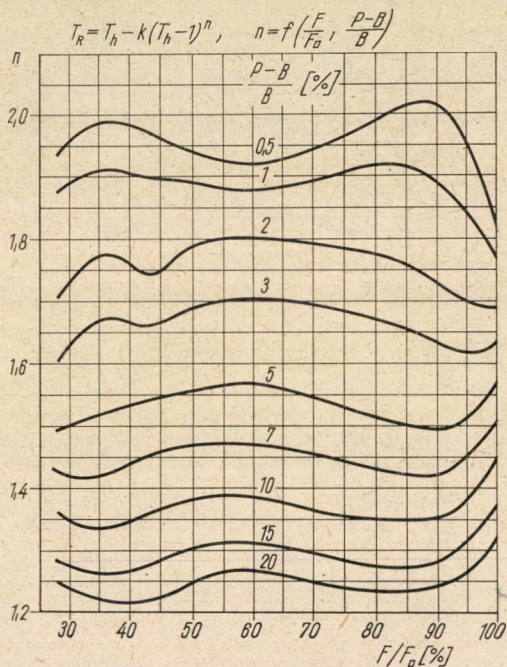
A (8) összefüggésben szereplő k együttható és n hatványkitevő értékének meghatározására kiterjedt vizsgálatot folytattunk. Az 1. ábrán felvázoltuk azt a tíz keresztaszvényalakot, melynek magassági torzítását 1 és 512 között változtatva, kiszámítottuk a hidraulikus sugár torzításának értékét. A következő csoportosításokat vizsgáltuk:

$T_h =$	1,	2,	4,	8,	16,	32,
	2,	4,	8,	16,	32,	64,
	4,	8,	16,	32,	64,	128,
	8,	16,	32,	64,	128,	256,
	16,	32,	64,	128,	256,	512.

Az 1. ábrán a $T_h = 1$ eset geometriai méreteit tüntettük fel. A táblázat minden sorában, az első oszlop helyén látható torzítással meghatározott keresztoszvényalakot tekintettük torzítatlannak, s vizsgáltuk, hogy a hozzá képest torzított keresztoszvényre vonatkozó $T_R = f(T_h)$ állandói hogyan alakulnak.

A számítás eredményeképpen a 2. és a 3. ábrát szerkesztettük.

A 2. ábrán a k tényező változását ábrázoltuk az F/F_{\square} [%] függvényében és a $(P-B)/B$ [%] paramétere szerint.



3. ábra

Az F/F_{\square} jelenti a *torzítatlan* keresztoszvény nedvesített felületének és a vízszintre támaszkodó befoglaló téglalapnak a hányadosát ($F_{\square} = Bh_{1\max}$, 4. ábra). A $(P-B)/B$ jelenti ugyancsak a *torzítatlan* keresztoszvényben, a nedvesített kerület és a víztükörszélesség különbségének a víztükörszélességhez való viszonyát.

A 3. ábrán az n hatványkitevő változását ábrázoltuk a 2. ábra kapcsán bemutatott rendszer szerint.

E kitérő után térjünk vissza a hidraulikai méretezés kérdéséhez.

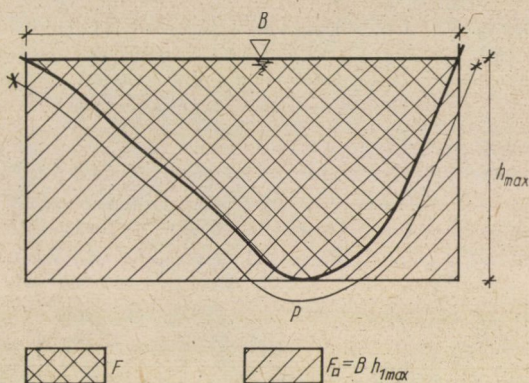
Az előbbieken már láttuk, hogy a súrlódási ellenállási tényező méretszorzója a hidraulikus sugár és vízszintes méretek átszámítási tényezőjének

hányadosaként határozható meg, azaz

$$a_\lambda = a_R/a_l. \quad (4b)$$

A (7) és a (8) összefüggések figyelembevételével

$$a_\lambda = \frac{1}{T_R} = \frac{1}{T_h - k(T_h - 1)^n}. \quad (4c)$$



4. ábra

A súrlódási tényező méretszorzója azonban kifejezhető az (5) összefüggés segítségével is:

$$\frac{1}{a_\lambda} = \frac{\left[\log \left[0,0676 \left(\frac{\varepsilon}{R} \right)_T + \frac{0,627}{Re_T \sqrt{\lambda_T}} \right] \right]^2}{\left[\log \left[0,0676 \left(\frac{\varepsilon}{R} \right)_M + \frac{0,627}{Re_M \sqrt{\lambda_M}} \right] \right]^2}. \quad (9)$$

A (9) összefüggésben a hidraulikai mennyiségek melletti T index a természetes, míg az M index a modell-mederre vonatkozó adatokat jelenti.

Mint említettük, a felszíni áramlási kép hasonlóságának feltétele, hogy a természetes és a modell-meder relatív érdessége azonos legyen:

$$\left(\frac{\varepsilon}{R} \right)_T = \left(\frac{\varepsilon}{R} \right)_M. \quad (10)$$

Ha ezt a feltételt kielégítjük, akkor jelölhetjük

$$0,0676 \frac{\varepsilon}{R} = K_1, \quad (11)$$

továbbá a

$$\frac{0,627}{Re_T \sqrt{\lambda_T}} = K_2, \quad (12)$$

valamint

$$Re_M \sqrt{\lambda_M} = \frac{Re_T \sqrt{\lambda_T}}{a_{Re} \sqrt{a_\lambda}}. \quad (13)$$

A (13) összefüggésben szerepel a Reynolds-féle szám átszámítási tényezője. Fejezzük ezt ki a Froude-féle invariáns figyelembevételével:

$$a_{Re} = a_R a_h^{1/2}. \quad (14a)$$

Innét a (6), (7) és a (8) összefüggések figyelembevételével:

$$a_{Re} = \frac{a_l a_h^{1/2}}{T_R} = \frac{a_l^{3/2}}{T_h^{1/2} T_R} = \frac{a_l^{3/2}}{T_h^{1/2} [T_h - k(T_h - 1)^n]}. \quad (14b)$$

A (4c) és a (14b) figyelembevételével pedig

$$a_{Re} \sqrt{a_\lambda} = \sqrt{\frac{a_l^3}{T_h [T_h - k(T_h - 1)^n]^3}}. \quad (15)$$

A (12), (13) és (15) egybevetéséből következik, hogy

$$\frac{0,627}{Re_M \sqrt{\lambda_M}} = K_2 \sqrt{\frac{a_l^3}{T_h [T_h - k(T_h - 1)^n]^3}}. \quad (16)$$

A (4/c) egybevethető a (9) összefüggéssel is. Ekkor a (11), (12) és a (16) összefüggések felhasználásával

$$T_h = \left[\frac{\log(K_1 + K_2)}{\log \left(K_1 + K_2 \sqrt{\frac{a_l^3}{T_h [T_h - k(T_h - 1)^n]^3}} \right)} \right]^2 + k(T_h - 1)^n. \quad (17)$$

A (17) összefüggésben K_1 és K_2 a természetes meder hidraulikai jellemzőitől függő mennyiség, k és n pedig ugyancsak a természetes meder geometriai méreteitől függ. Tehát ezek a modellezéstől függetlenül meghatározhatók. T_h a modell magassági torzítását, a_l a vízszintes méretek átszámítási tényezőjét jelenti. A fentiekből következik, hogy a_l felvételével T_h értéke fokozatos közelítéssel meghatározható.

A (17) összefüggésben azonban két feltétel van még elrejtve. Az egyik az, hogy az áramlás — a súrlódási ellenállást tekintve — mind a természetben, mind a modellben hidraulikailag érdes. Ezt az mutatja, hogy a relatív érdességet jelentő tag értéke (K_1) sem a természet (számláló), sem a modell (nevező) hidraulikai viszonyait kifejező részben nem zérus. Ha ugyanis az áramlás valahol nem lenne érdes, hanem hidraulikailag sima, akkor ott a relatív érdességet kifejező tag értékének zérusnak kellene lenni. A másik feltétel, hogy a természetes és a modell-meder relatív érdessége azonos (K_1 számértéke azonos).

A (17) összefüggésben elrejtett kritérium további feltételi egyenlet felírását teszi szükségessé.

A hidraulikai adatok ismeretében ugyanis számítható a *lamináris határreteg* relatív vastagsága, aminek a jelen esetben kisebbnek kell lenni, mint a relatív érdességnek, mert különben az áramlás nem lehetne hidraulikailag érdes. A lamináris határreteg relatív vastagsága [6]

$$\frac{\delta}{R} = \frac{30}{Re \sqrt{\lambda}}, \quad (18)$$

ahol δ — a lamináris határreteg vastagságát jelenti.

A természetes mederben a relatív érdesség általában többszöröse a lamináris határreteg relatív vastagságának, tehát felírható, hogy

$$\left(\frac{\varepsilon}{R}\right)_T = t \left(\frac{\delta}{R}\right)_T, \quad (19)$$

ahol $t \gg 1$.

Miután a modell-meder relatív érdességének is legalább akkorának kell lennie, mint a lamináris határreteg relatív vastagságának, hogy az áramlás hidraulikailag érdes legyen, felírhatjuk, hogy

$$\left(\frac{\varepsilon}{R}\right)_M = m \left(\frac{\delta}{R}\right)_M, \quad (20)$$

ahol ugyancsak $m \geq 1$.

Az m értékének kisebbnek kell lenni, mint t -nek, mert az $m = t$, 1 : 1 méretarányú modellt jelent.

Miután a természetes és a modell-meder relatív érdessége — feltételünk értelmében — azonos, a (10), (19) és a (20) összefüggés figyelembevételével felírható, hogy

$$t \left(\frac{\delta}{R}\right)_T = m \left(\frac{\delta}{R}\right)_M,$$

azaz a (13), a (15) és a (18) összefüggést is figyelembe véve

$$t \frac{30}{Re_T \sqrt{\lambda_T}} = m \frac{30}{Re_T \sqrt{\lambda_T}} \sqrt{\frac{a_l^3}{T_h [T_h - k (T_h - 1)^n]^3}},$$

melyet rendezve:

$$\frac{t}{m} = \sqrt{\frac{a_l^3}{T_h [T_h - k (T_h - 1)^n]^3}}. \quad (21)$$

A (21) összefüggést behelyettesítve a (17)-be, azt kapjuk, hogy

$$T_h = \left[\frac{\log(K_1 + K_2)}{\log\left(K_1 + K_2 \frac{t}{m}\right)} \right]^2 + k(T_h - 1)^n. \quad (22)$$

Az m értékének felvétele után a (21) és a (22) összefüggésben T_h és a az ismeretlen. Az egyenletrendszer explicit alakra nem hozható, csak fokozatos közelítéssel oldható meg, éspedig úgy, hogy a (22) összefüggésből (m felvétele után) meghatározzuk T_h értékét, majd ennek ismeretében a (21) összefüggésből kifejezzük a helyszinrajzi átszámítási tényezőt, a_r -t.

A helyszinrajzi méretarány és a torzítás ismeretében a modell hidraulikai jellemzőit ellenőrizni kell, hogy vajon a modellezhetőség feltételeit kielégítik-e (turbulens mozgásnak turbulens, áramlónak áramló felel-e meg stb.).

Kiinduló feltevésünk értelmében a (21) és a (22) összefüggések segítségével számított modell, melyet a Froude-féle invariáns figyelembevételével méreteztünk, nemcsak az ellenállások (a vízfelszín alakja), hanem az áramlási kép tekintetében is hű mása lesz a természetnek. Ezt azonban kísérleti úton felül kellene vizsgálni.

Tapasztalataink szerint az esetek nagy részében az a helyzet, hogy a (21) és a (22) összefüggések segítségével számított modell méretei, még $m = 1$ esetén is, gazdaságtalanul nagyra adódnak. Fel kell tehát adnunk azt a kritériumot, hogy a modellbeli áramlás hidraulikailag érdes legyen. Ismeretes, hogy a Colebrook—White-féle függvény segítségével hidraulikailag sima áramlás esetén is számíthatjuk a súrlódási ellenállási tényező értékét. Az (5) összefüggés hidraulikailag sima áramlás esetén úgy módosul, hogy a relatív érdesség hatását kifejező tag értéke zérus. Mint említettük, hidraulikailag sima áramlás esetén ugyanis a lamináris határreteg vastagsága nagyobb, mint az érdességi elemek mérete. (Annak ellenére, hogy a súrlódási ellenállás nagyságát a meder érdessége nem befolyásolja, a természet és modell viszonylatában a relatív érdesség azonosságát fenn kell tartanunk, hogy a csavaráramlás ne módosuljon, a felszíni áramlási kép ne torzuljon el.)

A (17) összefüggés számlálójában a természetes meder ellenállási viszonyait feltüntető tagokat találhatjuk, míg a nevezőben a modellre vonatkozó megfelelő értékek láthatók. A K_1 jelű tag a relatív érdesség hatását tükrözi. Ha a modellbeli áramlás hidraulikailag sima, akkor a nevezőben K_1 értéke zérus tartozik lenni. Ebből következik, hogy a természetben érdes, a modellben hidraulikailag sima áramlás esetén a (17) összefüggés módosított alakjával kell számolnunk, éspedig

$$T_h = \left[\frac{\log(K_1 + K_2)}{\log\left(K_2 \sqrt{\frac{a_i^3}{T_h [T_h - k(T_h - 1)^n]^3}}\right)} \right]^2 + k(T_h - 1)^n. \quad (23a)$$

Az összefüggést a vízszintes méretek átszámítási tényezőjére megoldva, eredményül azt kapjuk, hogy

$$a_l = [T_h - k(T_h - 1)^n] \sqrt[3]{T_h \left\{ \frac{\text{num log} \left[\frac{\log(K_1 + K_2)}{\sqrt{T_h - k(T_h - 1)^n}} \right]}{K_2} \right\}^2} \quad (23b)$$

A (23a) összefüggésből torzítatlan modellre vonatkozóan is meghatározhatjuk a vízszintes méretek átszámítási tényezőjét és lényegesen egyszerűbb alakú összefüggést kapunk:

$$a_l = \left(\frac{K_1}{K_2} + 1 \right)^{2/3} \quad (23c)$$

Bizonyos esetekben előfordulhat, hogy az áramlás mind a természetes, mind a modell-mederben hidraulikailag sima (pl. a Tisza kisvízállásainál). A (17) összefüggésből az erre vonatkozó kapcsolatot is meghatározhatjuk az előbb elmondottak analógiájára:

$$T_h = \left[\frac{\log K_2}{\log \left(K_2 \sqrt[3]{\frac{a_l^3}{T_h [T_h - k(T_h - 1)^n]^3}} \right)} \right]^2 + k(T_h - 1)^n \quad (24a)$$

Ez az összefüggés is megoldható a vízszintes méretek átszámítási tényezőjére:

$$a_l = [T_h - k(T_h - 1)^n] \sqrt[3]{T_h \left[\frac{\text{num log} \left(\frac{\log K_2}{\sqrt{T_h - k(T_h - 1)^n}} \right)}{K_2} \right]^2} \quad (24b)$$

Ha az áramlás mind a természetben, mind a modellben hidraulikailag sima, az ellenállási viszonyok hasonlósága torzítatlan modellben nem biztosítható (csak 1 : 1 méretarányban).

A fenti összefüggésekben T_h a modell geometriai torzítását, a_l a vízszintes méretek átszámítási tényezőjét jelenti. Továbbá

- $K_1 = 0,0676 (\epsilon/R)_T = 0,0676 (\epsilon/R)_M$ — a meder relatív érdességétől függő mennyiség,
- $K_2 = 0,627/Re_T \sqrt{\lambda_T}$ — a természetes meder hidraulikai jellemzőitől függő mennyiség,
- $t = (\epsilon/\delta)_T$ — a természetes meder abszolút érdességének és a lamináris határreteg vastagságának hányadosa,
- $m = (\epsilon/\delta)_M$ — a modell-meder abszolút érdességének és a lamináris határreteg vastagságának hányadosa,
- ahol $t > m > 1$,
- k és n — a természetes meder keresztzelvényének geometriai viszonyaitól függő állandók (2., 3. és 4. ábra).

Bármelyik összefüggéssel határozzuk meg a modell átszámítási tényezőit, a kicsinyítés mértékének megállapítása után a modell hidraulikai

jellemzőit ellenőrizni kell, hogy a modellezhetőség feltételeit kielégít-e (turbulens mozgásnak turbulens mozgás, áramlónak áramló felel-e meg stb.).

A hidraulikai méretezés bevezetésében említettük, hogy két feltétel egyidejű kielégítését kívánjuk megoldani. Véleményünk szerint ezekkel az összefüggésekkel számított modell a vízfelszín és a felszíni áramlási kép alakulását tekintve a kiválasztott vízállásnál (vízhozamnál) középértékben hű mása lesz a természetnek.

IRODALOM

1. DA VINCI, LEONARDO: Del moto e misura dell'acqua. Bologna, 1923 (post humus).
2. SZEPESSY J.: Dunai áramképfelvételek Visegrádnál. *Hidrológiai Közöny* (1955) 11—12. Budapest.
3. HANKÓ G.: Dunai áramvonalképek fotogrammetriai kiértékelése. *Földmérési Közlemények*. (1954) 4. Budapest.
4. BÖZSÖNY D.: Jelentés a Dunai Vízlépcső általános modellkísérletéről. ÉKMÜE II. Vízépítéstani tanszék. Kézirat: op. 51, Budapest. 1954—55.
5. HANKÓ Z.: A Nagymarosi Vízlépcsővel kapcsolatos kismintakísérlet. Az építési körülmények vizsgálata. I. rész. VITUKI, Kézirat: 107, Budapest. 1959.
6. AGROSZKIN, I. I.—DMITRIJEV, G. T.—PIKALOV, F. I.: Hidraulika. Tankönyvkiadó, Budapest. 1952.
7. MOSONYI E.—HANKÓ Z.: A hidraulikai hasonlóság, a kismintatörvények és a kísérletek értékelése, a várható eredmények. *Mérnök Továbbképző Intézet kiadványai*. 3525. Budapest. 1955.
8. SZESZTAY K.: Az áramlási sebesség számítása. *Vízügyi Közlemények* (1957) 1—2. Budapest.
9. BOGÁRDI J.: A hordalékmozgás elmélete. Akadémiai Kiadó, Budapest. 1955.

SZIVÁRGÁSI JELENSÉGEK KISMINTAVIZSGÁLATAI*

ÖLLŐS GÉZA

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Érkezett 1962. december 20-án]

A tanulmány a szivárgással kapcsolatos magyarországi laboratóriumi kutatások közül az árvédelmi gátak alatti, a szabad felszínű kutak környezetében, a csáposkutak, a vákuumkutak, valamint a karsztrendszerekben lejátszódó szivárgási jelenségekről nyújt összefoglaló jellegű tájékoztatást. Az irodalomjegyzék azonban a teljes magyarországi kutatási anyagot felöleli.

Az árvédelmi gátak alatti szivárgási vizsgálatok elsősorban a gáttestre, ill. a vízvezető réteg feletti fedőréteg alsó síkjára ható hidraulikus nyomásvonalra, továbbá a gátszakadás veszélyének elhárítását célzó árvédelmi létesítményekre terjednek ki.

A szabad felszínű függőleges kutak hidraulikai kérdéseinek vizsgálata elsősorban a kút közvetlen környezetében lejátszódó permanens szivárgási folyamatokra vonatkoznak.

A csáposkutak vizsgálata elsősorban a hidraulikai szempontból legkedvezőbb csáp-hosszúságot befolyásoló paraméterek kapcsolatának tisztázására terjedt ki.

A vákuumkúthidraulikai vizsgálatok a modellkísérleti eljárás kidolgozására, valamint az alapvető hidraulikai jelenségek felderítésére vonatkoznak.

A repedezett kőzetekben fellépő vízmozgásra vonatkozó eddigi vizsgálatok a bevezetett új modellkísérleti eljárás kidolgozására, továbbá néhány legfontosabb hidraulikai alapkérdés minőleges értelmű bemutatására terjedtek ki.

1. Bevezetés

Amióta a kismintatörvények ismertek, egyre nagyobb érdeklődés nyilvánul meg a víz mozgásával kapcsolatos fizikai folyamatok kismintákon történő részletes felderítése irányában. Érthető ez a törekvés a felszín alatti, porózus vagy repedezett kőzetbeli szivárgások esetében is. Hiszen a szivárgási rendszerek hidraulikai határfeltételei, a közeg szerkezeti felépítettsége, a szivárgás inhomogén állapota, valamint a hidrológiai, vízkémiai és egyéb tényezők befolyásának mértéke, nagyságrendje sok esetben kismintakísérletek nélkül csak meglehetősen bizonytalanul ítéltető meg.

A szivárgással kapcsolatos kismintakísérletezés rohamos térhódításának egyik bizonyítéka az, hogy ma már olyan szakterület is, aminő pl. a hidrogeológia, — ahol pedig a vizet magában foglaló kőzetrendszer szerkezeti felépítettsége közismerten nehezen modellezhető — egyre inkább közelebb jut a kismintakísérletezés kutatási módszerének a gondolatához.

Hazánkban a szivárgási kismintakísérleteket 1949-ben NÉMETH E. indította meg a tiszalöki duzzasztómű alatt fellépő szivárgás részleteinek

* A Magyar Tudományos Akadémián „Kismintavizsgálatok a vízgazdálkodásban” című 1962. X. 24-én tartott ankéton elhangzott előadás részlete.

felderítésével. Ettől az időponttól kezdve a szivárgási kismintakísérletezés a tudományos és gyakorlati élet által kitűzött feladatok megoldása érdekében egyre többféle irányban kiszélesedik.

A tanulmányban a korlátozott terjedelem miatt az idevágó kutatási eredményeknek csak néhány csoportját tekintjük át. A tanulmány végén azonban a laboratóriumi szivárgási kutatásokkal kapcsolatos teljes irodalomjegyzéket közöljük.

2. Az árvédelmi gátakkal kapcsolatos szivárgásokra vonatkozó vizsgálatok

Az árvédelmi gátakkal kapcsolatos laboratóriumi vizsgálatok [21, 22, 23, 24, 25] igen fontos, népgazdasági szempontból is jelentős feladatok közé tartoznak. A hazai kismintakísérletek célja a gáttestre, illetőleg a vízvezető réteg feletti fedőréteg alsó síkjára ható, a természetes, valamint a mesterséges okok hatására fellépő hidraulikus nyomásvonal meghatározása, továbbá annak megállapítása, hogy hazai viszonyok között a gátszakadás veszélye milyen árvédelmi létesítményekkel csökkenthető leggazdaságosabban.

A szóban forgó kérdések megoldására irányuló, jól felépített és műszerezett kísérleti munka eredményei közül a következőket célszerű kiemelni:

a) A kismintakísérletek alapján megállapíthatóvá vált a Szigetközi gátakra jellemző nyomásvonal, majd ennek ismeretében a méretezéshez használható közelítő függvényalak:

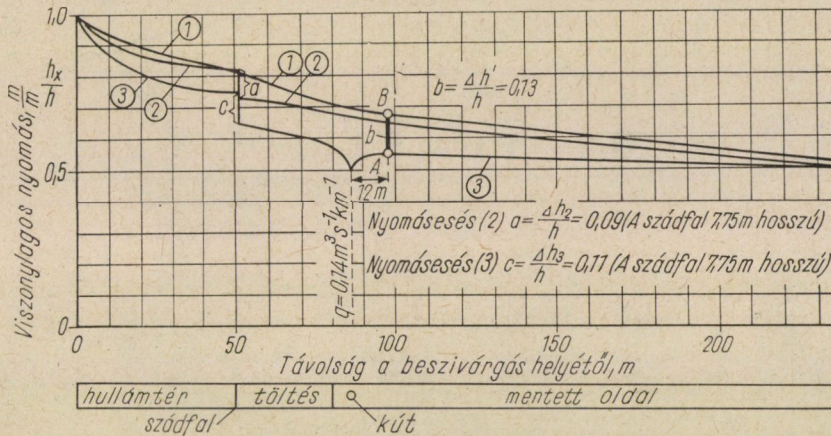
$$h_x = 0.65 \cdot h - 0.0033x,$$

ahol h_x a keresett nyomás, h a két réteg határsíkjától számított nyomás a beszivárgás helyén (vízoszlop m -ben kifejezve), és x a vizsgált hely távolsága a legközelebb fekvő beszivárgás helyétől. (Ez az egyenlet állandó [62 m] kavicsrétegvastagságra vonatkozik.)

b) Minthogy a Szigetközi gát alatti vízvezető kavicsréteg vastagsága változó, szükségessé vált annak megvizsgálása, hogy a kavicsréteg különböző vastagsága miként befolyásolja a nyomásviszonyokat. A kismintakísérletek alapján kiderült, hogy minél vastagabb a vízvezetőréteg, annál nagyobb nyomásesés mutatkozik a beszivárgási hely közvetlen közelében. Ha a rétegvastagság csökken, a kezdeti nyomásesés értéke kisebb, a görbe átlagos esése azonban nagyobbá válik.

c) A nyomásértékek csökkenthetőségének lehetséges módozataira gondolva, további tisztázandó kérdés volt az árvédelmi gát hullámtéri lábánál levert szádfal és a mentett oldalon telepített kútsor hatása. A kismintakísérletek kimutatták, hogy a szádfal önmagában nem csökkenti döntő mértékben a hidraulikus nyomást. Felmerült annak lehetősége, hogy a szádfal

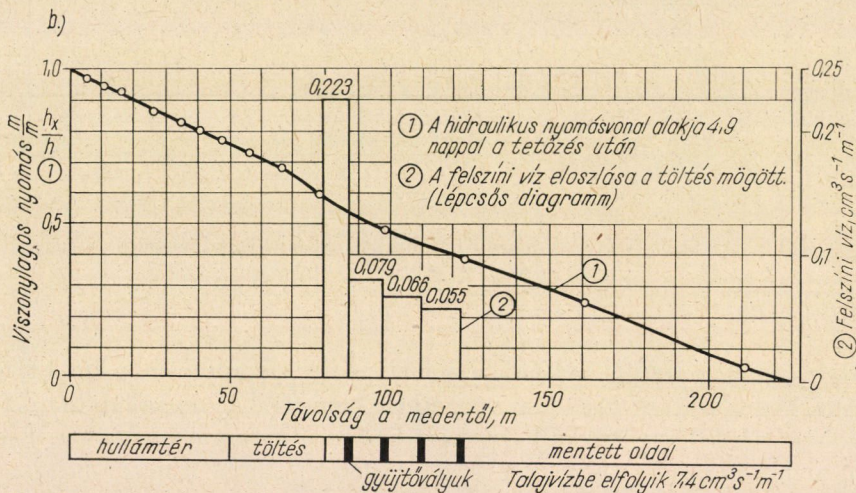
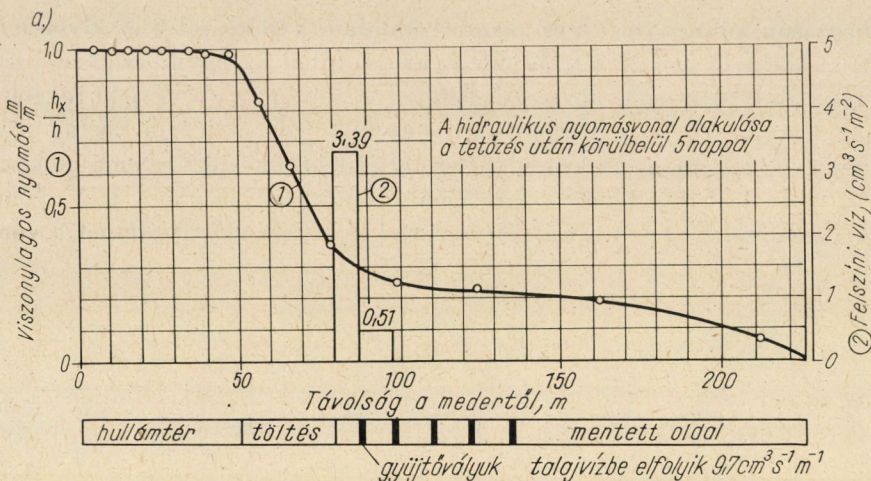
alkalmazásán túlmenően a gát mentett oldalán, a töltéstől 8 m távolságban nyomáscsökkentő kútsor létesüljön. A kismintából az egyik esetben kapott nyomásviszonyokat az 1. ábra szemlélteti. Az ábrán az *a* és *c* jelű függőleges vonalszakasz a szádfal létrejött nyomásesést jelzi, a *b* jelű vastag vonalszakasz pedig a szádfal és a kút együttes hatásaként létrejött nyomáscsökkenés értékét mutatja a kút leszívási görbéjének határpontján. Az 1 jelű nyomásvonal a zavartalan (tehát a kút és a szádfal létesítése előtti) állapotra vonat-



1. ábra. Szádfal és kút hatására kialakuló hidraulikus nyomásvonal vízzáró réteggel fedett, 15 m vastag vízvezető réteg esetében

kozik. A 2 jelű a szádfal esetére, a 3 jelű pedig a szádfal és a kút együttes hatására kialakult nyomásvonal. A görbék elemzéséből megállapítható, hogy a kút és a szádfal együttes alkalmazása kedvező hatást eredményez. Kútsor önálló alkalmazása — amire nézve a kísérletek szintén irányt mutattak — azonban még akkor sem javasolható, ha a vízvezető réteg kevésbé áteresztő homoktalaj.

d) A következő felmerülő kérdés, hogy a gáttest alatt és környezetében a nyomáseloszlás a fedőréteg nélkül (2a ábra), majd fedőréteg jelenlétében (2b ábra) miként alakul. A vizsgálatoknál a teljes talajrétegvastagság 14 m-nek felel meg, s ebből 1,5 m volt a fedőréteg (agyag). A 2a—b ábra a két esetre vonatkozó, —1,5 m talajvízálláshoz tartozó nyomásvonalat és a felszíni vízhozamot szemlélteti. Az ábrák alapján világosan kitűnik, hogy a vízzáró fedőréteg nélkül a hullámtéren érvényesülő teljes vízoszlopnomás éppen a töltéstest alatt csökken le a talajvízállástól függő értékre (vagyis a gát alatt nagy a hidraulikus gradiens). Fedőréteg esetében azonban a nyomás közelítőleg lineárisan csökken, s ez a csökkenés rögtön a beszívárgás helyén kezdődik. A gát alatt tehát a hidraulikus gradiens kisebb, mint az előző esetben. A fedő-



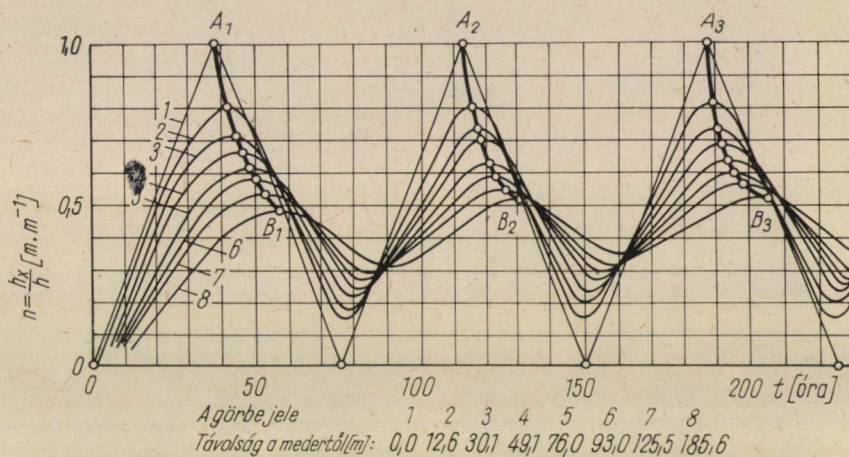
2. ábra. Vízáró fedőréteg nélküli, ill. gyengén vízáteresztő agygréteggel fedett, durva homok vízvezető rétegben kialakuló hidraulikus nyomásvonal

rétegnek a kedvező hatása a töltés biztonságára egyértelműen meg volt állapítható.

e) A kismintakísérletek értékes felvilágosítást nyújtottak továbbá a fedőréteg alsó síkja mentén a folyómederbeli árhullámváltozás hatására előálló nyomástovaterjedés, tehát a nem permanens folyamatokra nézve is. A vizsgálatok során a folyó vízállásváltozását rezgőmozgással hasonlították össze. Felhasználva azt a fizikai tételt, hogy rugalmas, belső súrlódással rendelkező testben a rezgés véges sebességgel és véges távolságig terjed, feltételezhető volt ennek a tételnek a nem permanens talajvízmozgásra való alkalmazhatósága is.

A mederbéli vízállás periodikus nyomásváltozásának hatására, a medertől különböző távolságra bekövetkező nyomásváltozás mikéntjét a 3. ábra érzékelteti. A víz szintje a mederben az 1 jelű, egyenes szakaszokból álló periodikus függvény szerint változott, miközben a nyomás a medertől különböző távolságban levő pontokon a 2—8 jelű görbe szerint alakult. A vizsgálatok szerint a folyómedertől különböző távolságban fekvő pontokon várható relatív nyomás helyi értékének maximuma közelítőleg a következő összefüggésből számítható:

$$\Pi_{\max} = 0,65 \frac{1,2}{x^{0,12} i^{0,008x}}$$

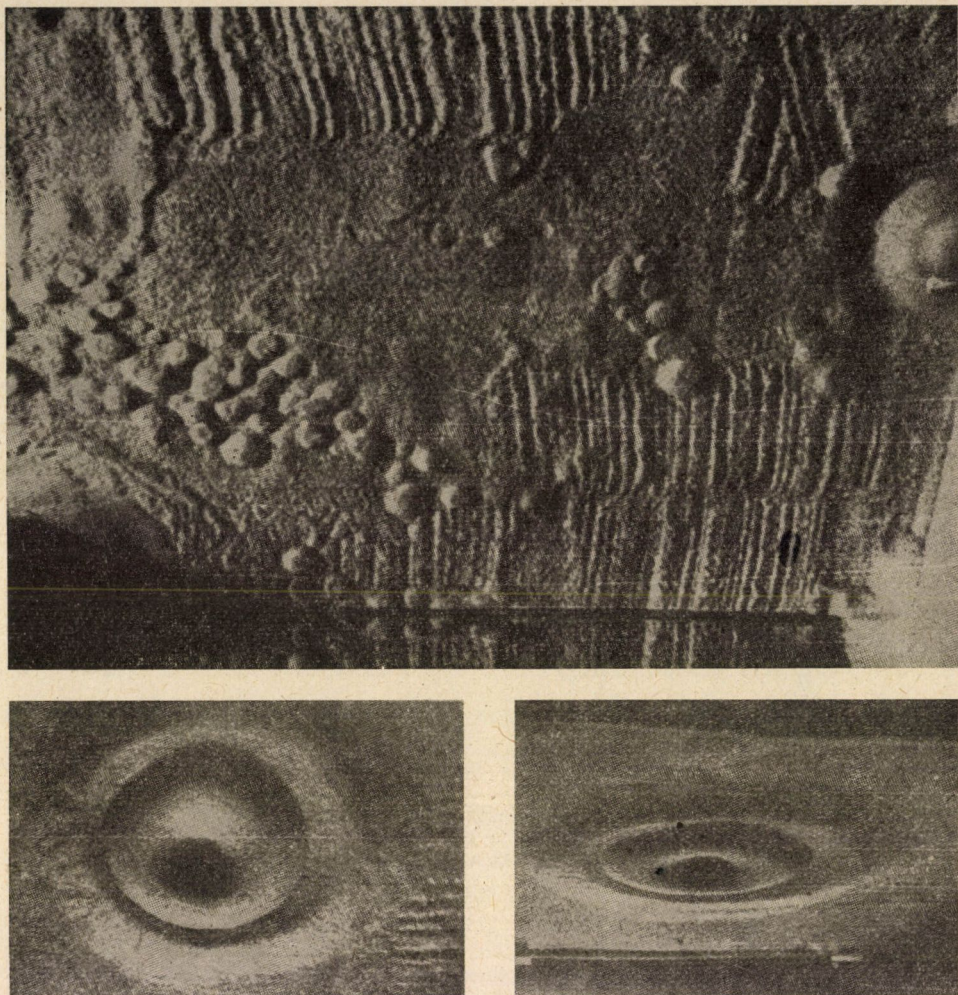


3. ábra. A nyomás időbeli változása a medertől különböző távolságban

ahol x a medertől mért távolság [m], i az árhullám emelkedési sebessége [cm/óra].

f) Ugyancsak a hidraulikus szivárgási kisminta alapján sikerült felderíteni a nagymarosi vízlépcső visszaduzzasztásának hatására a Vág alsó szakasza mellett kialakuló talajvízmozgás mikéntjét. A feladat ez esetben az volt, hogy a visszaduzzasztás hatásaként a hullámtéri vízborításból származó mentett oldali talajvízszin káros emelkedését milyen beavatkozás révén sikerül meggátolni. Ilyen szempontból a mentett oldalon létesített 2 belvízcsatorna, majd kútsor s végül kútsor és belvízcsatornák kerültek szóba. A kísérletek bebizonyították, hogy hidraulikai szempontból a mederrel párhuzamosan haladó két belvízcsatorna biztosítja azt, hogy a hullámtér felől a talajvíz ne táplálódhassék.

g) A kismintakísérletek a gáttesten keresztüli nem permanens szivárgás néhány sajátosságára is rámutattak. Ezek segítségével ellenőrizni lehetett a töltéstesten keresztüli nem permanens szivárgási folyamatra vonatkozó



4a—b ábra. Elemi és forrásban levő buzgárok

— előzőleg felállított — elméleti összefüggéseket [26]. Hazai viszonylatban sikeresek voltak SZALAY Miklósnak viszkózus modellen — a vízzáró alaplemez alatti szádfalak jelenlétében fellépő szivárgásra vonatkozó, az I. Vízépítéstani Tanszék hidraulikai laboratóriumában végzett vizsgálatait is.

h) Az árvédelmi gátak átszakadásának egyik előjele a buzgárképződés. A kismintakísérletek az ezzel kapcsolatos törvényszerűségek feltárására is alkalmasnak bizonyultak [27]. A kísérletek célja a függőleges irányú szivárgás törvényszerűségeinek felderítése volt. A kísérletek alapján szemléltethetővé váltak a buzgár kifejlődésének a körülményei.

Amikor a terep felszínén kilépő víz sebessége a talaj kisebb átmérőjű szemcséit mozgásba hozva, milliméterrendű gömbön belül ide-oda dobálja, akkor az ún. *elemi buzgárok* képződnek (4a ábra).

Amint a feltörő víz a finomabb szemcséket magával ragadja, azok helyébe nagyobb szemcsék kerülnek, s ezek a víz felfelé áramlása útjába már kisebb akadályt gördítenek. Ilyenkor a szemcsék további osztályozódása révén csakhamar *forrásban levő buzgár* keletkezik, amelynek külső gyűrűjében a kráterből származó finomabb szemcsék rakódnak le (4b ábra).

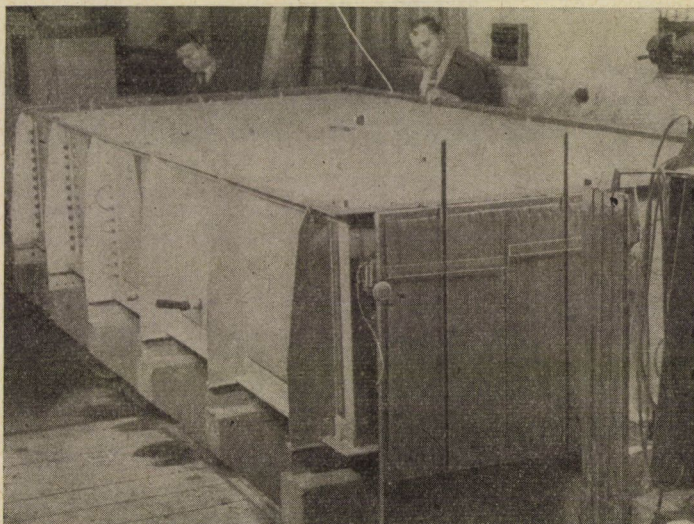
A buzgárképződéssel kapcsolatos vizsgálatok a szűrőkutakkal való tehermentesítés, illetve a nyomásesökkentés kérdésére is kiterjedtek.

3. A szabad felszínű kutakra vonatkozó vizsgálatok

E kutatási téma hazai viszonylatban különösen időszerű és fontos. A hazánk területe alatti földkéreg jelentékenyebb részét ui. porózus közeg alkotja. Az ebből történő vízkivétel műszaki és gazdaságossági kérdéseinek vizsgálata — tekintettel a létesülő és működő kutak nagy számára — feltétlenül kívánatos.

Az idevágó kismintavizsgálatokat [28—33, 35] körszektor alaprajzú kismintán végeztük. Az 1962. évtől kezdve azonban már olyan kísérleti berendezés is rendelkezésünkre áll, amellyel nemcsak az egyedülálló kút, hanem már a kútesoportokkal kapcsolatos szivárgási kérdéseket is vizsgálhatjuk (5. ábra).

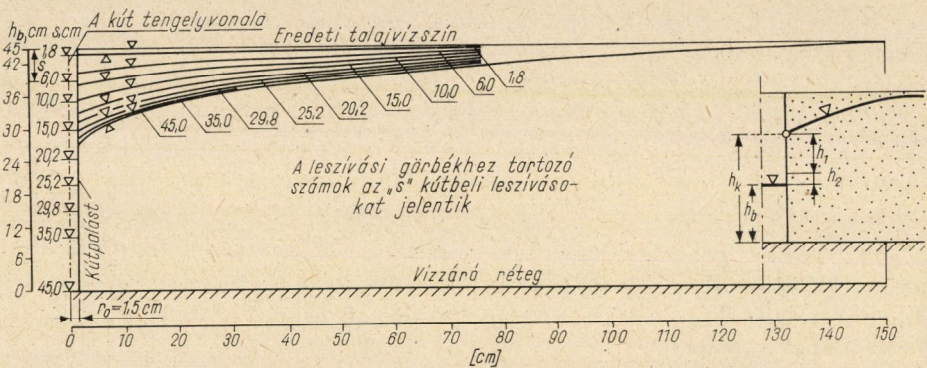
Az eddigi kismintakísérleti munka a talajvízbe telepített kutak esetében a) a kútpaláston levő szabad szivárgási felület; b) a leszívási görbe; c) a víz-



5. ábra. A kútesoportok vizsgálatához alkalmas kísérleti berendezés

hozam; d) az inhomogén vízáadó közeg hidraulikai hatásai; e) a kútszűrők hidraulikai kérdései és f) a kapillaris sáv szabad talajvízfelszínre gyakorolt hatásának, illetőleg a benne lejátszódó hidraulikai jelenségek feltárására terjedt ki. A kutatási téma természetéből kifolyólag a kismintavizsgálatok elsősorban a kútpalást közvetlen környezetében lejátszódó permanens folyamatokra vonatkoztak.

Az ilyen irányú kutatások rendkívül fontosak. Ugyanis a Darcy-féle szivárgási törvényt követő kútelméletek nem veszik figyelembe a kút közvetlen környezetében lejátszódó tényleges hidraulikai jelenségeket. Azonban éppen a kismintakísérletek alapján hebizonyosodott: a legkisebb — a kútpalást



6. ábra. A leszívási görbék magassági elhelyezkedése kis átmérőjű kút esetében

melletti — szivárgási keresztmetszet nagyságának hatása a szivárgási rendszer egészében fellépő folyamatokra alapvető fontosságú. Amikor tehát a rendszer belsejében levő hidrodinamikai viszonyokat tanulmányozzuk — kedvező vízutánpótlódás esetét tételezve fel —, tulajdonképpen nem a nagy szivárgási keresztmetszetekből kell a kisebbek felé szemléletünket irányítani, hanem fordítva. Pl. a 6. ábra szerint is a leszívási görbe alakját és magassági helyzetét illetően az egyik döntő hatást az r_0 , vagyis az ehhez tartozó legkisebb szivárgási keresztmetszet adja.

A kísérleti eredmények közül a következőket célszerű kiemelni:

a) A kútpaláston levő szabad szivárgási felületre vonatkozó hazai kutatások megadták az alapot arra, hogy a hazai kúthidraulikai szemlélet a ténylegesen lejátszódó folyamatok figyelembevételén épüljön fel. A kútpalást külső és belső oldalán levő — a kút talpa feletti — vízszint h_k , ill. h_b egymástól való függőleges értelmű elszakadásának részletes feltárása alapján vált lehetővé a kútpalást környezetében a leszívási görbe alakjának, valamint a szivárgási sebesség kútpalást menti magassági eloszlásának, mint legfontosabb alapadatoknak a meghatározása. A porózus közegbeli nyomásvesztés hatásaként

jelentkező palást melletti vízszintek elszakadására nézve a kísérletek a következő egyenletet eredményezték:

$$h_k - h_b = 0,228 \sqrt[3]{\frac{H}{r_0} \frac{(H - h_b)^2}{H}}$$

Itt H az eredeti vízréteg vastagsága, r_0 a kút sugara. Ebben az egyenletben még nem szerepel pl. a vízáadó réteg k tényezője, amit nyilvánvalóan szintén figyelembe kell majd venni, amint azt 1962-ben GRČIČ J. konkrét kismintakísérleti adatokkal be is bizonyította [34]. Első lépésként azonban a kút r_0 sugarának a hatását kellett tisztázni, annál is inkább, hiszen pl. a csökutak üzemelésénél az r_0 hatása nagyon is jelentős tényező. A fejlődés következő lépéseként a laboratóriumi kutatások során is az elszakadás részletes vizsgálatakor a kút körüli kavicszűrő, a szűrőzött palástfelület, valamint a szivárgási állapot inhomogén voltából eredő tényezők együttes figyelembevételére is kell már törekedni.

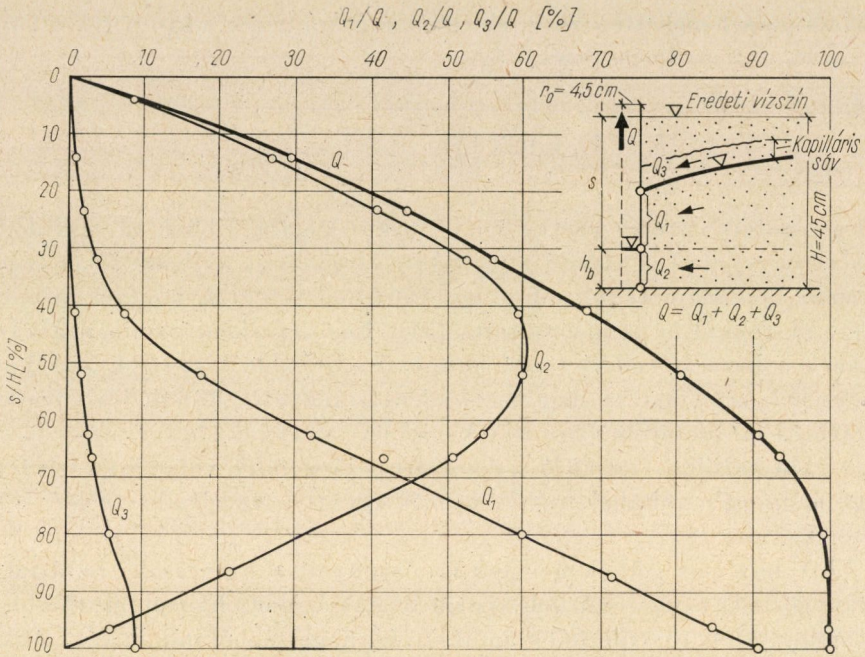
b) A leszívási görbék geometriai viszonyait a kutatások tisztázták: a leszívási görbék nem a kútbeli vízszin magasságából, hanem az előbbi, a) pontban megadott egyenletből számítható h_k magasságából indulnak ki. Miként a h_k -t, úgy természetesen a leszívási görbék magassági elhelyezkedését is döntő módon befolyásolja az r_0 . Így például $H/r_0 = 30$ arányszám esetében a leszívási görbék még a teljes vagy ahhoz közeleső leszíváskor is magasan helyezkednek el (6. ábra). A leszívási görbékre vonatkozó eme kutatási eredmények a gravitációs kutakkal történő talajvízszinsüllyesztés hidraulikájának szabatosabbá tételéhez is hozzájárultak.

c) A kút vízhozamára nézve a kísérletek határozottan kimutatták, hogy — permanens állapotot vizsgálva — a kútból kitermelhető legnagyobb vízmennyiség nem valamelyik közbenső, hanem a teljes kútbeli leszíváskor ($h_b = 0$) adódik. A vízszinteknek a szűrőfelület két oldalán bekövetkező egymástóli elszakadása miatt a kút vízhozama három részre osztható (7. ábra). A részekre tagolt kismintakút (8. ábra) elvének bevezetése alapján sikerült számszerűen is meghatároznunk valamely leszíváshoz (s) tartozó, a kútbeli vízszin alatti térbe érkező vízhozamot (Q_2), a szűrőfelületen levő ún. szabad szivárgási felületen $[2r_0\pi(h_k - h_b)]$ át a kútba jutó vízhozamot (Q_1) és végül a kapilláris sávból közvetlenül a kút terébe szivárgó hozamot (Q_3). Eszerint a kút teljes hozama (Q)

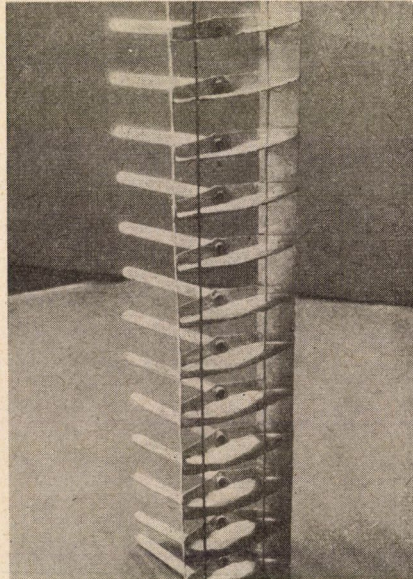
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

összegeként adódik. A vízhozam adatok ismeretében a kútpalást magassága mentén mutatkozó szivárgási sebességértékek is kiszámíthatók.

d) A kismintakísérletek alapján megállapítható, hogy a kútszűrők legkedvezőbb méretviszonyainak felderítése érdekében célszerű átfogó, további



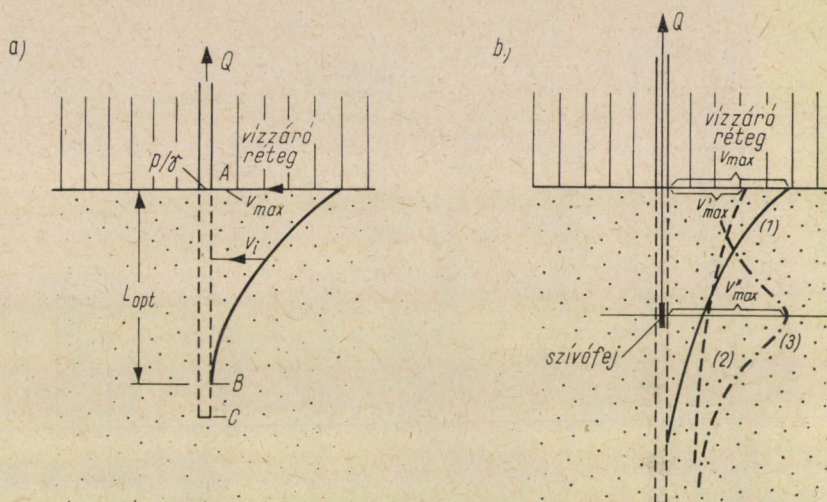
7. ábra. A kútpaláston levő szabad szivárgási felületen és a kútbeli vízszin alatti palástfelületen át a kútba jutó vízhozam (Q_1 ill. Q_2) változása a leszívás (s/H) függvényében. Q_3 közvetlenül a kapilláris sávból a kútba szivárgó víz mennyisége



8. ábra. A részekre tagolt kismintakút

laboratóriumi és ezzel párhuzamosan természetbeni vizsgálatokat folytatni. Kutatásaink ugyanis pl. arra mutattak rá, hogy a kútszűrőknek az ellenállásviszonyokra gyakorolt hatása nagyon jelentős lehet. Feltétlenül kívánatos ezért a hazai szitaszövetes kutak helyett korszerűbb, hidraulikai szempontból is megfelelőbb szűrőfajták bevezetését célzó kutatási munkák kiszélesítése.

e) Másik fontos szempont a kút szűrőzött hosszának célszerű meghatározása. A kísérleti adatokból egyértelműen kitűnik, hogy a kisebb átmérőjű kutak esetében mind hidraulikai, mind gazdaságossági okokból feltétlenül szükséges a legkedvezőbb szűrőhossz meghatározására való törekvés [52]. A Magyar Hidrológiai Társaságban elhangzott előadásokon a szerző több ízben is fel-



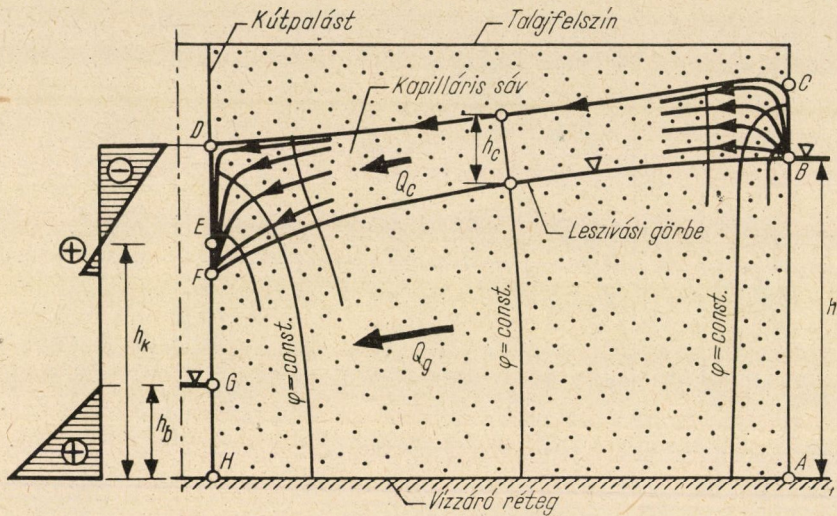
9a—b ábra. A kútszűrő legkedvezőbb hosszát befolyásoló hidraulikai alapesetek

hívta erre a figyelmet. Amint a 9a ábra szemlélteti, pl. a nyomás alatti vízáadó rétegbe süllyesztett kútba a felső vízzáró réteg alsó szintjében (A pont) lép a legtöbb víz a kút belső terébe, vagyis a rendszerbeli szivárgási sebességek legnagyobb értéke (v_{max}) itt jelentkezik. Ennek a pontnak a magasságában van a kútpalást vízáadó rétegbe lenyúló hossza mentén a legkisebb p/γ érték. Érthető tehát, hogy a szóban forgó hidraulikai feltételek mellett az A pont szintjében van a vízáadó réteg a legnagyobb mértékben igénybe véve. Lefelé haladva, a kútpalástot elérő vízrészecskék szivárgási sebessége csökken, míg végül bizonyos mélységben a sebesség $v = 0$ értékűvé válik. Vagyis a B és C pont közötti palástfelületre hidraulikai szempontból tulajdonképpen már nincs is szükség.

Természetesen a kút „élete folyamán” az előbb említett hidraulikai feltétel kisebb-nagyobb mértékben módosulhat (9b ábra). Pl. ha a kút közvetlen

környezetében a réteg átteresztőképessége csökken belső erózió és a vegyi hatások következtében, vagy a kútellenállás nő, akkor az 1 jelű — sebességeloszlást kifejező — görbe helyett a 2 jelű görbe esete áll elő, amikor is az optimális szűrőhossz nagyobbá válik. További jellemző eset az, amikor a szívófejet a perforált csőszakaszon belül helyezik el. Ilyenkor a sebességeloszlás jellegét a 3 jelű görbe fejezi ki. A v''_{\max} a szívófej magasságához tartozik, s ebből kifolyólag már a szívófej feletti és alatti perforált palástfelület legkedvezőbb hosszát kell meghatározni.

Mindezekből kitűnik, hogy a kút felső, perforátlan szakaszán az adott hidraulikai feltételek mellett átáramló Q vízmennyiség a szemcsés közeg



10. ábra. A kapillaris sávból a kútba történő vízbeszívárgás hidraulikai körülményei

teréből a legkisebb ellenállás elvének maradéktalan betartása alapján jut a kút belső terébe. Ez a körülmény határozza meg az 1, 2 és 3 jelű sebességeloszlási görbe jellegét és a legkedvezőbb szűrőhosszat.

A folyadékrezecskék eme legkisebb ellenállás elve szerinti mozgása természetesen mindenfajta mozgásfolyamat esetében fennáll.

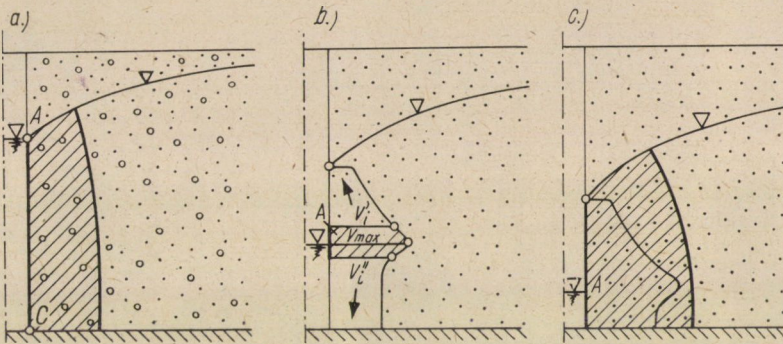
Öröndetes tény az, hogy a laboratóriumi kutatásokon túlmenőleg a kútszűrők optimális hosszának meghatározására máris megindultak a mérések a valóságos kutak esetében is. Tekintettel a nagyszámú üzemelő és elkészítésre kerülő hazai kútra, a kútszűrők optimális hosszát befolyásoló számos tényező, amelyek közül a legfontosabb nyilvánvalóan a kút sugara (r_0) és a vízadó réteg k tényezője, tisztázása mielőbb kívánatos.

f) A kapillaris sávra nézve a kismintakísérletek [35] véglegesen tisztázták, hogy benne — bizonyos magasságig — a leszívási görbe alatti potenciál-

vonalak folytatódnak. Ez azt jelenti tehát, hogy a háromfázisú kapilláris sávban levő piezometernyomásvonal két szomszédos (1 és 2 jelű) pontja között hidraulikus gradiens létezik:

$$I = \left(\frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_2}{\gamma} \right) / L = \frac{\Delta H}{\Delta L},$$

vagyis a víz mozog a kút irányába. A hazai kísérletek a részekre tagolt kismintakút segítségével kimutatták, hogy a kapilláris sáv kútpalásthoz csatlakozó alsó részéből a 10. ábrán az $E-F$ magasságon belül közvetlenül is bejut a víz a kút helsejébe, vagyis ebben a térrészben a vízrészecskék a szemcsék



11. ábra. A kút körüli szivárgási állapot értelmezésének alapesetei

közötti molekuláris eredetű vonzóerő legyőzéséhez szükséges, az atmoszferikus nyomásnál nagyobb, némi pozitív nyomás alá kerülnek. Ez a hidraulikai körülmény természetesen a kútpalásthoz közel eső szabad vízfelszín némi emelkedésével egyenértékű. A kapilláris sáv hozamának létezését felismerve, a kismintakút teljes hozamának Q számítására a következő összefüggést adtuk meg:

$$Q = \pi k \left\{ \frac{H^2 - h_b^2}{\ln R/r_0} + h_c \left[\frac{H - h_b - 0,228 \sqrt[3]{\frac{H}{r_0} \frac{(H - h_b)^2}{H}}}{\ln R/r_0} \right] \right\}.$$

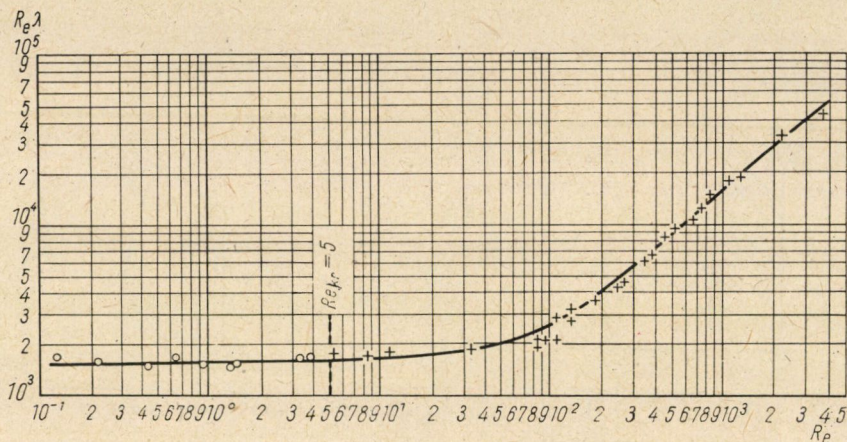
Itt a már említett jelöléseken túlmenően h_c a kapilláris sáv vízhozamot szállító magassága, R a kút hatósugara. A kapilláris sávból származó vízhozam, valamint a sávban uralkodó hidraulikai viszonyok feltárása megadja az alapot ahhoz, hogy a kismintakísérletek során már az ilyen irányú hatásokat is kvantitatív értelemben vehessük figyelembe.

g) A kút körüli szivárgási rendszerben a szivárgás állapota inhomogén. A lineáris szivárgási állapottól eltérő turbulens jellegű vagy esetleg már a

tiszta turbulens tartomány felléptének hidraulikai körülményeit a kútpalást melletti vízszintek elszakadásának tényével hoztuk összefüggésbe. Ezt illetően három esetet kell megkülönböztetnünk (11a—c ábra).

Finomszemcséjű talajban, kis leszívás esetén, amikor az elszakadás gyakorlatilag még nem jelentkezik, az egész palástmenti porózus felülethez lamináris mozgás tartozik (11a ábra).

Az elszakadás bekövetkezése után a turbulens jellegű szivárgási tér a kútbeli vízszin magasságában jelentkezik, illetőleg onnan terjed tovább (11b ábra), de korántsem egyszerre az egész palást melletti mező válik turbulens jellegűvé. Ennek a kérdésnek a vízkémiai viszonyokkal való szoros kapcsolatba-



12. ábra. A Darcy-féle törvény érvényességének felső határára vonatkozó kísérleti adatok

hozatala feltétlenül kívánatos, hiszen a rétegek sok esetben nagyon is élesen megnyilvánuló eltömődésének tér- és időbeli folyamata csak a hidraulika és vízkémia együttes elemzése alapján deríthető fel teljes bizonyossággal.

Végül jelentkezik az az eset, midőn az egész palástmenti porózus keresztmetszeten megszűnik már a lineáris szivárgási törvény uralma (11c ábra).

E helyen kívánatos megemlíteni azokat a laboratóriumi vizsgálatokat, amelyeket V. NAGY I. és KARÁDI G. végeztek a lineáris szivárgási törvény érvényességi tartományának meghatározásával kapcsolatban [36, 37]. Ezek a kísérletek jelentős tudományos értékükön kívül fontos alapot szolgáltatnak éppen a kút körüli — az előzőkben részletezett — inhomogén szivárgási állapot keletkezésének és a belőle származó különböző hatások felderítéséhez is.

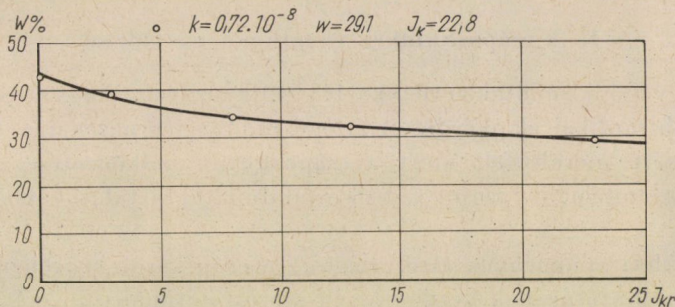
A laboratóriumi kísérletek azt mutatják, hogy a Darcy-féle törvény érvényességének felső határa $Re\lambda = 5$ -nél van. A kísérleti adatokat a

$$Re\lambda = f(Re)$$

koordinátarendszerben ábrázolták (12. ábra). A $Re\lambda = \text{konstans}$ állapot meg-

szűnésének oka az említett kutatások szerint egyrészt a tehetetlenségből eredő hatások megnövekedése, másrészt pedig a fellépő lokális turbulencia.

A laboratóriumi kísérletek a Darcy-féle törvény érvényességének alsó határára is kiterjedtek. A kísérletekből kitűnt, hogy ha az agyagban a víztartalom meghaladja azt a határértéket, amely alatt csak kötött víz van jelen, akkor a szivárgás már tetszőleges kicsiny gradiens mellett is megindul. A víztartalom és a kezdeti gradiens közötti összefüggést szemléltető adatok a 13. ábrán láthatók. Végző soron tehát kitűnik, hogy az alsó határ a talajszemcsét burkoló kötött víz reológiai tulajdonságaitól függ. Ezek az eredmények újabb értékes előrehaladást jelentenek a már korábbi hazai hasonló irányú kutatási munkák [38—39] után.



13. ábra. A víztartalom (w) és a kezdeti gradiens közötti összefüggés

Általánosságban megállapítható, hogy a helytálló kúthidraulikai szemlélet kialakulását a kismintakísérletek valóban elősegítették azáltal, hogy a természetben rendszerint meg nem ismerhető folyamatok részleteinek és a gazdaságossági okoknál fogva nem mérhető hidraulikai paraméterek konkrét értékeinek birtokába juttattak már az eddigiekben is bennünket.

A kutakkal kapcsolatos kismintakísérletek eredményeinek felmérésekor azonban a fejlődés érdekében tárgyilagosan meg kell állapítanunk, hogy az eredmények elsősorban a folyamat hidraulikai jellemzőire vonatkoznak. Ezen belül is vannak azonban még olyan feladatok, amelyek csak a természetbeni megfigyelések alapján oldhatók meg. Ilyen például a leszívási görbe „ k ” tényezőjének a számításához a mértékadó szakasz kiválasztása. Amint UBELL K. egyértelműen kimutatta, a leszívási görbének csak egy közbenső szakasza felel meg olyan „matematikai görbének”, amely a „ k ” tényező számításához valóban felhasználható [41].

A hidraulikai tényezők mellett a szivárgási folyamatot befolyásoló hidrológiai tényezők figyelembevétele a kismintákkal ma még aligha lehetséges. Ismerve azonban ezen tényezők jelentős szerepét, feltétlenül szükségesnek tartjuk ez alkalommal is hangsúlyozni, hogy a kutakkal kapcsolatos kisminta-

kísérletek és a természetbeni megfigyelések adatait egységes, szorosan összefüggő szemlélet alapján kell értékelni. Ez az az út, amely a következő kutatások során elvezethet bennünket az általános érvényű, az összes ható tényezőt egyaránt figyelembe vevő, kúthidraulikai elmélet felállításához. Ezen vizsgálatok során azonban valószínűleg majd kitűnik, hogy egyes tényezőket, amelyek hatásának nagyságrendje ma még bizonytalanul ítéltető csak meg, gyakorlatilag nem is szükséges figyelembe venni.

További fontos kutatási területet jelent az, hogy a kút körüli szivárgási rendszerben a szivárgás állapota (lamináris stb.) a térben változó. Ma még a kezdeti próbálkozásokon [41—42] túlmenően alig rendelkezünk olyan elméleti vonatkozású ismeretekkel, amelyek a megoldáshoz elvezetnének.

4. A csáposkutakra vonatkozó vizsgálatok

Az idevágó kismintakísérletek [44] célja az volt, hogy az egyedül álló csáposkút hidraulikai alapkérdéseit átfogó módon felülvizsgálja. Ennek szükségessége azért merült fel, mert a csáposkutak működtetésekor kialakult hidraulikai szemlélet — amint azt az irodalmi tapasztalatok bizonyítják — ma még nem egységes.

A kísérleti eredmények elsősorban *a)* a csáp körüli szűrőhenger hidraulikai kihasználhatóságának kérdésére; *b)* a csáp optimális hosszát befolyásoló tényezők vizsgálatára; *c)* a mederből a csáphoz irányuló beszivárgás sajátosságaira; valamint *d)* a csápok hozamára vonatkoznak, a következő részletezés szerint:

a) A csáp körüli szivárgási viszonyok elemzése arra mutat, hogy — még tökéletesen kiképzett szűrőhenger esetében is — a csáp körüli szivárgási tér a legtöbb esetben 3 jellegzetes részre bontható (14. ábra). A legtöbb víz általában a csáp aknától távolabbi végén — az *I.* jelű térből — lép be a csápbába. A *II.* jelű térből a víz már kevésbé koncentráltan jut be a szűrőhengerbe, illetőleg a csáp belső terébe. Ha a vízáadó réteg vastagsága meglehetősen nagy, és a talajvíz a csáp tengelye irányában már eredetileg is mozgásban volt, akkor a felső, *III.* jelű talajvízréteg esetleg teljesen hasznosítatlanul tovaszivárog a csáp felett.

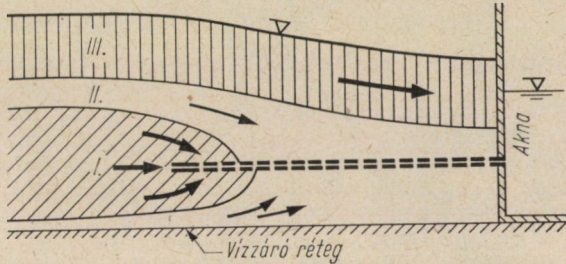
Megállapítható tehát, hogy a szűrőhenger a hozzá történő vízszivárgás szempontjából teljes mértékben általában nem használható ki.

b) A csáp legkedvezőbb hosszának célszerű megválasztása a műszaki szempontok mellett gazdaságossági szempontból is nagyon fontos. Beható elemzés alapján megállapítható, hogy bármilyen hidraulikai határfeltételről is legyen szó, mindenkor gondolni kell a csáp legkedvezőbb hosszára. Ha pl. az akna körüli perforált csápszakaszok túlzott mértékű hidraulikai egymáshatását el akarjuk kerülni, akkor az optimális és egyben gazdaságosan kiképzett csáphosszúság perforálatlan szakasz beiktatása révén hozható létre. Ez

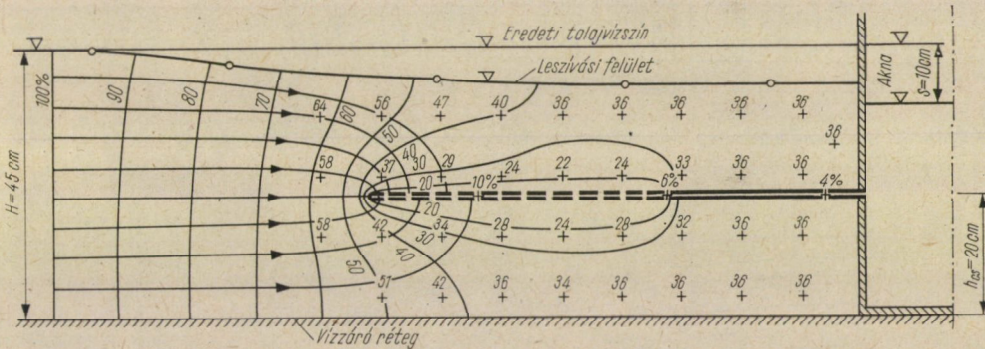
esetben a csáp körüli szivárgás jellegének alakulásáról a 15. ábra nyújt tájékoztatást.

c) A mederből a csáphoz irányuló beszivárgás során minden csáphoz önálló szivárgási hatástér tartozik. Természetesen ez esetben is jelentkezik a legkedvezőbb csáphosszúság kérdése.

d) A csápok hozamára nézve a kísérletek a csápok egymásrahatása, valamint a hidraulikai határfeltételek (talajvíztérből vagy mederből táplálkozó csápok) fontos szerepére adtak konkrét, egymással összehasonlítható adatokat.



14. ábra. A csáp körüli szivárgási tér hidraulikai szempontból célszerű felosztása



15. ábra. Szivárgási áramkép. A csápfelület akna melletti szakasza perforátlan. $\varnothing = 1$ cm

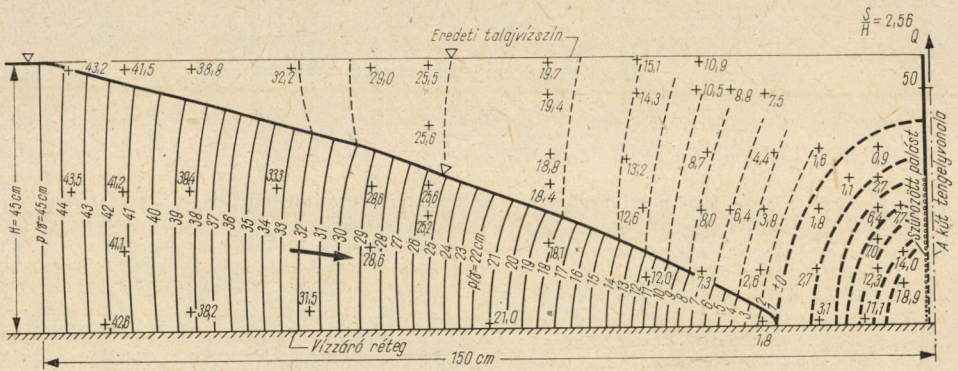
Az eddigi kutatások és mérés technikai tapasztalatok rávilágítanak arra, hogy a megfelelő módon megválasztott kismintakísérletek az egyedül álló csáposkúttal kapcsolatos szinte az összes hidraulikai részletkérdés vizsgálatán kívül a folyómeder mellé sorba telepített csáposkutak vizsgálatára is valószínűleg alkalmasnak ítéltethők meg.

A következőkben fontos lesz annak tisztázása, milyen legyen a csápok helyszínrajzi elrendezése, és hol kell a szűrőzött csápfelületeket kialakítani ahhoz, hogy adott szivárgási határfeltételeknek megfelelően valamely csáposkút hidraulikai szempontból valóban optimális módon működjék. Folyómeder

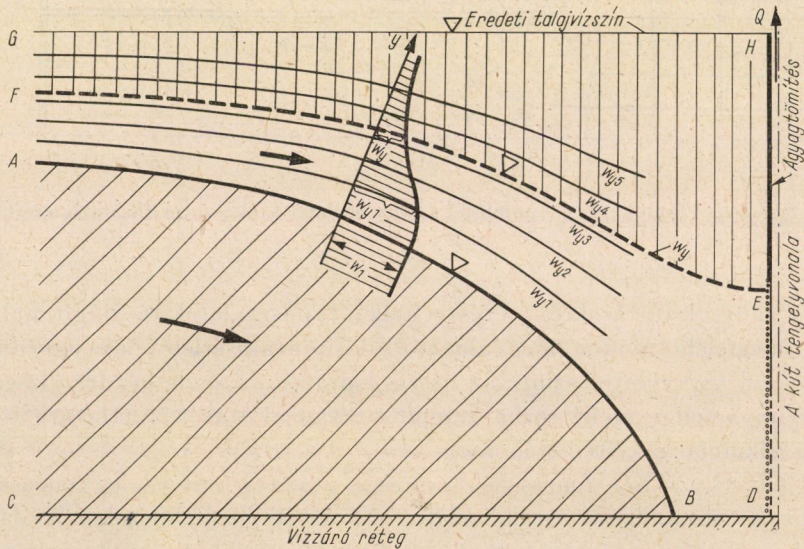
mellé telepített csáposkutak esetében a kérdés természetesen oly módon is felvethető, hogy miként foglalható el valamely mederszakasz hidraulikai szempontból csáposkutakkal a legkedvezőbb módon?

5. A vákuumkutakra vonatkozó vizsgálatok

Az erre vonatkozó kismintakísérletek célja a vákuumkút-hidraulika alapkérdéseinek vizsgálata *a)* egyedül álló kút, *b)* sorba telepített kutak esetében [45, 46]. A vizsgálatok elsősorban *a)* leszívási görbe; *b)* a piezometernyomásviszonyok és *c)* a szemcsés közegbeli vákuummező kialakulása hidraulikai jellemzőinek meghatározására terjedtek ki.



16. ábra. Bizonyos kútbeli vákuumtól kezdődően a leszívási felület a kútpalásttól eltávolodik



17. ábra. A leszívási felület értelmezése a víztelenítés foka szempontjából

A kutatás mind elméleti, mind gyakorlati szempontból egyaránt jelentős feladatot érintett. Ennek ellenére sem hazai, sem külföldi viszonylatban nem vizsgálták a vákuumkúttal kapcsolatos hidraulikai kérdéseket laboratóriumban. A természetben végzett szivattyúzások pedig rendszerint nem tudták részletesen és egyértelmű módon feltárni a folyamatokat. Ez az oka annak, hogy a talajvízszinsüllesztés helyes eljárásának kiválasztásával, a kutak célszerű telepítésével és a kutak működtetésével kapcsolatban még ma is számos bizonytalanság uralkodik.

A hidraulikus szivárgási kismintán végzett vizsgálataink a következő eredményre vezettek:

a) Elfogadva a leszívási görbe gravitációs kutaknál szokásos értelmezését, mely szerint a leszívási görbe azon pontokból alkotott görbe vonal, amely a pontjain áthaladó, azonos értékű piezometernyomásvonalakhoz tartozó vízoszlopmagasság szintjében helyezkedik el, megállapítható, hogy az bizonyos kútbeli vákuum alatt még metszi a perforálatlan kútpalástfelületet, bizonyos kútbeli vákuum felett azonban eltávolodik attól (16. ábra), vagyis nem metszi azt. Ez a döntő különbség a gravitációs és vákuumkút körüli leszívási görbe között.

Ha a vízzáró réteg mélyen a kúttalp alatt helyezkedik el, a leszívási görbére vonatkozó eme elv továbbra is érvényben marad, vagyis ekkor a leszívási görbe a kút talpa alá süllyed.

β) A talajvízszinsüllesztés szempontjából a 17. ábrán levő értelmezés szerint tehát az a pontban értelmezett leszívási görbe felett olyan különböző w_y nedvességtartalmú leszívási görbesereg helyezkedik el, amelyre nézve fennáll:

$$w_1 > w_{y1} > w_{y2} > \dots$$

A víztelenítés szempontjából nyilvánvalóan nem a w_1 -hez tartozó görbe a mértékadó, hanem valamelyik felette levő (w_y).

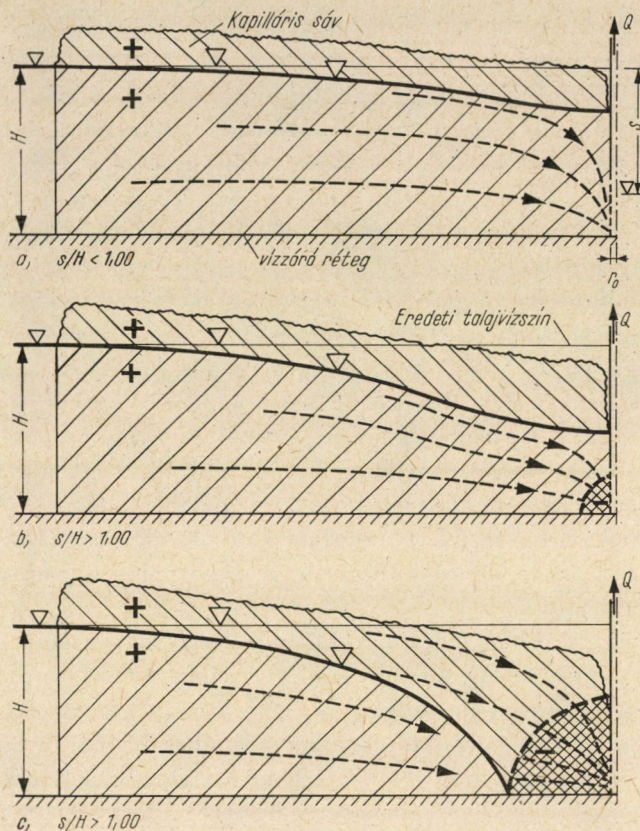
γ) A szemcsés közegben az egyedül álló kút körüli piezometer-nyomáseloszlás szempontjából háromféle esetet kell megkülönböztetni (18a—c ábra):

A kút gravitációs üzeme esetén a leszívási görbe alatti 2 fázisú és az afeletti 3 fázisú ún. felső vákuummező alakul ki (18a ábra).

Kisebbsmértékű kútbeli vákuum esetén az előbbi két mezőn kívül a kút szűrőzött felülete környezetében már megjelenik az alsó, szintén 3 fázisú vákuummező is (18b ábra).

Nagyobbmértékű kútbeli vákuum esetén szintén 3 mező alakul ki. A felső és alsó vákuummező ez esetben azonban már egymással összekapcsolódik: összefüggő rendszert alkot (18c ábra).

A vákuumnak a szemcsés közegbe való átterjedése azt jelenti, hogy a szivárgási rendszer vízáteresztőképessége (k) mintegy „megnövekszik”, ami



18. ábra. A vákuumkút körüli piezometernyomáseloszlás módjának alapesetei

egyben azt is jelenti, hogy a vákuumkút geometriai értelemben vett sugarát (r_0) a kútbeli vákuum mértékétől függő, tehát változó, ún. hidraulikai sugárral kell felcserélni, hiszen a vákuum hatása vízhozam szempontjából a kút geometriai értelemben vett átmérőjének növekedésével egyenértékű.

Eme néhány kezdeti kutatási eredmény bizonyítja, hogy a kisminta-kísérletek a vákuumkúthidraulika további tisztázatlan kérdésének felderítésére is feltétlenül alkalmasnak ítéltethők meg.

6. A repedezett kőzetekben fellépő vízmozgásra vonatkozó vizsgálatok

Az okszerű vízgazdálkodás gyakorlatához a rendelkezésre álló vízkészleteket mind mennyiségi, mind minőségi szempontból fel kell tárni. A vizet tartalmazó kőzet szerkezeti felépítettségének ismeretén kívül — attól a pillanattól kezdve, amikor a víz mozogni kezd — a hidraulika is fontos szerephez

jut, hiszen a mozgástörvényeket fel kell tárni. Vagyis a hidrogeológia és hidraulika szoros kapcsolata feltétlenül kívánatos.

A porózus kőzetekben fellépő szivárgási folyamatok mozgástörvényei — minthogy a közeg rendszerint homogénnek tekinthető — viszonylag jóval feltártabbak, mint a repedezett rendszerbeli folyamatoké.

A repedezett kőzetek esetében *a)* a repedések geometriai sajátosságai, *b)* a vízmozgás kinematikája és végül *c)* a folyadék anyagi sajátosságai által megszabott kapcsolat már bonyolultabbá válik. Általános formában a kapcsolat valamely egyedi repedésre nézve a következő formában fejezhető ki:

$$\lambda = \varphi \left(Re, \frac{e}{\delta}, \Phi_1 \right),$$

ahol *e* adott érdességfajta esetében a repedés abszolút érdessége, δ az egyedi repedés keresztmetszetére vonatkozó, célszerűen megválasztott jellemző hosszúság, Φ_1 az érdességfajta hatását kifejező dimenzió nélküli jellemző.

Adott érdességtípus esetében $\Phi_1 = \text{const.}$ és így a feladat végső sorban a

$$\lambda = \psi \left(Re, \frac{e}{\delta} \right),$$

— a lamináris, átmeneti vagy tiszta turbulens mozgástartományra érvényes — függvény megkeresésére irányul.

Az egyedi repedéselemekből felépített repedésrendszerben a folyadék mozgásakor a geometriai viszonyoktól függően különböző mértékű hosszmenti, iránytörési és helyi veszteségek lépnek fel.

Ezek a különböző eredetű nyomásvesztések, valamint a repedezett rendszer valamennyi geometriai, kinematikai és a víz anyagi sajátosságát kifejező tényezők azonban a térben és időben változnak. Ezért az egyedi járatbeli vízmozgás vizsgálatáról a rendszer egészére való áttérésnél ezen tényezők statisztikus átlagértékével kell számolni. A vízbetörések helyi speciális körülményeitől függően a hidraulikai szempontból valóban mértékadó és uralkodó tényezők elsősorban a természetben végzett mérések alapján határozhatók meg. Az utóbbi évek során azonban világszerte megfigyelhetők azok az egyre inkább erősödő törekvések, hogy a hidrogeológiai folyamatokat kicsinyített rendszerben — kismintában — is tanulmányozhassák. Ez a törekvés nyilvánult meg az Országos Földtani Főigazgatóság részéről is, amidőn az I. Vízépítéstani Tanszék hidraulikai laboratóriumát kismintakísérletek végzésére kérte fel.

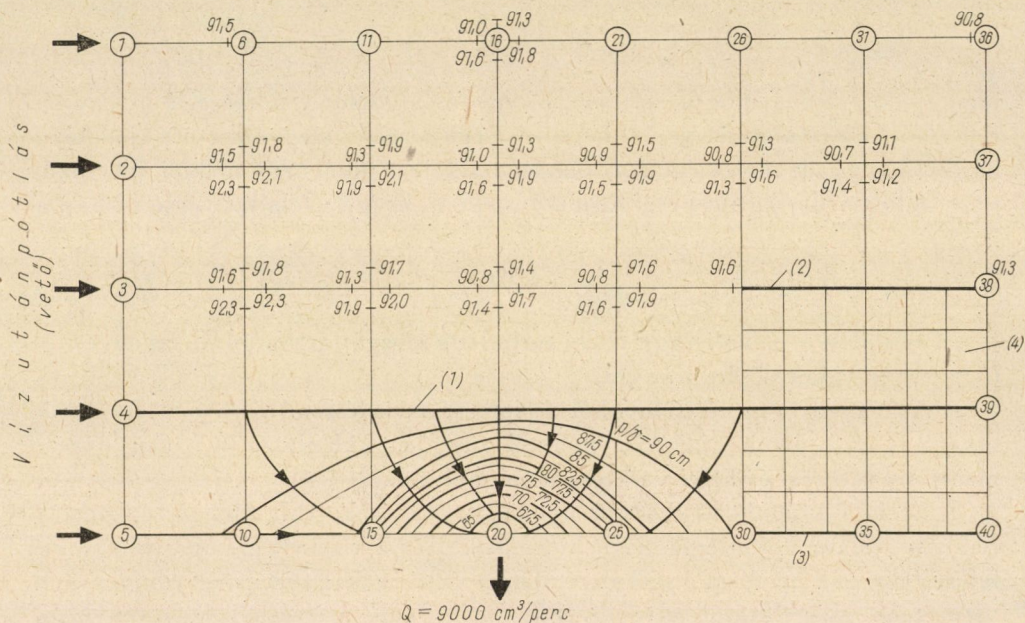
A szerző által bevezetett kismintakísérleti eljárás [47, 48] a nyomás alatti repedésrendszerben, illetőleg a kisminta csőhálózatában mutatkozó nyomás alatti vízmozgás közötti analógiát hasznosítja.

A kisminta idealizált síkbeli repedéshálózata PVC műanyagcsövekből áll, s ily módon a természetbeli repedésfajta geometriai sajátosságai messzemenően utánozhatóvá válnak.

Az ilyen módon létrehozott kismintában a hálózatszerűen egymáshoz kapcsolódó csőelemek mind a hosszmenti, a helyi és az irányváltásból származó ellenállások létrejöttét és meghatározhatóságát a lamináris, átmeneti és a turbulens szivárgási állapot, a repedezettség inhomogén voltának, továbbá a tehetetlenségi erő kívánt mértékű figyelembevételét is lehetővé teszik.

A síkbeli kismintán végzett vizsgálatok eredményei közül a következőket említjük:

a) A megcsapolás helyének közvetlen környezetéhez tartozó hidraulikai viszonyok homogén rendszer esetében közelítőleg azonosnak tekinthetők, bár-



19. ábra. A vízszintes hasadék szerepe az áramlásviszonyok befolyásolásában

hol is csapoljuk meg a kerülete mentén a rendszert. Ezek a kutatási eredmények világosan tükrözik, hogy minden folyadékmozgás esetében, bármilyen is a közeg, az egyik legfontosabb teendő annak felderítése, hogy hidrodinamikai szempontból összefüggő vízrendszer legkisebb keresztmetszetében, illetőleg annak közvetlen környezetében miként alakulnak a hidraulikai viszonyok.

β) Ha a nyomás alatti repedésrendszert több helyen csapoljuk meg, akkor a megcsapolási helyek számával megegyező számú önálló szivárgási hatásmező jön létre. Ez lehet a helyzet pl. az egymáshoz közel fekvő források esetében is.

A kutatófúrás optimális mélységére vonatkozólag megállapítható, hogy azonos hidrosztatikus nyomás alatt álló rendszerben bizonyos mélységen túl

a kutat nem célszerű már süllyeszteni, hiszen vízhozama gyakorlatilag már úgysem változik.

A kisminta a valóságban leginkább jelentkező inhomogén repedezettség idealizálására is alkalmas (19. ábra): a baloldali vezetőhöz csatlakozó nagyobb méretű vízszintes hasadék az alatta történő megcsapolás esetén a hidraulikai viszonyokat döntő módon befolyásolja. A felette levő térbeli piezometernyomások nagyságrendjének közel azonos volta arra mutat, hogy ez a tér az adott



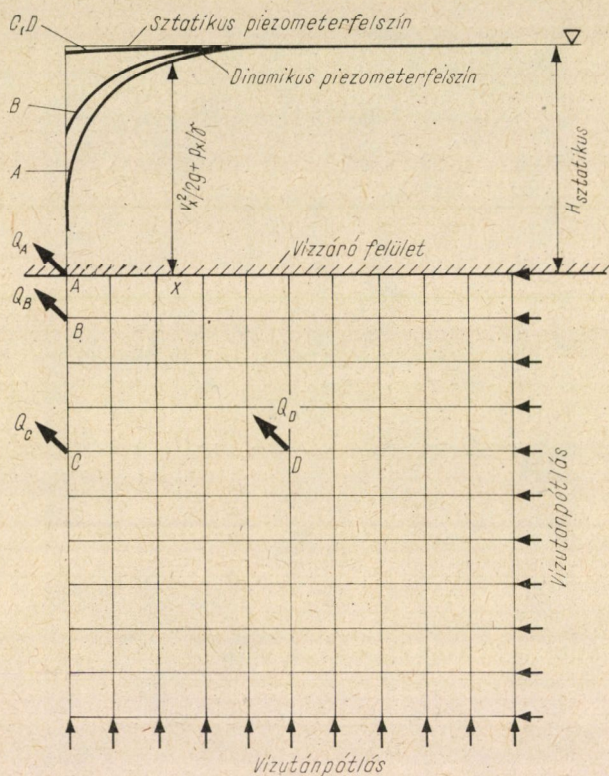
20. ábra. A repedezett kőzetbeli vízmozgás vizsgálatához készült térbeli kisminta

feltételek közepette gyakorlatilag mégsem vesz részt a vízszállításban annak ellenére, hogy vízáteresztőképessége szintén jelentős.

Az 1962. év folyamán az I. Vízépítéstani Tanszéken már a térbeli kisminta is elkészült (20. ábra). Ezen túlmenően már a vetők alapvető hidraulikai kérdéseivel is foglalkoztunk.

A térbeli folyamatra vonatkozó kutatási eredmények közül jelen tanulmányban röviden a piezometerfelszín alakjával foglalkozunk (21. ábra). A 20. ábrán levő térbeli kismintát a 21. ábrán feltüntetett *A*, *B*, *C*, *D* ponton csapoljuk meg. A vízvezető járatrendszert felülről határoló, tehát az *A* ponton átmenő

vízszintes sík a feltételezés szerint vízzáró. Ezen sík felett H sztatikus víznyomás hat a vízvezető rendszerre. A víz utánpótlása a szektortér oldalsó és alsó felületén keresztül folyamatosan biztosított. Az ilyen nyomás alatti karsztrendszert különböző pontokon csapolva meg (pl. kútatófúrás lemélyítése után próbaszivattyúzást végezve) az előzőekben már értelmezett vízzáró síkban jelentkező p/γ adatokhoz tartozó piezometerfelszín alakjának jellegét a következőképpen kell megítélni (21. ábra).



21. ábra. A karsztrendszer feletti piezometerfelszín értelmezése

a) Ha a megcsapolás a vízzáró síkban van (A jelű pontban), akkor a hozzátartozó A jelű piezometerfelszínnek a megcsapolás pontjához közel eső — viszonylag rövid kiterjedésű — szakasza nagyon meredek. Ez a meredek szakasz az A ponton keresztülhaladó függőleghez szinte „asszimptotikusan” közeledik, ami onnan ered, hogy a tehetetlenségi erő nagymértékben csak a megcsapolási pont közvetlen környezetében jelentkezik.

b) Ha a rendszert az előbbi szint alatt, de még annak közelében csapoljuk meg (B jelű ponton), akkor a neki megfelelő piezometerfelszín alakja ugyan hasonlít az előzőhöz, de afelett helyezkedik el.

c) Ha a rendszert a felső, vízzáró síkja alatt mélyen csapoljuk meg (pl. a *C* vagy *D* jelű ponton), akkor a kísérletek tanúsága szerint a piezometerfelszín alig süllyed, s ez a kismértékű süllyedés enyhén hajló egyenes vonal szerint alakul.

Eme alapesetek elemzése után a gyakorlat számára a következő fontos alapelvet rögzíthetjük le: a piezometerfelszín — mint parameter — felhasználása tulajdonképpen csak az esetben lehetséges, ha a rendszert felső határoló-síkjában csapoljuk meg (21. ábra, *A* jelű ponton). Bizonyos megcsapolási szint, illetőleg pont esetében (pl. a *C* és *D* jelű) a piezometerfelszín geometriája nem nyújt tájékoztatást a megcsapolási pont közvetlen környezetében lejátszódó hidraulikai jelenségek mibenlétéről.

A piezometerfelszínnek magasságbeli helyzetét vizsgálva, bármely megcsapolt pontra felírható a Bernoulli-féle egyenlet:

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z = C.$$

A hasonló sítot a rendszer felső síkjában véve fel, akkor az *X* jelű pontra nézve a Bernoulli-egyenlet:

$$\frac{v_x^2}{2g} + \frac{p_x}{\gamma} = C.$$

A karsztrendszerbeli hidraulikai folyamatok vizsgálatához bevezetett kismintakísérleti eljárás továbbfejlesztése során minden valószínűség szerint a különböző felépítésű karsztrendszerek idealizált felépítésű kismintáját is létre lehet majd hozni. A szóban forgó kismintakísérletek esetére vonatkozó kismintatörvény ma még nem ismert, s ebből kifolyólag a kismintából lezármaztatott adatok elsősorban minőségi értelműek. Az alkalmazható kismintatörvény mielőbbi felállíthatósága érdekében, vagyis a kísérleti adatok mennyiségi értelműekké változtatása céljából a következőkben már olyan kismintát szükséges készíteni, amely valamely — szerkezeti és hidraulikai szempontból — ismertnek feltételezhető természetbeni karsztrendszer átfogó vizsgálatát tenné lehetővé. Az egymásnak megfelelő hidraulikai adatok összehasonlítása megadhatja a kismintabeli parameterek mennyiségi értékelhetőségének a lehetőségét.

7. Záró megjegyzések

A tanulmányban bemutatott, ma már meglehetősen széles körű kutatási eredmények tükrözik azt a nagy érdeklődést, amely a szivárgási kismintakísérletezés utáni hazai viszonylatban az utóbbi évtizedben megnyilvánult. Természetesen a vizsgálatok értéke annál nagyobb, minél inkább érvényre tudjuk juttatni a kismintabeli jelenség előállításkor a mechanikai hasonlóság törvényeit. Ezért örvendetes tény az, hogy a kismintakísérletezés gyorsütemű fejlődésével egyidejűleg a szivárgással kapcsolatos kismintatörvények felismerése is fejlődik, és az erre irányuló vizsgálatok éppen hazánkból indultak el.

Mint ismeretes, MOSONYI E. és KOVÁCS GY. megállapították a nehézségi és súrlódási erő együttes figyelembevétel alapján a kétfázisú szivárgási folyamatra vonatkozó szivárgási kismintatörvényt [49, 50].

Természetesen, amint a szivárgási kismintakísérletezés a vízgazdálkodási élet fejlődésével egyidejűleg az egyre bonyolultabb folyamatok vizsgálatára is kiterjed, a kismintatörvényeket is egyre behatóbban kell kutatni, sőt a jövőben már a vákuumkúttal, a repedezett kőzetbeli vízmozgásokkal stb. kapcsolatos kísérletekre vonatkozó kismintatörvények meghatározása is elengedhetlenné válik.

Ezen az úton járva, bizonyos, hogy a szivárgással kapcsolatos kismintakísérletek a jövőben is be tudják tölteni azt a szerepet, amelyet a vízgazdálkodási élet számukra kijelöl.

IRODALOM

1. NÉMETH E.: Gát alatti szivárgás kísérleti úton való vizsgálata. Budapesti Műszaki Egyetem I. Vízépítéstani Tanszékének közleményei. Budapest. 1952.
2. NÉMETH E.: Gát alatti szivárgás kísérleti úton való vizsgálata. *Magyar Közlekedés, Mély- és Vízépítés*. 1949. 26—42.
3. NÉMETH E.: Model Studies of Water Seepage. *Acta Techn. Hung.* 3 (1952), 131—151.
4. ÖLLŐS G.: Vízépítési műtárgyak alatti szivárgás vizsgálata homogén altalaj esetén. *Hidrológiai Közlöny*. 34 (1954), 438—444, 486—492.
5. ÖLLŐS G.: Vízépítési műtárgyak alatti szivárgás vizsgálata inhomogén altalaj esetén. *Hidrológiai Közlöny*. 35 (1955), 3—5, 117—126.
6. NÉMETH E.: L'importance de la loi de filtration de Darcy á la lumière des resultats de quelques essais sur modèles réduits. L'Association Internationale d'Hydrologie. Symposia Darcy. Publication No. 41. Dijon.
7. NÉMETH E.: Szemelvények az I. sz. Vízépítéstani Tanszék kutatómunkájából. Az *Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Tudományos ülésszakának előadásai*. 1955. nov.
8. MOLNÁR L.: Folyadékáramlások törvényszerűségeinek meghatározása elektromos analógia segítségével. *Hidrológiai Közlöny* 37 (1957), 306—317.
9. KOVÁCS GY.: A gát alatt átszivárgó vízhozam megoszlása a mentett oldalon. *Hidrológiai Közlöny* 39 (1959), 392—394.
10. NÉMETH E.: Experiments of Lowering Ground-water. *Acta Techn. Hung.* (1952), 151—177.
11. SZABÓ L.: Az öntözési normák helyszíni meghatározása nagyüzemi szántóföldi öntözésnél. Kandidátusi disszertáció. Kézirat. Budapest. 1957.
12. SÁROSI L.—SOHA I.—KELEMEN J.: Bentonit az építőiparban. Műszaki Könyvkiadó. Budapest. 1962.
13. SÁROSI L.: Bentonitos vízelzárási eredmények helyszínen előkészített anyaggal. *Hidrológiai Közlöny* 40 (1960), 430—433.

14. ÖLLŐS G.: Öntöző és befogadócsatornák hatása a talajvízszin alakulására. *Hidrológiai Közöny* 39 (1959), 123—139.
15. ÖLLŐS G.: Öntözőcsatornákból történő beszivárgás vizsgálatának néhány hidraulikai szempontja. Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványa. 3670. (1959), 25—48.
16. KOVÁCS Gy.: Ground-water household. International Commission on Irrigation and Drainage. *Annual Bulletin* (1959), 65—75.
17. UBELL K.: Moisture Movement in Saturated (Three Phase) Soils with Special Regard to the Utilization of Lysimeter Observation. Symposium Hannover-Münden. 1959. Gentbrugge. 75—82.
18. ÖLLŐS G.: An Investigation into the Effect of Paddy-Fields on Ground-Water Conditions. *International Commission on Irrigation and Drainage. Annual Bulletin* (1959), 22—29.
19. ÖLLŐS G.: Beszivárgás rizstelepekről. *Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Tudományos Közleményei* (1960), 43—61.
20. ÖLLŐS G.—VÁGÁS I.: A rizstelepek alakjának és méreteinek hatása a beszivárgásra. *Hidrológiai Közöny* 41 (1961), 31—42.
21. VARRÓK E.: Kísérletek az árvédelmi gátak alatt kialakuló nyomásvonal meghatározására. VITUKI beszámoló. 1957.
22. VARRÓK E.: A mentett oldalon levő szivárgó és kút nyomáscsökkentő hatása. 1957. Szakvélemény. (VITUKI) Kézirat. Budapest.
23. VARRÓK E.: A nem permanens talajvízmozgás vizsgálata különös tekintettel a nyomásváltozás terjedésére. *Hidrológiai Közöny* 40 (1960), 149—154.
24. VARRÓK E.: Kísérletek a hidraulikus nyomás csökkentésére árvédelmi töltéseknél. VITUKI beszámoló. 1958.
25. VARRÓK E.: Szakvélemény a nagymarosi vízlépcső visszaduzzasztásának hatására a Vág alsó szakasza mellett kialakuló talajvízmozgásról. Kézirat (VITUKI). Budapest. 1959.
26. SZALAY M.: Árvédelmi töltések méreteinek ellenőrzése különös tekintettel azok átázására. *Hidrológiai Közöny* 33 (1953), 108—122.
27. LAMPL H.: Buzgárképződés és a talajtörés. *Vízügyi Közlemények* (1959), 25—49.
28. ÖLLŐS G.: A talajrétegződés hatása a kutakkal kapcsolatos talajvízmozgásokra. *Hidrológiai Közöny* 36 (1956), 274—285.
29. ÖLLŐS G.: A kútpaláston kialakuló vízmozgásnak és a kút vízhozamának vizsgálata. *Hidrológiai Közöny* 37 (1957), 26—33.
30. ÖLLŐS G.: A kútpalást melletti hidraulikai viszonyok részletes vizsgálata. *Hidrológiai Közöny* 38 (1958), 1—20.
31. ÖLLŐS G.: Inhomogén talajok hatása a kutak vízádóképeségére. *Hidrológiai Közöny* 40 (1960), 33—47.
32. ÖLLŐS G.: A kútpalást környezetében fellépő hidraulikai viszonyok vizsgálata. Kandidátusi értekezés. Kézirat. Budapest. 1960.
33. ÖLLŐS G.: Dimenzió nélküli mennyiségek alkalmazása a kúthidraulikában. *Vízügyi Közlemények* (1960), 581—589.
34. GRČIĆ, J.: A kútpaláston levő szabad szivárgási felületre vonatkozó vizsgálatok vízszintes fenék felett egy kúthoz történő áramlás esetén. Tudományos Konferencia a Magyar Vízrajzi Szolgálat 75 éves és a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet 10 éves fennállásának alkalmából. 1962. Budapest.
35. ÖLLŐS G.: A kapilláris sáv hatása a szabad felszíni szivárgó vízmozgásokra. *Vízügyi Közlemények* (1961), 127—149.
36. V. NAGY I.—KARÁDI G.: A Darcy-törvény érvényességének vizsgálata. Hidraulikai Konferencia. Budapest. 1960. 3. kérdéscsoport.
37. V. NAGY I.—KARÁDI G.: Untersuchungen über den Gültigkeitsbereich des Gesetzes von Darcy. Österreichische Wasserwirtschaft. Wien. (1961), 25—32.
38. KOVÁCS Gy.: A mikroszivárgás elméleti vizsgálata. *Hidrológiai Közöny* 37 (1957), 210—222.
39. JUHÁSZ J.: Talajvízháztartás. I. rész. Beszivárgás. Kandidátusi disszertáció. Kézirat. Budapest. 1957.
40. MOSONYI E.: Vízépítési műtárgyak. Tankönyv. Budapest. 1950.
41. UBELL K.: Az elméleti kúthidraulika módszereinek gyakorlati alkalmazásai. *Vízügyi Közlemények* (1958), 306—333.
42. ÖLLŐS G.—UBELL K.: Relation between discharge and hydrodynamic conditions in the vicinity of the well. IASH. Athén. 1961. Publication no. 57. 382—390.
43. MOSONYI E.: Vízérőhasznosítás. Budapest. 1957.
44. ÖLLŐS G.: A csáposkutak hidraulikai kérdései. *Vízügyi Közlemények* (1962), 233—267.
45. ÖLLŐS G.: A vákuumkutas talajvízszinüllesztésre vonatkozó kismintakísérletek. Szakvélemény az I. Vízépítéstani Tanszéken. Budapest. 1962.

46. ÖLLŐS G.—DELI M.—SZOLNOKY Cs.: A vákuumkutas talajvízszinsüllyesztésre vonatkozó kismintakísérletek eredményei. *Hidrológiai Közöny*. 43 (1963), 19—30.
47. ÖLLŐS G.: Possibilities of Model Investigations into Water Movements Occuring in Fissured Rocks. Neuvime Assemblée Générale de l'AIHR. Belgrad. (1961), 1—10.
48. ÖLLŐS G.: A repedezett kőzetekben fellépő vízmozgás hidraulikai vizsgálata. *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények*. (1961) 537—562.
49. MOSONYI E.—KOVÁCS Gy.: Kismintatörvények a nehézségi és súrlódóerő együttes figyelembevételével. *Hidrológiai Közöny* 32 (1952), 274—277.
50. MOSONYI E.: A méretarány szerepe a kismintakísérleteknél. *VI. Osz. Közl.* (1953), 216—222.
51. SALAMIN P.: Nyomás alatti homokrétegben kialakuló vízmozgás vizsgálata hidraulikus kismintán. Szakvélemény: Kézirat. 1957
52. ÖLLŐS G.: Alkalmazott hidraulika. Mérnöki Továbbképző Intézet Kiadványa. Budapest. 1963.

A „KISMINTAVIZSGÁLATOK A VÍZGAZDÁLKODÁSBAN” CÍMŰ, 1962. OKTÓBER 24-ÉN TARTOTT ANKÉT HATÁROZATAI

V. NAGY IMRE

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

Az akadémiai ankét megállapította, hogy népgazdaságunk gyors fejlődésével kapcsolatban, a vízgazdálkodás, vízépítés feladatainak megfelelően jelentősen megnövekedett a vízépítési kismintavizsgálatok tudományos és gyakorlati jelentősége. Kiszélesedett a kismintavizsgálatok alkalmazási köre s ma már azok jelentős segítséget nyújtanak a vízépítés, mezőgazdaság s az ipar különböző területein a tervezésben és az építés feladatainak gazdaságos megoldásában. Ennek megfelelően egyre több, számítás útján meg nem oldható kérdésre, a gyakorlat számára sok nehézséget jelentő probléma megoldására a kismintavizsgálatok adnak választ.

A fentiek megállapítása mellett az ankét részletesen megvizsgálta azokat a főbb elméleti és gyakorlati kérdéseket is, amelyek megoldásával a kismintavizsgálatok még eredményesebbé tehetők. Külön eredménye az ankétnek az, hogy a legújabb kutatások alapján egyértelműen levonta azok *világnézeti következtetéseit* is azzal, hogy irányt mutatott a helyes kutatási szemlélet kialakítására.

Az ankét részletesen kijelölte az egyes kutatási területek fejlesztési irányát, jövő feladatait, s az ezzel kapcsolatos határozatait az alábbiakban foglalta össze.

I. A nyílt felszínű vízfolyások áramlástanai kérdései

1. Az ankét hangsúlyozza a vízfolyások dinamikai vizsgálataival kapcsolatban a hidrológiai, geológiai, morfológiai adottságok figyelembevételének fontosságát a pontos, fizikailag világos, a vizsgált jelenség természetének megfelelő kísérleti szemlélet kialakítása érdekében.

2. A vízfolyások kinematikai szerkezetének vizsgálata során ki kell dolgozni a folyamatos átmenetet az átlagos hidraulikai jellemzőkről a sebességtér átfogó, komplex szemléletére, a turbulencia spektrális elméletével, a turbulens határréteggel, valamint a strukturális örvénylésekkel kapcsolatos legújabb eredmények alapján.

3. Szélesíteni kell az általános és lokális mederkimosódások, valamint a feltöltődések előrejelzésével kapcsolatos vizsgálatokat, a sebesség- és nyomás-
lűktetések eloszlásának, a meder alaki tényezőinek és anyagösszetételének
figyelembevételével.

4. Nagy figyelmet kell szentelni a szabályozott és szabályozatlan víz-
folyások vizsgálatának a változó duzzasztás, nagy vízszintingadozások, a nem
permanens mozgások viszonyai között, különös tekintettel a hordalékmozgás
kérdéseire.

5. Ki kell szélesíteni a lebegtetett és görgetett hordalékmozgás elméleté-
vel kapcsolatos vizsgálatokat laboratóriumi és természetbeni körülmények
között, különös tekintettel a folyami vízkivételek s az öntözőcsatornák viszo-
nyaira.

II. Műtárgyvizsgálatok

1. Különböző méretarányú modellek segítségével s a mérési módszerek
tökéletesítésével részletesen ki kell dolgozni *a)* a leválási tartományok, *b)* a
vákuum, *c)* a kavitáció, *d)* a rezgések kialakulásával kapcsolatos kérdéseket,
különös tekintettel a fenékkiürítők, duzzasztók vízkivételi művei, vízmérő
műtárgyak stb. viszonyaira.

2. Ki kell dolgozni a mesterséges keresztirányú cirkulációs mozgások ki-
alakításával kapcsolatos módszerek konkrét alkalmazási formáit a hazai,
folyami vízkivételek viszonyaira vonatkozóan.

3. El kell végezni a nagy mennyiségben épülő kisműtárgyak egyes típu-
sainak részletes laboratóriumi vizsgálatát.

III. Szivárgási vizsgálatok

1. Fokozni kell a talajvízmozgások általános hidraulikai kérdéseivel kap-
csolatos kutatásokat, különös tekintettel *a)* a talajvízszintnek öntözés hatására
hosszabb időszak alatt bekövetkező megemelkedésére és *b)* a talajvízszint
optimális szinten való tartásának lehetőségeire.

2. A kúthidraulika területén ki kell szélesíteni a kis átmérőjű kutak hid-
raulikai kérdéseivel kapcsolatos vizsgálatokat.

3. Alapkísérleteket kell folytatni a nagy kiterjedésű talajvízterek model-
lezésénél alkalmazott, véges modellbeli elhatárolásokból származó méretarány-
hatás tisztázására.

4. Szükséges a szivárgási kismintatörvények továbbfejlesztése olyan
esetekre is, amikor a hidraulikai paraméterek mellett már más hidrológiai
tényezők is fokozott módon érvényesülnek.

IV. A kismintavizsgálatok újabb alkalmazási területei

1. Az olajiparral kapcsolatban az egynemű folyadékokra vonatkozó szivárgások vizsgálata mellett meg kell vizsgálni a két vagy több, egymással keveredő folyadék porózus közegeken keresztül történő áramlásának kérdéseit.

2. Az anyagszállítás vonatkozásában meg kell vizsgálni a vízzel és levegővel történő anyagszállítás, a keverékek dúsítása, a szemcsés anyagok folyóssá tétele, valamint az emulziók mozgatásával kapcsolatos áramlástan kérdéseket, mint a hidrodinamikának újabb fejezeteit.

3. Meg kell vizsgálni a különleges kohászati alkalmazások lehetőségeit, különös tekintettel az olvasztott fémek áramlástan kérdéseire, valamint a magnetohidrodinamika újabb eredményeire, amelyek a modellkísérletek alkalmazási körének további kiszélesítését jelentik.

4. A bányászat vonatkozásában meg kell vizsgálni a vízkitermelés következtében jelentkező távolba hatás mértékét a bányaművelés alá vont területek egyes típusaira vonatkozóan, különös tekintettel a repedezett kőzetek viszonyaira.

V. A mérés technika kérdései

1. A kismintavizsgálatokban fokozottabban kell alkalmazni az automatika, elektrotechnika, izotóptechnika legújabb eredményeit a pontos fizikai kísérletek lefolytatása érdekében.

2. A nemzetközi tapasztalatok s hazai kutatások segítségével új mérőműszerek prototípusait kell kidolgozni a sebesség és nyomáslüktetések, a hordalékeloszlás, műtárgyrezgések, vízállás, vízhozam, vízminőség stb. regisztrálására laboratóriumi és természetbeni viszonyok között.

VI. Szervezeti intézkedések

1. Az ankét javasolja, hogy az ÉM, FM, OVF együttes utasítása alapján a jövőben a nagy számban előforduló s építésre kerülő kisműtárgyakat csakis laboratóriumi kísérletekkel ellenőrzött szakmai tervek alapján tervezzenek és építsenek.

2. A hazai nagyobb vízépítési műtárgyak tervezésekor kötelezően elő kell írni a kismintavizsgálatokat. Minden olyan terv készítésekor, ahol számítás útján nem megoldható feladatok merülnek fel, kötelező legyen megkísérelni a kérdés megoldását kismintavizsgálatok segítségével.

3. A szükséges alap kutatások elvégzésére a jövőben az építésre kerülő nagyobb műtárgyak beruházási keretéből célszerű a szükséges összegeket biztosítani.

4. Az akadémiai ankét küldjön ki külön bizottságot a kismintakísérletezés gazdaságossági kérdéseinek megvizsgálására, s ez munkájáról tegyen jelentést az illetékes akadémiai bizottságnak.

5. Az ország vízépítési laboratóriumait, s itt külön ki kell emelni az egyetemi Vízépítési Tanszékek laboratóriumait, intenzívebben kell bekapcsolni a tudósképzésbe, biztosítani kell a lehetőséget az aspiránsok munkájára.

6. Az egyetemi Vízépítéstani Tanszékek modellkísérleti laboratóriumait célszerű olyan mértékben fejleszteni, hogy ott lehetőségek nyíljanak egyrészt az oktatási reformtervben elképzelt, a műegyetemi hallgatók által végzendő, egyéni 2—2 heti hidraulikai vizsgálatok bevezetésére, másrészt a tanszéki oktatók és mérnökök tudományos felkészültségének kihasználására a hidraulikai és hidromechanikai alapkérdések kutatása területén.

7. Az ankét szükségesnek tartja a modellkísérletek elvégzésén felül a természetbeni műtárgyellenőrzési munka továbbfejlesztését olyan mértékben, hogy az utólagos ellenőrzéseken kívül a nagyobb műtárgyak építése közben is folyjanak helyszíni ellenőrző vizsgálatok.

8. Célszerűnek látszik a jövőben minden konkrét vízépítési feladatra vonatkozó modellkísérlet anyagának egy erre a célra létesített külön tervtárba való elhelyezése, s azon műtárgyak nyilvántartásba vétele, amelyekre vonatkozóan modellkísérletek történtek.

Az ankét anyaga alapján megállapítható, hogy bizonyos időközönként egy-egy összefoglaló vitautülés keretében rendkívül hasznos és célszerű áttekintést adni az elért eredményekről.

CSŐVEZETÉK ÁTMÉRŐJÉNEK MEGENGEDHETŐ TŰRÉSE SZŰKÍTŐNYÍLÁSSAL VALÓ MENNYISÉGMÉRÉS ESETÉN

VASY GÉZA

GÉPTERVEZŐ ÉS MŰSZAKI IRODA, BUDAPEST

[Beérkezett 1962. február 21-én]

Csővezetékben áramló folyadékok mennyiségének mérésére való szűkítőnyílások tervezésekor a belső csőátmérő pontos értéke a felszerelés helyén általában nem ismeretes. Fontos ezért a tervező számára, hogy a különböző szűkítőnyílások és szűkítési viszonyszámok esetén a belső csőátmérő mekkora tűrése engedhető meg, ha a vezetékcső szabványos, illetőleg mekkora tűrést kell előírnia nem szabványos vezetékcsőre, anélkül, hogy a megfelelő mérési részhiba bizonyos értéket meghaladna. A szerző a belső csőátmérő (D) megengedhető eltéréseinek ($\Delta D\%$) meghatározására eljárást dolgozott ki annak a követelménynek az alapján, hogy D felső és alsó határértékével számított nyílásátmérő (illetőleg szegmens mérőperem esetén a $d_{id} = \sqrt{m} \cdot D$ érték) a D mértani értékével számított d nyílásátmérő (ill. d_{id} érték) megengedett felső és alsó határértékével egyenlő. Az eredményeket a kétféle rendes mérőperemre (nyomásvétel a sarkokban, ill. D és $D/2$ távolságban), rendes mérőtorokra, mérőtorok alakú konfuzoros Venturi-mérőre, kúpos Venturi-mérőre, szegmens mérőperemre, negyedkörös mérőtorokra és félkörös mérőtorokra adja meg. Azonkívül meghatározza szegmens mérőperem nyílásmagasságának az említett követelménynek megfelelő tűrését. Összehasonlításként közli több szabványos vezetékcső esetén a belső csőátmérő számított valószínű tűrésének értékét.

A csőben áramló folyadék mennyiségének mérésére vonatkozó magyar szabvány — az MSZ 1709 — a szűkítőnyílások méretezésével kapcsolatban előírja, hogy a mérési szakaszon a cső belső átmérőjét a szűkítőnyílás *méretezése előtt* „igen pontosan meg kell mérni”. A szabvány szerint a szűkítőnyílás előtti csőszakasz hengeres legyen; előtte $2D$ hosszúságú darabon a belső csőátmérő eltéréseinek — akár köralaktól való eltérés, akár kúposág folytán — $m > 0,3$ szűkítési viszony esetén legfeljebb $\pm 0,5\%$, míg $m \leq 0,3$ esetén legfeljebb $\pm 2\%$ -nak szabad lennie az összes mérési eredmények számtani középértékére vonatkoztatva. Ez a követelmény megegyezik a DIN 1952 vonatkozó előírásával (lásd [1], 15. o., 1.55 szakasz).

Az említett mérések több-kevesebb nehézséggel elvégezhetőek, ha kész, már lefektetett csővezetékről van szó, amelyhez *utólag* terveznek mennyiségmérést, ill. szűkítőnyílást. Ez a gyakorlatban elég sokszor előfordul, mivel

régebben nem alkalmaztak annyira általánosan szűkítőnyílást mennyiségmérésre, mint manapság. Mégis az esetek túlnyomóan nagy többségében újonnan tervezett vezetékekről van szó, amikor azonban más a helyzet: a szűkítőnyílás tervezésekor általában nem végezhető el a szabvány előírta mérések, mivel a mérési szakaszon *lefektetendő* csővezeték nem áll rendelkezésre.

A szűkítőnyílás felszerelésekor ugyan általában el lehetne végezni az átmérőméréseket,¹ és a talált középérték alapján megfelelő helyesbítő tényezőt alkalmazni a mérőműszeren leolvasható érték helyesbitésére. Helyesbítő tényező használata azonban kényelmetlen, különösen ha a leolvasott érték alapján gyors beavatkozásra van szükség. Ezért fontos, hogy értéke gyakorlatilag elhanyagolható mértékben különbözzék csak 1-től. Ezt akkor tudjuk elérni, ha a megfelelő résztűrés kicsi, és így a valószínű eredő tűrés értékét elhanyagolhatóan csekély mértékben módosítja. Tegyük fel, hogy a belső csőátmérő tűrése akkora, hogy a felső és az alsó határértéken belüli D_0 tényleges méretű belső csőátmérővel számított d^* nyílásátmérő a méretmegadás szerinti D belső csőátmérővel számított d nyílásátmérőtől legfeljebb utóbbi megengedett tűrésével különbözik, vagyis $d^* - d \leq |\pm \Delta d_{eng}|$. Ekkor a belső csőátmérőnek a méret szerinti értéktől való eltéréseiből származó mérési részhiba legfeljebb akkora, mint a nyílásátmérő megengedett eltéréseivel járó részhiba. Utóbbi pedig kielégíti az említett feltételt. Ha ugyanis — mint általában — $\Delta \bar{d} = 0,001$, akkor mivel az átfolyási egyenletben d^2 szerepel, a mennyiségmérésnek — helyesebben a mérőnyomás létesítésének — ebből származó részhibája 0,002, ez pedig a szűkítőnyílás 0,005-nél (0,5%) nagyobb alaptűrését csak kismértékben módosítja, míg az egész mérést tekintve, a hatás egészen jelentéktelen.

A belső csőátmérő tűrését szabványos csövek alkalmazása esetén a vonatkozó szabvány határozza meg: névlegesen hüvelykátmérőjű, ún. menetes acélcsővekre az MSZ 120—60, 1, 2. és 3. lap, MSZ 122—52, sima végű vezetékcsővekre az MSZ 123—52, MSZ 124—52, MSZ 13126—52, MSZ 125—52 stb., hidegen vont szabatos acélcsővekre az MSZ 2898—52, MSZ 2899—52, karimás öntöttvas nyomócsővekre az MSZ 86—51, míg kör keresztmetszetű könnyű lemezcsővekre az MSZ 12958—55. Megjegyezzük, hogy a hidegen vont szabatos acélcsővek kivételével a vonatkozó magyar szabványok nem adják meg közvetlenül a belső csőátmérő tűrését, hanem a külső átmérőt és a falvastagságát. A belső csőátmérő *valószínű* tűrése ezekből számítható. Nem szabványos — rendszerint nagy átmérőjű hegesztett — csövek esetén a tűrést a tervezőnek kell megadnia.

Ha elfogadjuk az MSZ 1709 (ill. DIN 1952) szabvány említett előírását, a tervező megelégedhetne azzal, hogy a szűkítőnyílást úgy méretezi, hogy a kiadódó szűkítési viszonytal szabványos csőes etén a belső csőátmérő valószínű,

¹ A gyakorlatban azonban erről sokszor megfelelkeznek.

ill. megadott tűrése ne legyen nagyobb a mennyiségmérési szabvány szerinti megengedhető értéknél, illetőleg nem szabványos csövek belső átmérőjének tűrését utóbbinak megfelelően írja elő. A szabvány előírását azonban semmiképpen nem tekinthetjük helyesnek. Egyrészt ugyanis a belső csőátmérő megengedhető viszonylagos tűrésének a szűkítési viszony folytonos függvényének kell lennie: $\Delta\bar{D} = f(m)$. Másrészt pedig $\Delta\bar{D}$ értéke függ a szűkítőnyílás fajtájától is. Mindkét körülmény abból következik, hogy az $a = f_1(m)$ és $a = f_2(m \cdot a)$ folytonos függvények. Ha például adott esetben bizonyos belső csőátmérővel bizonyos $m \cdot a$ értéket számítottunk és meghatároztuk a vonatkozó $a = f_2(m \cdot a)$ görbe alapján a megfelelő a értéket — amellyel az $a = f_1(m)$ görbe vagy az $m = (m \cdot a)/a$ egyenlet alapján a d nyílásátmérő is meghatározható — majd ezután a belső csőátmérőt *kismértékben* megváltoztatjuk (pl. a csőszabvány szerinti tűrésnek megfelelően), az előzőleg számított $m \cdot a$ érték *szintén kismértékben* változik. Az átfolyási szám változása (s ezzel a nyílásátmérőé) is általában csekély lesz, de értéke függ attól, hogy az elsőnek számított $m \cdot a$ értéknél mekkora az $a = f_2(m \cdot a)$ görbe érintőjének irántangense, ez pedig a szűkítőnyílás fajtája szerint más és más értékű (lásd a 3. ábrát).

Ilyen módon meghatározhatjuk, hogy a belső csőátmérő adott (pl. százalékos) megváltozásához a nyílásmérőnek mekkora (pl. százalékos) megváltozása tartozik. A nyílásátmérő megengedhető eltérését azonban a vonatkozó szabványok és előírások megszabják: általában $\Delta d = \pm 0,001d$, vagyis $\Delta\bar{d}\% = \pm 0,1\%$. Az előbbi eljárás megfordításával, adott esetben próbálgatással meghatározhatjuk, hogy a nyílásátmérő bizonyos — megengedhető — eltérésének a belső csőátmérő mekkora eltérése felel meg.

Az egyes esetekre vonatkozó hosszadalmas próbálgatások elkerülésére számítási eljárást dolgoztunk ki. Az eredményeképpen meghatározott $\Delta\bar{D}\% = f(m)$ görbék közül valamely szűkítőnyílásra azonnal megállapíthatjuk a belső csőátmérőnek azt a szimmetrikus tűrését ($\pm \Delta\bar{D}\%$), amelynek megfelelő felső és alsó határértékkel számított nyílásátmérők (d_1, d_2) a méretmegadás szerinti D belső csőátmérővel számított d értéktől a megengedett $\Delta\bar{d}\%$ eltéréssel különböznek.

A következőkben ezt a számítási eljárást ismertetjük.

A szűkítőnyílás méretezésekor az átfolyási egyenletből az $m \cdot a$ mennyiséget számítjuk ki:

$$m \cdot a = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/ó)}}{0,01252 \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot \frac{K_R}{\sqrt{K_c}} \cdot \sqrt{1/\gamma_1 \cdot (P_1 - P_2)}} \quad (1)$$

illetőleg ha a cső belső átmérője nem állandó, hanem a

$$D_1 = D \cdot \left(1 + \frac{\Delta\bar{D}\%}{100} \right)$$

felső és a

$$D_2 = D \cdot \left(1 - \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \right)$$

alsó határ között változhat, $m \cdot a$ szélső értékei:

$$(m \cdot a)_{\frac{1}{2}} = \frac{Q(m^3/6)}{0,01252 \cdot \varepsilon \cdot D^2 \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \right)^2 \cdot \frac{K_R}{\sqrt{K_c}} \cdot \sqrt{1(\gamma_1 \cdot (p_1 - p_2))}} \quad (1a)$$

Itt az 1 index a +, míg a 2 index a — előjelhez tartozik. A K_η , K_ε és $K_{\varepsilon l}$ tényező, valamint ε függ m -től, K_ε és $K_{\varepsilon l}$ azonkívül D -től is. Azonban D kis-mértékű változása esetén, amilyenről most szó van, m változása is csekély, ezeknek a tényezőknek a változása pedig elhanyagolhatóan csekély. Így az állandó és az állandónak tekinthető mennyiségeket egybefoglalva és a

$$C = \frac{Q}{0,01252 \cdot \varepsilon \cdot \frac{K_R}{\sqrt{K_c}} \cdot \sqrt{1(\gamma_1 \cdot (p_1 - p_2))}}$$

jelöléssel:

$$(m \cdot a)_1 = \frac{C}{D^2 \cdot \left(1 + \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \right)^2}, \quad (m \cdot a)_2 = \frac{C}{D^2 \cdot \left(1 - \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \right)^2} \quad (1b)$$

Mivel $\Delta D/100$ 1-hez képest kis érték, az egyenletek jobboldala közelítőleg a következőképpen írható:

$$\frac{C}{D^2 \cdot \left(1 \pm \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \right)^2} \approx \frac{C}{D^2 \cdot \left(1 \pm 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \right)} \approx \frac{C}{D^2} \cdot \left(1 \mp 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \right)$$

és így, minthogy még a D szabvány-, illetőleg rajzméret szerinti belső csőát-mérőnek megfelelő $m \cdot a$ szorzat

$$m \cdot a = \frac{C}{D^2}, \quad (1c)$$

$$m_1 \cdot a_1 = m \cdot a \cdot \left(1 - 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \right), \quad m_2 \cdot a_2 = m \cdot a \cdot \left(1 + 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \right) \quad (1d)$$

Vagyis az $m \cdot a$ szorzat viszonylagos változása — ellenkező előjellel — kétszer akkora, mint a csőátmérőé.

Az $m = d^2/D^2$ összefüggés és az (1c) egyenlet alapján a nyílásátmérő négyzete:

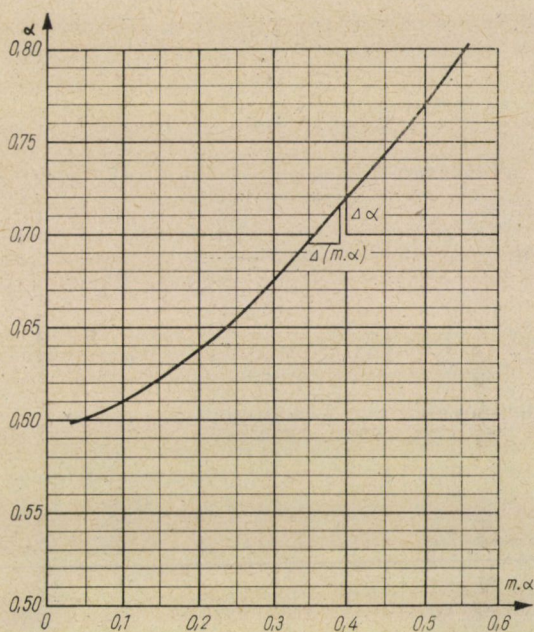
$$d^2 = m \cdot D^2 = \frac{C}{a}, \quad (2)$$

illetőleg a

$$d_1 = d \cdot \left(1 + \frac{\Delta \bar{d} \%}{100} \right), \quad d_2 = d \cdot \left(1 - \frac{\Delta \bar{d} \%}{100} \right)$$

megengedhető határértékek esetén:

$$d_1^2 = m_1 \cdot D_1^2 = \frac{C}{\alpha_1}, \quad d_2^2 = m_2 \cdot D_2^2 = \frac{C}{\alpha_2}. \quad (2a)$$



I. ábra. Szűkítőnyílás (rendes mérőperem, nyomásvétel a sarkokban) $\alpha = f_2(m \cdot a)$ görbéje

α_1 és α_2 értéke a vizsgált szűkítőnyílás $\alpha = f_2(m \cdot a)$ görbéje alapján határozható meg (1. és 3. ábra). Ha a D méretszerinti belső csőátmérőnek megfelelő $m \cdot a$ értéknél a differenciálhányados, illetőleg környékén a differenciálhányados értéke

$$\frac{d\alpha}{d(m \cdot a)} \approx \left[\frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot a)} \right],$$

akkor — mivel $m \cdot a$ és α kismértékű változását tétéleztük fel — az $m \cdot a$ változó

$$\mp m \cdot a \cdot 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100}$$

nagyságú változásának megfelelően

$$\Delta \alpha = \mp m \cdot a \cdot 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \cdot \left[\frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot a)} \right]$$

és a szélső értékei közelítőleg:

$$a_1 = a - m \cdot a \cdot 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \cdot \frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot \alpha)}, \quad (3a)$$

$$a_2 = a + m \cdot a \cdot 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \cdot \frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot \alpha)}.$$

$$a_1 = a \left[1 - m \cdot 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \cdot \frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot \alpha)} \right], \quad (3b)$$

$$a_2 = a \left[1 + m \cdot 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \cdot \frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot \alpha)} \right],$$

míg a megfelelő nyílásátmérők (a nyílásátmérő-határértékek) négyzetének értéke közelítőleg:

$$d_1^2 = \frac{C}{\alpha} \cdot \left[1 + m \cdot 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \cdot \frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot \alpha)} \right], \quad (4a)$$

$$d_2^2 = \frac{C}{\alpha} \cdot \left[1 - m \cdot 2 \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \cdot \frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot \alpha)} \right],$$

illetőleg (2) figyelembevételével, közelítőleg:

$$d_1 = d \cdot \left[1 + m \cdot \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \cdot \frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot \alpha)} \right], \quad (4b)$$

$$d_2 = d \cdot \left[1 - m \cdot \frac{\Delta \bar{D} \%}{100} \cdot \frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot \alpha)} \right].$$

A nyílásátmérő viszonylagos változása a belső csőátmérő adott eltérése esetén tehát:

$$\Delta \bar{d} \% = \pm \Delta \bar{D} \% \cdot m \cdot \frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot \alpha)}, \quad (5a)$$

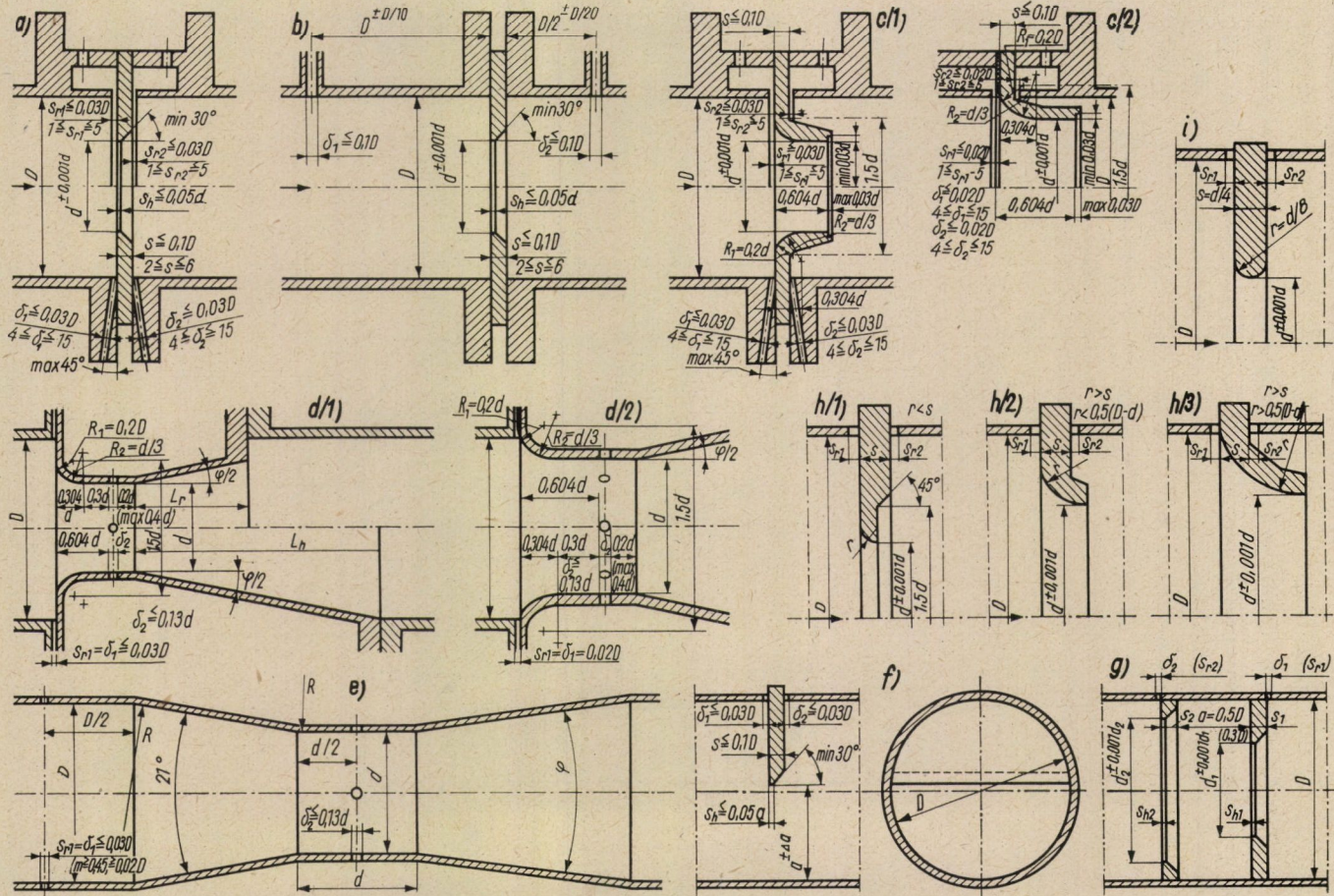
míg a belső csőátmérő megengedhető eltérése a nyílásátmérő adott tűrése esetén

$$\Delta \bar{D} \% = \pm \Delta \bar{d} \% \cdot \frac{1}{m \cdot \frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot \alpha)}} \quad (5b)$$

és a kettő viszonyzáma:

$$\frac{\Delta \bar{D} \%}{\Delta \bar{d} \%} = \frac{1}{m \cdot \frac{\Delta \alpha}{\Delta(m \cdot \alpha)}}. \quad (6)$$

A D belső csőátmérő megengedhető tűrése tehát a d nyílásátmérő adott tűrése esetén az m szűkítési viszony és a $\Delta \alpha / \Delta(m \cdot \alpha)$ differenciahányados szorzatától függ. Minthogy utóbbi adott szűkítőnyílására annál kisebb, minél kisebb

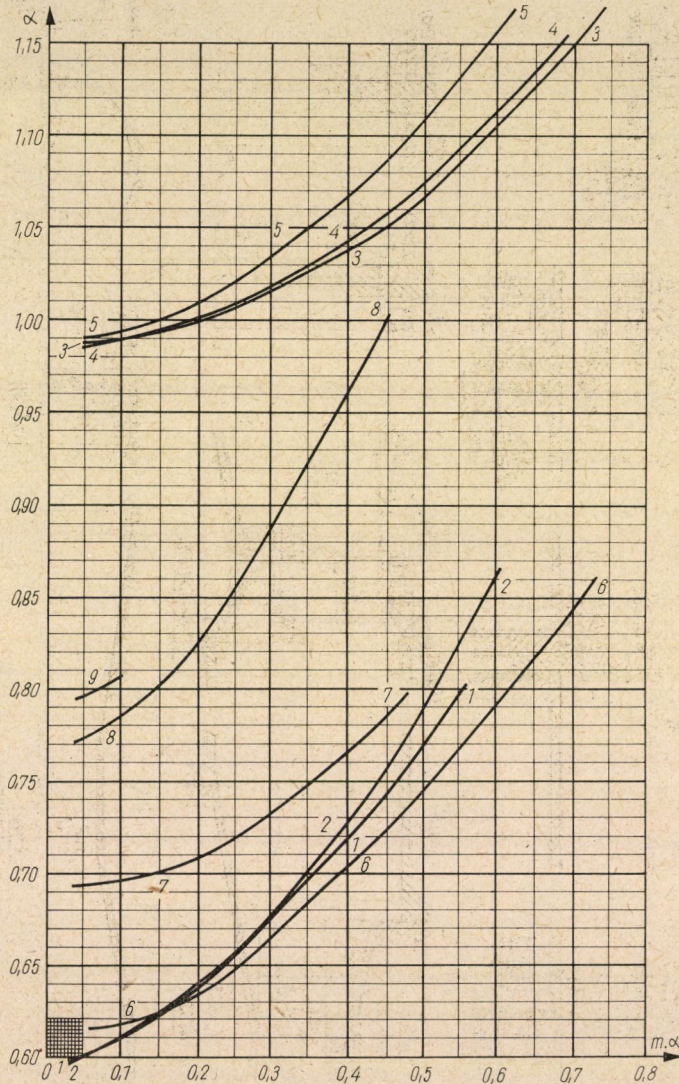


2. ábra. A vizsgált szűkítőnyílások: a — rendes mérőperem, nyomásvétel a sarkokban; b — rendes mérőperem, nyomásvétel D , ill. $D/2$ távolságban; c/1 és c/2 — rendes mérőtörök; d/1 és d/2 — mérőtörök alakú konfúzoros Venturi-mérő; e — kúpos Venturi-mérő; f — szegmens mérőperem; g — kettős mérőperem; h — negyedkörös mérőtörök; i — félkörös mérőtörök

MTA Műsz. Tud. Oszt. Kozl. 33. köv., 1964.

m értéke (lásd a 3. ábrát), D megengedhető eltérése annál nagyobb, minél kisebb az m szűkítési viszony értéke.

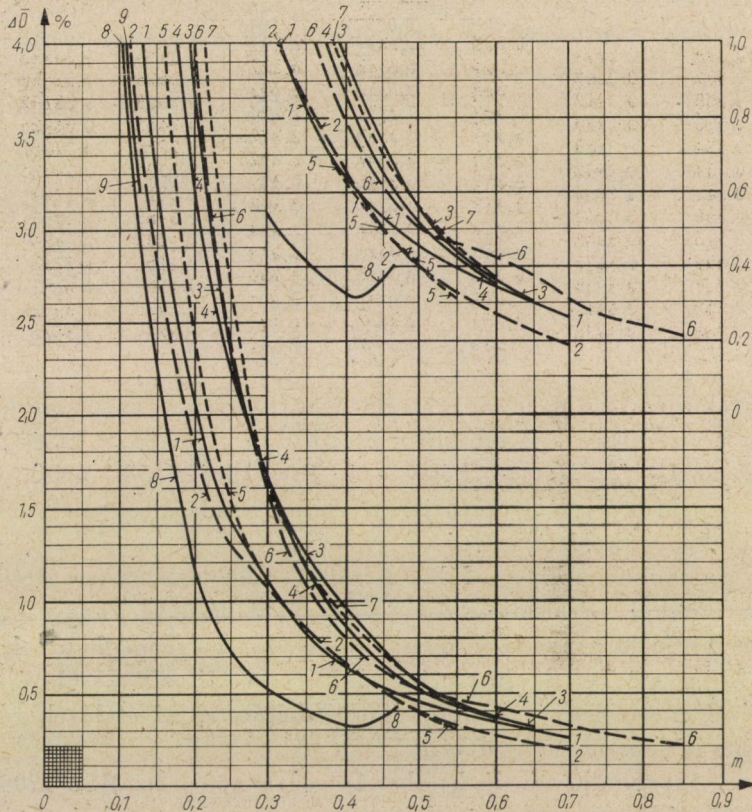
A $\Delta \bar{D}\%$ értékének számszerű meghatározásához, minthogy az $a = f_2(m \cdot a)$ függvény matematikailag nem, csak kísérleti eredmények alapján grafikusán ismeretes, a különböző m szűkítési viszonyokhoz tartozó $\Delta a / \Delta(m \cdot a)$ differenciahányadost kell meghatározni (ezért vettük idáig is ezt az egyenle-



3. ábra. Különböző szűkítőnyílások $a = f_2(m \cdot a)$ görbéje

Jelölések: 1 — rendes mérőperem, nyomásvétel a sarkokban; 2 — rendes mérőperem, nyomásvétel D és $D/2$ távolságban; 3 — rendes mérőtörök; 4 — Venturi-mérő, mérőtörök beömlésű; 5 — Venturi-mérő, kúpos; 6 — szegmens mérőperem; 7 — kettős mérőperem; 8 — negyedkörös mérőtörök; 9 — félkörös mérőtörök.

tekben a $da/d(m \cdot a)$ differenciálhányados helyett). A meghatározást úgy végeztük, hogy az m szűkítési viszony 0,05-onként (a félkörös mérőtorok esetén 0,025-enként) változó értékeit megszoroztuk a megfelelő a átfolyási számmal, majd kiszámítottuk a szomszédos értékek különbségével egyenlő Δa és $\Delta(m \cdot a)$ értékek² hányadosát, $\Delta a/\Delta(m \cdot a)$ -t, végül pedig a szomszédos értékek



4. ábra. A belső csőátmérő megengedhető szimmetrikus tűrése különböző szűkítőnyílások esetén a szűkítési viszony függvényében: $\Delta \bar{D}\% = f(m)$

Jelölések: 1 – rendes mérőperem, nyomásvétel a sarkokban; 2 – rendes mérőperem, nyomásvétel D és $D/2$ távolságban; 3 – rendes mérőtorok; 4 – Venturi-mérő, mérőtorok beömlésű; 5 – Venturi-mérő, kúpos; 6 – szegmens mérőperem; 7 – kettős mérőperem; 8 – negyedkörös mérőtorok; 9 – félkörös mérőtorok.

számítási közepeként a kiindulási m értékekhez tartozó differenciáhányadost. A számítás végeredménye a $\Delta \bar{D}\% = 0,1$ alapulvételével meghatározott $\Delta \bar{D}\% = \Delta \bar{D}_{eng}\%$ érték.

A számítást a kétféle rendes mérőperemre (nyomásvétel a sarkokban, ill. D és $D/2$ távolságban), rendes mérőtorokra, mérőtorok alakú konfúzoros Ven-

² A szélső Δa és $\Delta(m \cdot a)$ értékeket extrapolálással becsültük.

1. táblázat

A belső csőátmérő megengedhető tűrésének számítása rendes mérőperem (nyomásvétel a sarkokban) esetén

m	a	$m \cdot a$	$\Delta a =$ $= \alpha_{4+1} - \alpha_4$	$\frac{\Delta(m \cdot a) =}{(m \cdot a)_{4+1} - (m \cdot a)_4}$	$\frac{\Delta a}{\Delta(m \cdot a)}$	$\frac{\Delta a}{\Delta(m \cdot a)}$	$m \cdot \left[\frac{\Delta a}{\Delta(m \cdot a)} \right]_k$	$\Delta \bar{D}\%$
0,05	0,598	0,0299	(0,003)	(0,0297)	(0,101)	0,1165	0,00583	(17,14)
0,10	0,602	0,0602	0,004	0,0303	0,132	0,1628	0,01628	(6,14)
0,15	0,608	0,0912	0,006	0,0310	0,1936	0,2068	0,03102	3,225
0,20	0,615	0,1230	0,007	0,0318	0,220	0,2463	0,04926	2,03
0,25	0,624	0,1560	0,009	0,0330	0,2725	0,2825	0,07061	1,417
0,30	0,634	0,1902	0,010	0,0342	0,2925	0,3008	0,09024	1,108
0,35	0,645	0,2258	0,011	0,0356	0,309	0,351	0,1229	0,814
0,40	0,660	0,2640	0,015	0,0382	0,393	0,3955	0,1582	0,632
0,45	0,676	0,3042	0,016	0,0402	0,398	0,4185	0,1884	0,531
0,50	0,695	0,3475	0,019	0,0433	0,439	0,4465	0,2233	0,448
0,55	0,716	0,3938	0,021	0,0463	0,454	0,466	0,2563	0,390
0,60	0,740	0,4440	0,024	0,0502	0,478	0,4925	0,2955	0,338
0,65	0,768	0,4992	0,028	0,0552	0,507	0,527	0,3426	0,292
0,70	0,802	0,5614	0,034	0,0622	0,547	0,5645	0,3952	0,253
			(0,042)	(0,0722)	(0,582)			

turi-mérőre, kúpos Venturi-mérőre, szegmens mérőperemre, kettős mérőperemre, negyedkörös mérőtorokra és félkörös mérőtorokra végeztük el (2. és 3. ábra).³ A vonatkozó $\Delta \bar{D}\% = f(m)$ görbéket a 4. ábra tünteti fel. Azonkívül az 1. táblázatban példaképpen bemutatjuk a számítás adatait rendes mérőperem (nyomásvétel a sarkokban) esetén.

A görbék menete hiperbolához hasonló, amelynek aszimptotái a koordinátatengelyekkel párhuzamosak. Az ábrából látható, hogy mindegyik vizsgált szűkítőnyílás esetén a belső csőátmérő megengedhető eltérésének értéke a $\Delta \bar{D}\% \approx 0,5$ érték alatt már csak keveset változik a szűkítési viszony növekedtével. Ez az érték — a negyedkörös mérőtorok kivételével — $m = 0,5$ körüli szűkítési viszonyhoz tartozik.

Ha a 4. ábrába berajzoljuk a belső csőátmérőnek az MSZ 1709 szerinti tűréseit, láthatjuk, hogy a megfelelő két egyenes ($m \leq 0,3$ és $\pm 2,0\%$, ill. $m > 0,3$ és $0,5\%$) nem felel meg egyik szűkítőnyílás esetén sem. Például rendes mérőperem (nyomásvétel a sarkokban) esetén ha $m \geq 0,47$, már szigorúbb tűrés szükséges, míg ha $m < 0,2$, a belső csőátmérő nagyobb eltérése is megengedhető.

Ha $\Delta d\%$ nem $0,1\%$, $\Delta \bar{D}\%$ leolvasott értékét arányosan át kell számítani (pl. $\Delta d\% = 0,05$ esetén $\Delta \bar{D}\%$ értéke is féllakkora lesz).

A szegmens mérőperemmel kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy bár itt a nyílásátmérőnek nincs értelme, a számítási eljárás mégis minden

³ Az MSZ 1709 szerinti szabványos szűkítőnyílásokra (rendes mérőperem a sarkokban, ill. D és $D/2$ távolságban levő nyomásvétellel, rendes mérőtorok, Venturi-mérő mérőtorok alakú konfuzorral és kúpos Venturi-mérő) m és a értékeit a szabványból vettük, szegmens mérőperemre [2] és [3], kettős mérőperemre [3], a negyedkörös mérőtorokra [4] és (3), míg félkörös mérőtorokra (5) adatait használtuk; utóbbiakat a megrajzolt $a = f_1(m)$ görbe alapján.

további nélkül alkalmazható ebben az esetben is. Ugyanis ha ekkor nem is áll az $m = d^2/D^2$ egyenlet, továbbra érvényes az $m = f/F$ egyenlet. Az a körülmény pedig, hogy a koncentrikus szűkítőnyílások esetén a nyílásátmérő tűrése bizonyos előírt érték ($\pm 0,1\%$), egyértelmű azzal, hogy a szűkítőnyílás legkisebb keresztmetszetének, f -nek a tűrése ennek kétszerese ($\pm 0,2\%$), továbbá az (5b) egyenlet alapján ugyanaz az összefüggés érvényes az F -fel arányos D^2 mennyiség eltérése és az f -fel arányos d^2 mennyiség eltérése között.⁴ Így nyilvánvaló, hogy szegmens mérőperem esetén is a számított $\Delta \bar{D}\%$ tűrés az az érték, amelynek megfelelő felső és alsó határértékkel számított nyílás-keresztmetszetek (f_1 és f_2) a méretmegadás szerinti D belső csőátmérővel számított f értéktől a megengedett $\pm 0,2\%$ eltéréssel különböznek. Ha bevezetjük a

$$d_{id} = \sqrt{m} \cdot D = \sqrt{f/F} \cdot D \quad (7)$$

egyenlettel értelmezett *egyenértékű nyílásátmérőt*, nyilvánvaló, hogy a belső csőátmérőnek az előzők szerint értelmezett felső és alsó határértékével számított d_{id} értékek a méretmegadás szerinti D értékkel számított d_{id} értéktől $\pm 0,1\%$ -kal térnek el.

A szegmens mérőperemmel kapcsolatban ki kell térnünk az a nyílás-magasság tűréseire is. Ennek az előzők alapján akkorának kell lennie, hogy a felső és alsó határértékével számított nyíláskeresztmetszetek az a mértani értékével számított f nyíláskeresztmetszettől $\pm 0,2\%$ -kal térjenek el, illetőleg a megfelelő d_{id} értékek a mértani értékéhez tartozó d_{id} értéktől $\pm 0,1\%$ -kal. Ezért a $\Delta \bar{a}\% / \Delta \bar{d}_{id}\%$ viszonyszámot kell meghatároznunk ($\Delta \bar{d}_{id}\% = 0,1$).

A nyílásmagasság és a legszűkebb keresztmetszet összefüggését az

$$f = \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \arccos\left(1 - 2\frac{a}{D}\right) - 2\left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot \left(1 - 2\frac{2}{D}\right) \cdot \sqrt{\frac{a}{D} - \left(\frac{a}{D}\right)^2}, \quad (8)$$

illetőleg az

$$m = \frac{1}{\pi} \cdot \left[\arccos\left(1 - 2\frac{a}{D}\right) - 2\left(1 - 2\frac{a}{D}\right) \cdot \sqrt{\frac{a}{D} - \left(\frac{a}{D}\right)^2} \right] \quad (9)$$

egyenletek adják meg. A $\Delta \bar{a} / \Delta \bar{d}_{id}$ viszonyszám meghatározásához először a

⁴ Ugyanis mivel

$$\frac{d^2 \left(1 \pm \frac{\Delta \bar{d}\%}{100}\right)^2}{D^2 \left(1 \pm \frac{\Delta \bar{D}\%}{100}\right)^2} = \frac{d^2 \left(1 \pm \frac{2\Delta \bar{d}\%}{100}\right)}{D^2 \left(1 \pm \frac{2\Delta \bar{D}\%}{100}\right)},$$

a megfelelő eltérések viszonyszáma:

$$\frac{2 \Delta \bar{d}\%}{2 \Delta \bar{D}\%} = \frac{\Delta \bar{d}\%}{\Delta \bar{D}\%}.$$

$\frac{d(a/D)}{d(d_{id}/D)}$ differenciálhányadost kell kiszámítanunk. Ha ugyanis utóbbit megsorozzuk a $\frac{d_{id}/D}{a/D}$ viszonyszámmal, (közelítőleg) megkapjuk $\Delta\bar{a}/\Delta\bar{d}_{id}$ illetőleg ha $\Delta\bar{d}_{id} = 0,001, 10^3 \cdot \Delta a$ értékét:

$$\begin{aligned} \frac{d(a/D)}{d(d_{id}/D)} \cdot \frac{d_{id}/D}{a/D} &\approx \frac{\Delta(a/D)}{\Delta(d_{id}/D)} \cdot \frac{d_{id}/D}{a/D} = \frac{\Delta a}{\Delta d_{id}} \cdot \frac{d_{id}}{a} = \\ &= \frac{\Delta a/a}{\Delta d_{id}/d_{id}} = \frac{\Delta\bar{a}}{\Delta\bar{d}_{id}} = 10^3 \cdot \Delta\bar{a}. \end{aligned} \quad (10)$$

$$\frac{d(d_{id}/D)}{d(a/D)} \text{ helyett közvetlenül } \frac{d(a/D)}{d(d_{id}/D)}$$

értékét tudjuk meghatározni, ha a (9) egyenlet mindkét oldalából négyzetgyököt vonunk (mértilag csak a + előjelnek van értelme):

$$d_{id}/D = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \cdot \left[\arccos \left(1 - 2 \frac{a}{D} \right) - 2 \left(1 - 2 \frac{a}{D} \right) \cdot \sqrt{\frac{a}{D} - \left(\frac{a}{D} \right)^2} \right]^{1/2}, \quad (9a)$$

majd differenciálunk, amikor az egyszerűsítések után lesz:

$$\frac{d(d_{id}/D)}{d(a/D)} = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\sqrt{a/D - (a/D)^2}}{d_{id}/D} \quad (9b)$$

és mint inverz függvényre — mivel a gyakorlati értelmezési tartományban ($0 < a/D < 1$) $d(d_{id}/D)/d(a/D)$ sehol sem zérus:

$$\frac{d(a/D)}{d(d_{id}/D)} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{d_{id}/D}{\sqrt{a/D - (a/D)^2}}. \quad (9c)$$

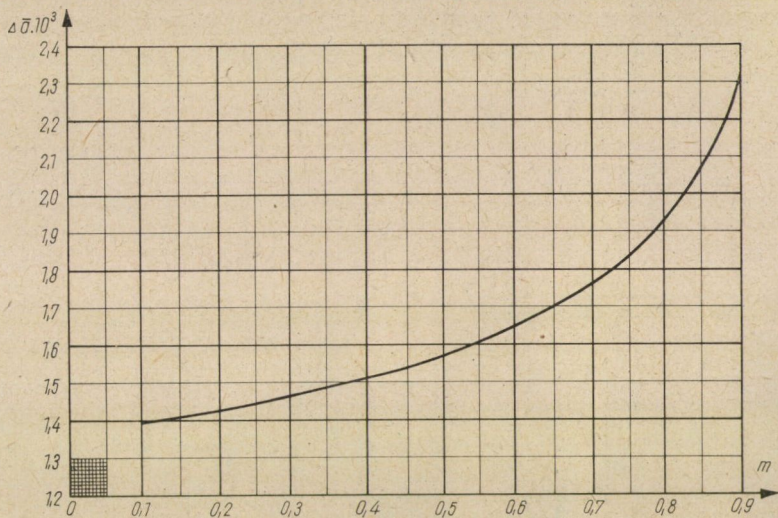
A számítás eredményeképpen a $10^3 \cdot \Delta\bar{a} = f(m)$ görbét az 5. ábrában tüntettük fel. Látható, hogy $\Delta\bar{a} = \Delta\bar{a}_{eng}$ értéke nagyobb, körülbelül másfélszer-kétszer akkora, mint $\Delta\bar{d}_{id}$ értéke.

Fel kell hívnunk a figyelmet azonban arra, hogy amíg koncentrikus szűkítőnyílások esetén a nyílásátmérő és a belső csőátmérő előírt tűréseivel — és a többi feltételek kielégítésével — a mérés megfelelő pontossága biztosítva van, addig szegmens mérőperem esetén a nyílásmagasság és a belső csőátmérő előírt tűréseinek megtartása még nem elegendő. A nyílás keresztmetszetét a nyílásmagasság ugyanis egymagában nem határozza meg, hanem ez függ a csőkeresztmetszet tényleges alakjától is.⁵

Az alkalmazott számítási eljárás két feltevésen alapszik: az egyik az, hogy nem csupán a $\pm \Delta\bar{d}$, de a $\pm \Delta\bar{D}$ eltérés értéke is kicsi, a másik pedig az,

⁵ Ezen nem segít az sem, ha a nyílás alsó részét tűrésezett körívdarabbal határoljuk, mert ha a tényleges csőkeresztmetszet ennél tágasabb, örvényleválások okoznak járulékos mérési hibát, ha pedig szűkebb, hiábavaló a körív alkalmazása.

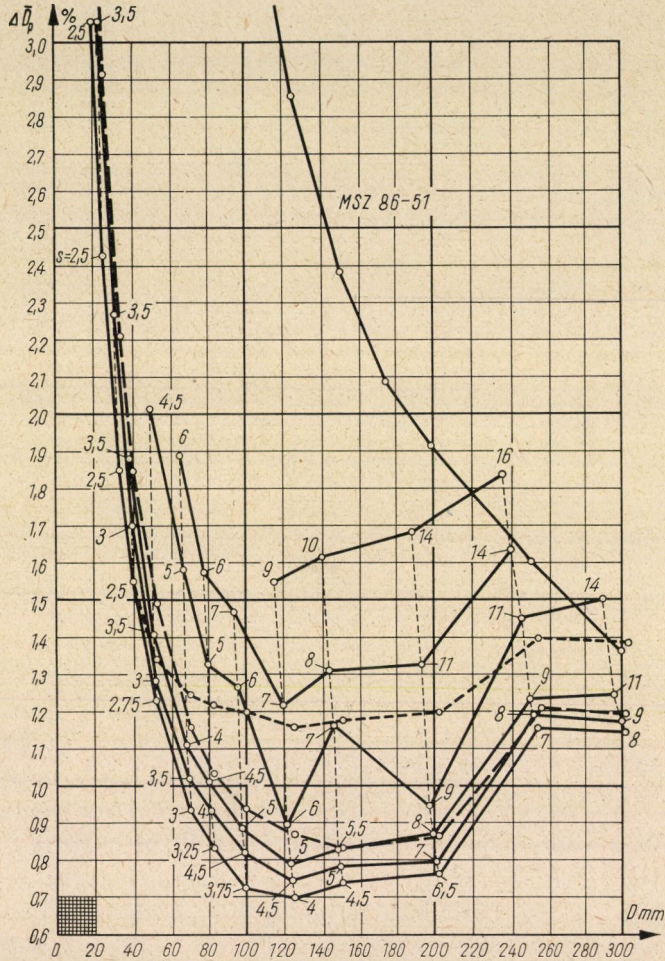
hogy a belső csőkeresztmetszet az átmérő felső és alsó határértéke között is megtartja pontos köralakját. Az első feltétel azt jelenti, hogy $\Delta \bar{D} \%$ ilyen módon számított értéke csupán néhány százalékig (3—4%) tekinthető megbízhatónak, míg a kis szűkítési viszonyok esetén adódó igen nagy értékek csupán tájékoztatásra alkalmasak. A gyakorlatban azonban ezek a nagy értékek úgyszólván lényegesen meghaladják a belső csőátmérőnek a szabványok alapján meghatározható (ill. nem szabványos csövek esetén a szokásos) tűrését.



5. ábra. Szegmens mérőperem nyílásmagasságának megengedhető szimmetrikus tűrése a szűkítési viszony függvényében: $\Delta a \cdot 10^3 = f(m)$

A második követelmény azonban gyakorlatilag általában nincs kielégítve, kivéve a belül megmunkált szabatos csőtoldatok alkalmazásakor, amelyek kis csőátmérő, tehát általában negyedkörös és félkörös mérőtorok alkalmazása esetén szükségesek. Hogy milyen a belső csőfelület pontos alakja, az általában csak a szűkítőnyílás felszerelése előtt állapítható meg. Ha a csővezeték tényleges belső átmérőjét bizonyos hosszúságú szakaszon úgy értelmezzük, mint a szakasz különböző helyein, különböző irányokban mért átmérők számtani közepét, akkor először is nyilvánvaló, hogy ennek az értéknek D az előzők szerint számított megengedhető felső és alsó határán belül kell lennie. Azonkívül a mért átmérők ettől való eltérésének nem szabad bizonyos értéket meghaladnia. Hogy az utóbbi mekkora, számítási eljárással nem határozható meg. Valószínű azonban, hogy még egyszerű nyomásvétel esetén is a számítási eljárásunkban alapul vett mérési pontosságon belül maradnak, ha az eltérések a mért csőátmérők D számított felső és alsó határa között vannak, míg gyűrűkamrás nyomásvétel esetén esetleg a számtani közepőtől való nagyobb eltérés is megengedhető.

Hegesztett nem szabványos csövek és belül méretre megmunkált szabatos csőtoldatok esetén a belső csőátmérő szükséges tőrését a 4. ábra alapján írhatjuk elő. Szabványos csövek alkalmazásakor viszont az ábra alapján ellenőriznünk kell a belső csőátmérőnek a szabvány szerint megengedett tőrését. Sajnos a magyar szabványok csak szabatos húzott acélesövekre adják meg



6. ábra. Az MSZ 123-52, 124-52, 13126-52 és 125-52 szerinti vezetékcövek belső átmérőjének számított valószínű szimmetrikus tőrésai kalibrált csővégen (összehasonlításként normál falvastagságú nem kalibrált végű minőségi acél vezetékcövek és az MSZ 86-51 szerinti öntöttvas nyomócsövek belső átmérőjének számított valószínű szimmetrikus tőrése)

Jelölések:

- — — — — az MSZ 123-52 szerinti ker. minőségű acél vezetékcövek kalibrált csővéggel;
- az MSZ 124-52, 13126-52, 125-52 szerinti minőségi acél vezetékcövek kalibrált csővéggel (NÁ-nként a növekvő falvastagságra vonatkozó értékek vannak vékony szaggatott vonallal összekötve);
- normál falvastagságú, nem kalibrált végű minőségi acélesövek;
- az MSZ 86-51 szerinti öntöttvas nyomócsövek.

közvetlenül a belső csőátmérő tűrését, más csövekre csupán ennek *valószínű* értékét számíthatjuk ki a külső csőátmérő tűrése és a falvastagság tűrése alapján. Mivel ugyanabban az átmérőben a falvastagság eltérése a mértani értéktől különböző lehet, a *belső csőátmérő valószínű tűrését* a következő egyenlet adja meg:

$$\Delta D_p = \pm \sqrt{(\Delta \bar{D}_k)^2 + 2(\Delta s)^2}, \quad (11)$$

míg a számított valószínű tűrés százalékos értéke:

$$\Delta \bar{D}_p \% = 100 \cdot \Delta D_p / D. \quad (11a)$$

A belső csőátmérő valószínű százalékos tűrését kiszámítottuk az MSZ 123—52, 124—52, 13126—52 és 125—52 szerinti vezetékcsővekre, valamint az MSZ 122—52 szerinti menetes vezetékcsővekre, rendes (nem kalibrált) és kalibrált csővégekkel is. Utóbbi esetben a külső csőátmérő tűrése kisebb, és ennek megfelelően kisebb a belső csőátmérő számított valószínű tűrése is. A különböző vezetékcsővekre $\Delta \bar{D}_p \%$ értékét a névleges csőátmérő (NÁ) függvényében a 6. és 7. ábrában tüntettük fel. A rendes és a kalibrált csővégek okozta különbségen kívül az ábrákban látható a falvastagságnak a $\Delta \bar{D}_p \%$ értékét növelő hatása, különösen, ha s a „rendes” értékénél nagyobb, amikor tűrése is lényegesen nagyobb. Mivel a menetes vezetékcsővek (acélcsővek) falvastagsága nagyobb a megfelelő rendes (nem „menetes”) vezetékcsővekéénél, ez a megállapítás vonatkozik ezekre is.

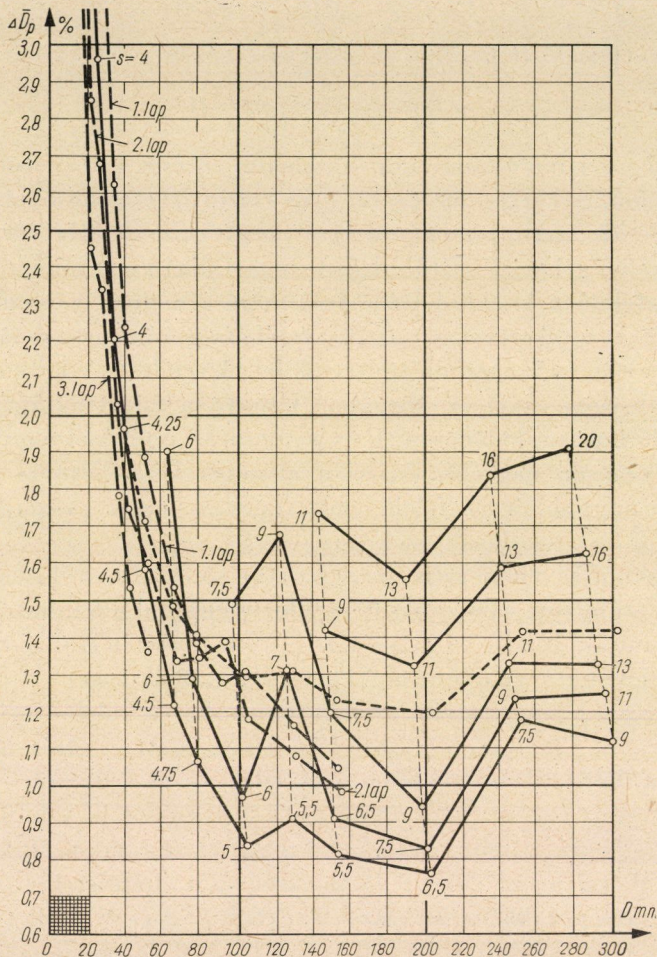
Az ábrákból kivehető az is, hogy ha a belső csőátmérő kisebb körülbelül 70 mm-nél, a számított valószínű eltérése hirtelenül megnő mindegyik csőfajta esetén. Ezért indokolt a DIN 1952-nek $D < 70$ mm esetén szabatos csőtoldatok alkalmazására vonatkozó ajánlása ([1], 14. o., 1.52 szakasz).

Megjegyezzük, hogy olyan esetekben, amikor a külső átmérő megengedett eltérését nem a mértani mérethez képest megadott \pm tűrés, hanem a mértani mérethez képest nem szimmetrikus felső és alsó határérték határozza meg, a belső csőátmérő valószínű tűrésének számításában a külső csőátmérő mértani méreteként a felső és az alsó határérték számtani középértékét, \pm tűrésként pedig utóbbinak az előbbiektől való eltérését kell tekintenünk. Ez a helyzet a legutóbb — az előző MSZ 120—52 és MSZ 121—52 gázcső-szabványok helyett kiadott MSZ 120—60, 1, 2. és 3. lap szerinti menetes acélcsővek esetén is. Hasonlóan járhatunk el, ha a falvastagság szabvány szerinti tűrése nem szimmetrikus.

Az MSZ 86—51 szerinti öntöttvas nyomócsövek külső csőátmérő tűrése szintén aszimmetrikus. Ezért alkalmazásukkor a belső csőátmérő valószínű tűrésének számításában a külső csőátmérőt és tűrését hasonlóan kell átszámítani, mint az MSZ 120—60 szerinti acélcsővek esetén. A belső csőátmérő valószínű tűrésére ily módon kiadódó értékek — igen nagy átmérőjű csövek kivételével — oly nagyok (lásd a 6. ábrát), hogy ha szűkítőnyíláshoz öntöttvas csődarabokat

kell csatlakoztatni, belső átmérőjükre külön tűrést kell előírni a 4. ábra alapján.

Az MSZ 2898—52 és MSZ 2899—52 szerinti varrat nélküli hidegen vont szabatos acélsövek átmérőjének és tűrésének értéke (mm-ben) a szabványokban megtalálható. A sokféle átmérő- és falvastagság-érték miatt a közlést itt



7. ábra. Az MSZ 120—60 1., 2. és 3. lap szerinti menetes acélsövek, valamint az MSZ 122—52 szerinti kalibrált végű menetes vezetéksövek belső átmérőjének számított valószínű szimmetrikus tűrése (összehasonlításként az MSZ 122—52 szerinti normál falvastagságú, nem kalibrált végű menetes vezetéksövek belső átmérőjének számított valószínű szimmetrikus tűrése)

Jelölések:

- az MSZ 120—60 1. lap szerinti vastag falú, a 2. lap szerinti normál falú, és a 3. lap szerinti vékony falú menetes acélsövek;
- az MSZ 122—52 szerinti menetes acélsövek kalibrált csővéggel (NÁ-nként a növekvő falvastagságra vonatkozó értékek vannak vékony szaggatott vonallal összekötve);
- az MSZ 122—52 szerinti normál falvastagságú menetes acélsövek nem kalibrált csővéggel.

mellőzzük. Adott esetben a mm tűrésből a százalékos érték a 4. ábrabeli $\overline{\Delta D}\%$ értékkel való összehasonlításhoz könnyen kiszámítható.

Az MSZ 12958—55 szerinti körkeresztmetszetű könnyű lemezcsővek esetén a szabvány a külső átmérőre 0 és — tűrést ad meg. A közepes külső átmérőt és a \pm tűrést az előzőkhöz hasonlóan határozhatjuk meg. A falvastagság tűrése az alkalmazott lemeztől függ. Minthogy azonban a falvastagság az átmérőhöz képest kicsi, a falvastagság tűrésének hatása a belső csőátmérő valószínű tűrésére csekély, általában utóbbi 5%-nál kisebb mértékben nagyobb a külső csőátmérő tűrésénél. Adott esetben leghelyesebb a szűkítőnyíláshoz csatlakozó csővégek belső csőátmérőjére a külső csőátmérő tűrésének megfelelő \pm tűrést előírni, vagy szükség esetén szigorúbbat.

Végeredményben az ábrából megállapíthatjuk, hogy a szabványos vezetékcsövek belső átmérőjének számított valószínű tűrése csak kis szűkítési viszonyok esetén felel meg, közepes m értékek esetén legfeljebb kalibrált csővégekkel (ha ilyent a szabvány ismer). Ezért szűkítőnyílások felszerelési helyén feltétlenül kalibrált csővégeket kell előírni. Azonkívül lehetőleg kerülni kell az ugyanakkora névleges nyomás esetén nagyobb falvastagságú menetes acélcsővek alkalmazását. Az MSZ 120—60 szerinti menetes acélcsővekre ez annál inkább is vonatkozik, mert ez a szabvány nem ismeri a csővégek kalibrálását. Az előzőkből következik az is, hogy nagyobb névleges nyomás esetén előnyösebb nagyszilárdságú acélcsővek alkalmazása, feltéve, hogy ez a falvastagság csökkenésével jár.

Másrészt azonban azt sem szabad elfelejtenünk, hogy a belső csőátmérő számított valószínű tűrése egyáltalán nem bizonyos, hogy megegyezik a mérések alapján statisztikailag megállapítható valószínű eltéréssel. Sajnos utóbbira rendszeres eredmények nem állanak rendelkezésre; egyes gyér adatok alapján lehetséges, hogy ez jóval kisebb. Azonban valószínűleg sok mérés eredménye sem hozná a helyzet lényeges megváltozását.

Végül a következőket jegyezzük meg. Idáig a vonatkozószakkönyvekben csak általánosságban állapították meg, hogy kisebb szűkítési viszony esetén a kivitelezési pontatlanságok, a szűkítőnyílásokra vonatkozó szabvány előírásaitól való eltérések kisebb járulékos mérési hibát okoznak, mint nagyobb érték esetén. Egyes szerzők m csökkentésének ezt az előnyét túlértékelték a növelésével járó más előnnyel, a nyomásvesztés csökkenésével szemben (lásd pl. [6]). Az ismertetett eljárás fontos eredménye, hogy adott esetben ha a belső csőátmérő valószínű vagy gyakorlatilag elérhető tűrése bizonyos értékű, lehetővé teszi az ennek megfelelő legnagyobb szűkítési viszony szám szerű meghatározását, és így kiegészíti a kis nyomásvesztést okozó szűkítőnyílások méretezési eljárását (lásd pl. [7]).

FÜGGELÉK

Alkalmazott jelölések és mértékegységek

Jelölés	Mértékegység	Megnevezés
a	mm	szegmens mérőperem nyílásának magassága
$\pm \Delta a$	mm	a megengedhető szimmetrikus eltérése, $\Delta a = \Delta a_{eng}$
$\pm \Delta \bar{a}$	—	$\pm \Delta a/a$
$\pm \Delta \bar{a}\%$	%	$\pm 100 \cdot \Delta a/a$
d	mm	tengelyszimmetrikus szűkítőnyílás legszűkebb keresztmetszetének átmérője, röviden nyílásátmérő, D -vel számítva
d_{id}	mm	egyenértékű nyílásátmérő, ha f nem körkeresztmetszet: $d_{id} = \sqrt{m \cdot D} = \sqrt{f/F} \cdot D$
d_1	mm	d -nek D_1 -gyel számított értéke: $d + \Delta d$
d_2	mm	d -nek D_2 -vel számított értéke: $d - \Delta d$
d^*	mm	d -nek D_p -vel számított értéke
$\pm \Delta d$	mm	d megengedhető (előírt) szimmetrikus tűrése: $\pm \Delta d = \pm \Delta d_{eng}$; általában $\pm \Delta d = \pm 0,001d$
$\pm \Delta d_{id}$	mm	d_{id} megengedhető (előírt) szimmetrikus tűrése: $\pm \Delta d_{id} = \pm 0,001d_{id}$
$\pm \Delta \bar{d}$	—	$\pm \Delta d/d$
$\pm \Delta \bar{d}\%$	%	$\pm 100 \cdot \Delta d/d$
D	mm	a belső csőátmérő szabvány- vagy rajzméret szerinti értéke
D_k	mm	a külső csőátmérő szabvány- vagy rajzméret szerinti értéke
D_p	mm	D tényleges (közepes) értéke
D_1	mm	D felső határértéke: $D + \Delta D$
D_2	mm	D alsó határértéke: $D - \Delta D$
$\pm \Delta D$	mm	D -nek a mérés szempontjából megengedhető (számított) tűrése: ΔD_{eng}
$\pm \Delta \bar{D}$	—	$\pm \Delta D/D$
$\pm \Delta \bar{D}\%$	%	$\pm 100 \cdot \Delta D/D$
$\pm \Delta D_k$	mm	D_k megengedett (előírt) szimmetrikus tűrése
$\pm \Delta D_p$	mm	a belső csőátmérő számított valószínű tűrése
$\pm \Delta \bar{D}_p\%$	%	$\pm 100 \cdot \Delta D_p/D$
f	m ²	a szűkítőnyílás legkisebb keresztmetszete; körkeresztmetszet esetén: $f = d^2 \pi/4$
F	m ²	a csővezeték belső keresztmetszete: $D^2 \pi/4$
K_c	—	az összenyomhatósági helyesbítő tényező
K_t	—	a csőerdességi helyesbítő tényező
K_{el}	—	az éltompulási helyesbítő tényező
K_R	—	$K_\eta \cdot K_t \cdot K_{el} \cdot K_f$
K_f	—	a hőmérsékleti (hőtágulási) helyesbítő tényező
K_η	—	a viszkozitási helyesbítő tényező
m	—	szűkítési viszony: f/F ; körkeresztmetszetű szűkítőnyílás esetén $m = d^2/D^2$
p_1	kp/m ²	abszolút nyomás a szűkítőnyílás előtti nyomásvétel helyén
p_2	kp/m ²	abszolút nyomás a szűkítőnyílás kisnyomású megcsapolása helyén
$p_1 - p_2$	kp/m ²	mérőnyomás (hatónyomás) a szűkítőnyílásban
Q	m ³ /6	a csővezetéken az időegységben (óránként) átáramló folyadék térfogata („menyisége”)
s	mm	a cső falvastagságának szabvány- vagy rajzméret szerinti értéke
$\pm \Delta s$	mm	a csőfalvastagság megengedett (előírt) szimmetrikus tűrése
a	—	az átfolyási szám
Δa	—	az $a = f_2(m \cdot a)$ függvény differenciahányadosa az $(m \cdot a; a)$ pont környékén
$\Delta(m \cdot a)$	—	
γ_1	kp/m ³	az áramló folyadék fajsúlya a szűkítőnyílás előtt
ϵ	—	az expanziós szám

IRODALOM

1. DIN 1952. VDI-Durchflussmessregeln. Regeln für die Durchflussmessung mit genormten Düsen, Blenden und Venturidüsen. 6. Ausgabe, 1948, Deutscher Ingenieur-Verlag GMBH, Düsseldorf.
2. LOHMANN, H.: Segment-Blenden zur Messung fließender Stoffe in geschlossenen Rohrleitungen, *ATM V1241*—5. Dezember 1938, T155, T156.
3. Миронов, К. А.—Шупетин, Л. И., ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, МОСКВА 1954.
4. Koennecke, W.: Neue Düsenformen für die Durchfluss-Messung bei kleinen und mittleren Reynoldszahlen, *ATM V1242*—2, Januar 1939, T2—T4.
5. Koennecke, W.: Durchfluss-Messung mit Drosselgeräten bei kleinen Reynoldszahlen, *ATM V1242*—1. November 1938, T141, T142.
6. HENNING, F.: Grundlagen und Praxis der Mengenstrommessung, Deutscher Ingenieur-Verlag GMBH, Düsseldorf 1954.
7. VASY GÉZA: Kis nyomásvesztést okozó mérőperemek méretezése, *Mérés és Automatika* (1958), 158—163.

FOGASKERÉKHAJTÁSOS BERENDEZÉSEK TORZIÓSLENGÉSI ÖNLENGÉSSZÁMAINAK MEGHATÁROZÁSA

BALOGH ARTHUR

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1962. április 16-án]

Dieselmotorokat és turbinákat nem minden esetben használhatunk közvetlen hajtáshoz a kapcsolt berendezések kedvező fordulatszámának felhasználása miatt. Áttételeket kell közbeiktatni, éspedig fogaskereket, amelyek azonban már oly méretűek, hogy tehetetlenségi nyomatékaikat nem lehet elhanyagolni. A fogaskerekek megváltoztatják a rendszer torziós önlengésszámait. Tanulmányunkban ezen önlengésszámok meghatározásával foglalkozunk. A számos hajtási lehetőség közül a leggyakoribbakat szemeltük ki. A számításokban mindenütt az általunk bevezetett eljárást alkalmaztuk, amelynek lényege, hogy felírjuk azt az algebrai egyenletet, amelynek gyökeiből az önlengésszámokat kiszámíthatjuk.

I. Bevezetés

A dieselmotorok térfoglalása a vontatásnál azzal az előnnyel jár, hogy hajtáshoz szükség szerint több kisebb, de egyenlő teljesítményű egységet lehet alkalmazni. Ezek együttes működésükkel a kívánt maximális teljesítményt adják le, de a terhelés csökkenésével — kapcsoló berendezések közbeiktatásával — egy vagy több egységet ki lehet iktatni, mialatt a többi egység üzemben marad és a leggazdaságosabb viszonyok közepette dolgozik. Az ilyen közös hajtási rendszerekhez fogaskerekeket kell használni. Ezen elrendezéssel azok az előnyök járnak, amelyek a motorok felemelt fordulatszámának használatával jelentkeznek. A motor üzemi fordulatszámának felemelésével a géprendszer könnyebb lesz és kevesebb helyet foglal el, ami éppen a vontatások bármely neménél nem eléggé méltányolandó szerepet játszik. Ezzel nemcsak a beszerzési, a szerelési és a felújítási költségek csökkennek, hanem a vontatóknál a motorok által elfoglalt térfogat is lényegesen csökken, amit azután más hasznosabb célokra lehet felhasználni. Ezek a körülmények főleg hajók vontatásakor játszanak fontos szerepet.

Az ilyen elrendezések fenntartása, a tartalékalkatrészek beszerzése és tárolása kisebb költséggel jár, és az ezekkel kapcsolatos felújítási és szerelési költségek is csökkennek.

A következőkben néhány, fogaskerék-hajtásos rendszer torzióslengéssel kapcsolatos önlengésszámát fogjuk kiszámítani.

Általános fogaskerék elrendezésből indulunk ki és ebből néhány különleges esetre is ismertetjük a számítás menetét. Ezen számítási módszer helyes-

ségének ellenőrzésére az egyes különleges eseteknél a direkt levezetéseket is ismertetjük az eredmények összehasonlítása céljából.

Már a tervezésnél arra kell törekedni, hogy a veszélyes kritikus torziós-lengés önlengésszámai az összes üzemi fordulatszámok felett kellő távolságban legyenek, mert ha ez sikerül — ami legtöbbször egyszerű konstrukciós beavatkozást kíván —, mindennemű lengéscsillapítás elmarad. Ebből a szempontból sokat lehet az áttételek megfelelő méretezésével és a kerek tehetetlenségi nyomatékának változtatásával a feladat megoldásához közeledni.

Az önlengésszámok kiszámításához felírjuk a mozgás egyenleteit és ezekből vezetjük le a végeredményt. E módszer révén olyan algebrai egyenlethez jutunk, amelynek gyökeiből az önlengésszámokat kiszámíthatjuk. Megjegyezni kívánjuk, hogy ilyen áttételes megoldásokat turbinahajtásoknál is kell használni, hogy ezzel a csavar helyes fordulatszámát elérhessük.

2. Jelölések

I a tömeg tehetetlenségi nyomatéka, kpcmsec^2 ;
 f a csavarási szög;
 c a merevségi tényező, kpcm ;
 P a fogaskerék osztókörén jelentkező kerületi erő, kp ;
 R, r a fogaskerék osztókör sugara, cm ;
 s a kerék áttétele;
 w a körfrekvencia, sec^{-1} ;
 p az amplitúdó, cm ;
 t az idő, sec .

3. A fogaskerékajtás általános elrendezése öt tengellyel

A kitűzött feladat megoldására oly elrendezést választunk, amely, ha nem is felel meg a gyakorlatban szokásosnak, de alkalmas arra, hogy különleges esetek megoldásakor felhasználjuk és utóbbiakra a szükséges módosított levezetéseket elvégezzük.

A kiinduláshoz négyszeres fogaskerékrendezést használunk öt tengellyel.

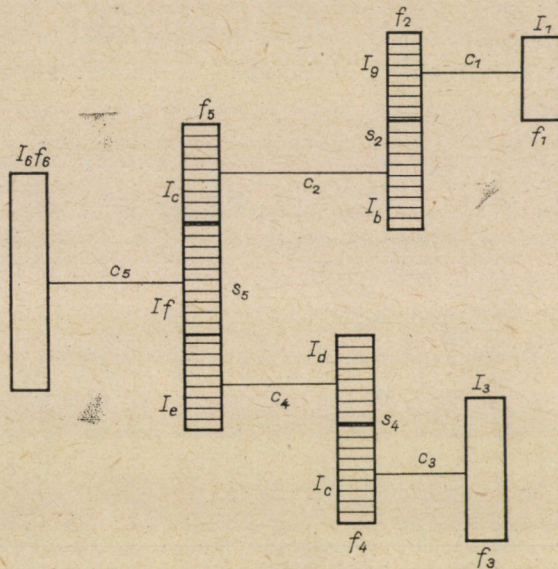
Az 1. ábrában megadott jelölésekkel a rendszer mozgási egyenletei a következők:

$$\begin{aligned}
 I_1 \ddot{f}_1 &= c_1(f_2 - f_1) & I_3 \ddot{f}_3 &= c_3(f_4 - f_3) \\
 I_d \ddot{f}_2 &= -c_1(f_2 - f_1) + P_2 R_2 & I_c \ddot{f}_4 &= -c_3(f_4 - f_3) + P_3 R_3 \\
 I_b s_2 \ddot{f}_2 &= c_2(f_5 - s_2 f_2) - P_2 r_2 & I_d s_4 \ddot{f}_4 &= (f_5 - s_4 f_4) - P_3 r_3 \\
 I_c \ddot{f}_5 &= -c_2(f_5 - s_2 f_2) + P_4 R_4 & & \\
 I_e \ddot{f}_5 &= -c_4(f_5 - s_4 f_4) + P_5 r_4 & & (1) \\
 I_f s_5 \ddot{f}_5 &= c_5(f_6 - s_5 f_5) - (P_4 + P_5) r_4 & & \\
 I_6 \ddot{f}_6 &= -c_5(f_6 - s_5 f_5) & &
 \end{aligned}$$

E szimultán differenciál-egyenletrendszernek egy partikularis megoldása:

$$f_i = p_i \cos w t, \quad (2)$$

ahol $i = 1, 2 \dots 5$. De ennek behelyettesítésével együtt a P kerületi erőket fogjuk kiküszöbölni és így végeredményben a következő egyenletrendszert kapjuk:



1. ábra

$$\begin{aligned} [-I_5 w^2 + s_5^2 c_5 + c_4 + c_2] p_5 - s_5 c_5 p_6 - s_4 c_4 p_4 - c_2 s_2 p_2 &= 0 \\ [-I_4 w^2 + s_4^2 c_4 + c_3] p_4 - c_3 p_3 - s_4 c_4 p_5 &= 0 \\ [-I_2 w^2 + c_1 + c_2 s_2^2] p_2 - c_1 p_1 - s_2 c_2 p_5 &= 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$[-I_3 w^2 + c_3] p_3 - c_3 p_4 = 0$$

$$[-I_1 w^2 + c_1] p_1 - c_1 p_2 = 0$$

$$[-I_6 w^2 + c_5] p_6 - s_5 c_5 p_5 = 0$$

$$I_2 = I_a + s_2^2 I_b, \quad I_4 = I_c + s_4^2 I_d, \quad I_5 = 2 I_e + s_5^2 I_f,$$

$$\frac{R_2}{r_2} = s_2, \quad \frac{R_3}{r_3} = s_4, \quad \frac{R_4}{r_4} = s_5.$$

Bevezetjük a következő jelölést:

$$u_{ik} = \frac{c_i}{I_k}.$$

A (3) alatti egyenletrendszernek csak akkor van a trivialisól különböző megoldása, ha a következő determináns zérussal egyenlő:

$$0 = \begin{vmatrix} P_1 & P_2 & P_3 & P_4 & P_5 & P_6 \\ w^2 - u_{11} & u_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ u_{12} & w^2 - u_{12} - s_2^2 u_{22} & 0 & 0 & s_2 u_{22} & 0 \\ 0 & 0 & w^2 - u_{33} & u_{33} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & u_{34} & w^2 - u_{34} - s_4^2 u_{44} & s_4 u_{44} & 0 \\ 0 & s_2 u_{25} & 0 & s_4 u_{45} & w^2 - u_{25} - u_{45} - s_5^2 u_{55} & s_5 u_{55} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_5 u_{56} & w^2 - u_{56} \end{vmatrix} \quad (4)$$

A (4) alatti determináns ebben az alakjában az átlóban fekvő kifejezések miatt a további számításokhoz nem alkalmas és ezért a következő átalakításokat hajtjuk végre:

Az utolsó oszlopot s_5 -tel szorozzuk s azt a megelőző oszlophoz hozzáadjuk,

az első oszlopot a másodikhoz hozzáadjuk,

a 3. oszlopot a negyedikhez adjuk és

a negyedik oszlopot $1/s^4$ -nel szorozva az 5. oszlophoz adjuk. Ekkor a következő determinánst kapjuk:

$$\begin{vmatrix} P_1 & P_2 & P_3 & P_4 & P_5 & P_6 \\ w^2 - u_{11} & w^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ u_{12} & w^2 - s_2^2 u_{22} & 0 & 0 & s_2 u_{22} & 0 \\ 0 & 0 & w^2 - u_{33} & w^2 & \frac{w^2}{s_4} & 0 \\ 0 & 0 & u_{34} & w^2 - s_4^2 u_{44} & \frac{w^2}{s_4} & 0 \\ 0 & s_2 u_{25} & 0 & s_4 u_{45} & w^2 - u_{25} & s_5 u_{55} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & s_5 w^2 & w^2 - u_{56} \end{vmatrix} = 0. \quad (5)$$

Mint látható, az (5) determinánsban az átalakítás következtében az átlóban szereplő kifejezések lényegesen egyszerűbbek lettek és ebben a formában felhasználhatjuk a további számításainkhoz.

Az átalakított determináns a következő egyenletrendszernek felel meg:

$$\begin{aligned} [w^2 - u_{11}] p_1 + w^2 p_2 &= 0, \\ u_{12} p_1 + [w^2 - s_2^2 u_{22}] p_2 + s_2 u_{22} p_5 &= 0, \\ [w^2 - u_{33}] p_3 + w^2 p_4 + \frac{w^2}{s_4} p_5 &= 0, \\ s_2 u_{25} p_2 + s_4 u_{45} p_4 + [w^2 - u_{25}] p_5 + s_5 u_{55} p_6 &= 0, \\ u_{34} p_3 + [w^2 - s_4^2 u_{44}] p_4 + \frac{w^2}{s_4} p_5 &= 0, \\ s_5 w^2 p_5 + [w^2 - u_{56}] p_6 &= 0. \end{aligned} \quad (3a)$$

Ebből az egyenletrendszerből számítsuk ki a következő viszonzszámokat:

$$\begin{aligned} \frac{p_2}{p_1} &= \frac{-w^2 + u_{11}}{w^2}, \\ \frac{p_5}{p_1} &= \frac{w^4 - w^2 [u_{11} + u_{12} + s_2^2 u_{22}] + s_2^2 u_{11} u_{12}}{s_2 u_{22} w^2}, \\ \frac{p_5}{p_2} &= \frac{w^4 - w^2 [u_{11} + u_{12} + s_2^2 u_{22}] + s_2 u_{11} u_{12}}{[-w^2 + u_{11}] s_2 u_{22}}, \\ \frac{p_5}{p_6} &= \frac{-w^2 + u_{56}}{s_5 w^2}, \\ \frac{p_4}{p_3} &= \frac{-w^2 + u_{33} + u_{34}}{s_4^2 u_{44}}, \\ \frac{p_5}{p_3} &= s_4^2 \frac{u_{44}}{w^2} [-w^2 + u_{33}] - \frac{-w^2 + u_{33} + u_{34}}{s_4 u_{44}}, \\ \frac{p_5}{p_4} &= s_4 \frac{[-w^2 + u_{33}] [-w^2 + s_4^2 u_{44}] - w^2 u_{34}}{w^2 [w^2 + u_{33} + u_{34}]} \end{aligned} \quad (5a)$$

Az (5a) alatti kifejezésekből, ha pl. a p_1 amplitudó értékét felvesszük, a többi amplitudó kiszámítható és ennek ismeretében a lengési görbét is felírhatjuk.

A karakterisztikus egyenlet felállításához felhasználjuk a (3a) egyenletekből a következőket:

$$\frac{1}{s_4 u_{45}} \left(-s_2 u_{25} \frac{p_2}{p_5} + (-w^2 + u_{25}) - s_5 u_{55} \frac{p_6}{p_5} \right) = \frac{p_4}{p_5}.$$

E kifejezésbe helyettesítjük (5a)-ból az ott található viszonzszámokat és az így nyert kifejezést rendezzük w^2 hatványai szerint és ez úton kapjuk a keresett karakterisztikus egyenletet.

Ha a kifejtést, ill. a rendezést elvégezzük, 12-ed fokú egyenletet kapunk, de mert a változó nélküli tag együtthatója:

$$u_{11} s_2^2 u_{22} u_{25} u_{33} s_4^2 u_{44} u_{56} - u_{11} s_2^2 u_{22} u_{25} u_{33} s_4^2 u_{44} u_{56} = 0,$$

az egyenlethől w^2 kiemelhető és így fennmarad a karakterisztikus egyenlet részére egy 10-ed fokú egyenlet, amely megfelel a számításban szereplő tehetlenségi nyomatékoknak, tehát I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 és I_6 -nak.

Az egyenlet felírásához jelöléseket vezetünk be, amelyek a következők:

$$\begin{aligned}
 u_{11} + u_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{25} + u_{33} + u_{34} + s_4^2 u_{44} + u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56} &= k_{11-6} \\
 u_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{25} + u_{33} + u_{34} + s_4^2 u_{44} + u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56} &= k_{12-6} \\
 s_2^2 u_{22} + u_{25} + u_{33} + u_{34} + s_4^2 u_{44} + u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56} &= k_{22-6} \\
 u_{25} + u_{33} + u_{34} + s_4^2 u_{44} + u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56} &= k_{25-6} \\
 u_{33} + u_{34} + s_4^2 u_{44} + u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56} &= k_{33-6} \\
 u_{34} + s_4^2 u_{44} + u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56} &= k_{34-6} \quad (6) \\
 s_4^2 u_{44} + u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56} &= k_{44-6}
 \end{aligned}$$

Rövidítve:

$$\begin{aligned}
 k_{56} &= u_{56}, & u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56} &= k_{456} \\
 k_{556} &= s_5^2 u_{55} + k_{56}, & s_5^2 u_{55} + u_{56} &= k_{556} \\
 k_{456} &= u_{45} + k_{556}, & u_{56} &= k_{56} \\
 k_{44-6} &= s_4^2 u_{44} + k_{456}, \\
 k_{34-6} &= u_{34} + k_{44-6}, \\
 k_{33-6} &= u_{33} + k_{34-6}, \\
 k_{25-6} &= u_{25} + k_{33-6}, \\
 k_{22-6} &= s_2^2 u_{22} + k_{25-6}, \\
 k_{12-6} &= u_{12} + k_{22-6}, \\
 k_{11-6} &= u_{11} + k_{12-6}.
 \end{aligned}$$

A (6) alatti jelölések nem használhatók fel mind egyenletünk felírásához, de célszerű volt ezeket felvenni, mert folytatólagosan következnek egymásután és így egymásba kapcsolódnak.

Az u_{25} együtthatói külön jelölést kívánnak, mert itt az indexek nem következnek a számsorban egymásután és ennek keresztülvitele az eredeti felvételben is nehézségre ütközött. Ezek a jelölések a következők:

$$\begin{aligned}
 u_{33} + u_{34} + s_4^2 u_{44} + u_{56} &= K_{33-6}, \\
 u_{33} + u_{34} + s_4^2 u_{44} &= K_{34-4}, \\
 u_{33} + u_{34} &= K_{33-4}, \\
 u_{33} &= K_{33}.
 \end{aligned} \quad (7)$$

Ezek felhasználásával felírjuk a karakterisztikus egyenletet:

$$\begin{aligned}
 w^{10} - k_{11-6} w^8 + [u_{11} k_{22-6} + u_{12} k_{25-6} + s_2^2 u_{22} k_{33-6} + u_{25} K_{33-6} + \\
 + u_{33} k_{44-6} + u_{34} k_{456} + s_4^2 u_{44} k_{556} + u_{45} k_{56}] w^6 - [u_{11} (s_2^2 u_{22} k_{33-6} + \\
 + u_{25} K_{33-6} + u_{33} k_{44-6} + u_{34} k_{456} + s_4^2 u_{44} k_{556} + u_{45} k_{56}) + \\
 + u_{12} (u_{25} K_{33-6} + u_{33} k_{44-6} + u_{34} k_{456} + s_4^2 u_{44} k_{556} + u_{45} k_{56}) + \\
 + u_{25} (K_{34-4} u_{56} + K_{33} s_4^2 u_{44}) + s_2^2 u_{22} (u_{33} k_{44-6} + u_{34} k_{456} + \\
 + s_4^2 u_{44} k_{556} + u_{45} k_{56}) + u_{33} (s_4^2 u_{44} k_{556} + u_{45} k_{56}) + u_{34} u_{45} k_{56}] w^4 + \\
 + \{u_{11} [s_2^2 u_{22} (u_{33} k_{44-6} + u_{34} k_{45-6} + s_4^2 u_{44} k_{556} + u_{45} u_{56}) + \\
 + u_{25} (K_{34-4} u_{56} + K_{33} s_4^2 u_{44}) + u_{33} (s_4^2 u_{44} k_{556} + u_{45} k_{56}) + \\
 + u_{34} u_{45} k_{56}] + u_{12} [u_{25} (K_{33-4} u_{56} + K_{33} s_4^2 u_{44}) + u_{33} (s_4^2 u_{44} k_{556} + \\
 + u_{45} k_{56}) + u_{34} u_{45} k_{56}] + s_2^2 u_{22} [u_{33} (s_4^2 u_{44} k_{556} + u_{45} k_{56}) + \\
 + u_{34} u_{45} k_{56}] + u_{25} u_{33} s_4^2 u_{44} k_{56}\} w^2 - \{u_{11} [s_2^2 u_{22} (u_{33} ((s_4^2 u_{44} k_{556} + \\
 + u_{45} k_{56})) + u_{34} u_{45} k_{56}) + u_{25} u_{33} s_4^2 u_{44} k_{56}]) + u_{12} u_{25} u_{33} s_4^2 u_{44} k_{56}\} = 0.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Ha ezt az egyenletet szemügyre vesszük, azt találjuk, hogy ismétlődések fordulnak elő, amelyekre ajánlatos újabb jelöléseket bevezetni. Ezeket a jelöléseket a következőkben megadjuk, de a behelyettesítést nem végezzük el, mert az már nem igényel különösebb munkát. Természetesen erre a jelölésre is áll az a megállapítás, hogy teljességében kitűnik az egymásba fonódás, de nem mindegyik jelölést használjuk fel.

$$\begin{aligned}
 A_{12-6} &= u_{11} k_{22-6} + u_{12} k_{25-6} + s_2^2 u_{22} k_{33-6} + u_{33} k_{44-6} + u_{34} k_{456} + \\
 &\quad + s_4^2 u_{44} k_{556} + u_{45} k_{56}, \\
 A_{12-6} &= u_{12} k_{25-6} + s_2^2 u_{22} k_{33-6} + u_{33} k_{44-6} + s_4^2 u_{44} k_{556} + u_{45} k_{56} + u_{34} k_{456}, \\
 A_{22-6} &= s_2^2 u_{22} k_{33-6} + u_{33} k_{44-6} + u_{34} k_{456} + s_4^2 u_{44} k_{556} + u_{45} k_{56}, \\
 A_{33-6} &= u_{33} k_{44-6} + u_{34} k_{456} + s_4^2 u_{44} k_{56} + u_{45} k_{56}, \\
 A_{34-6} &= u_{34} k_{456} + s_4^2 u_{44} + u_{45} k_{56}, \\
 A_{44-6} &= s_4^2 u_{44} + u_{45} k_{56}, \\
 A_{456} &= u_{45} k_{56}.
 \end{aligned} \tag{9a}$$

A valóságban e hosszú kifejezések kiszámítása felesleges, mert

$$\begin{aligned} A_{44-6} &= A_{456} + s_4^2 u_{44}, \\ A_{34-6} &= A_{44-6} + u_{34} k_{456}, \\ A_{33-6} &= A_{34-6} + u_{33} k_{44-6}, \\ A_{22-6} &= A_{33-6} + s_2^2 u_{22}, \\ A_{12-6} &= A_{22-6} + u_{12} k_{25-6}, \\ A_{11-6} &= A_{12-6} + u_{11} k_{22-6}. \end{aligned}$$

Ha tehát kiszámítjuk a k , K és A értékeket, a karakterisztikus egyenlet végleges alakjában felírható.

4. Az általános megoldás alkalmazása különleges esetekre

Ezek után áttérünk néhány különleges eset ismertetésére. Ezekre az esetekre vezetjük, ill. a már felírt általános esetre vonatkozó (8) alatti egyenlet alapján felírjuk az idevágó karakterisztikus egyenletet. Mint már az előzőkben jeleztük, az ezen esetre érvényes mozgási egyenlet felírásával ellenőrzésként az egyenletet külön le is vezetjük. Feltételezzük, hogy a fogaskerek tehetetlenségi nyomatéka nem hanyagolható el a számításnál használt többi tehetetlenségi nyomaték mellett.

A következőkben nem használjuk a k jelölést, hanem magának az u értékek felhasználásával adjuk meg a karakterisztikus egyenletet.

4.1 Két pár fogaskerékajtás három tengellyel

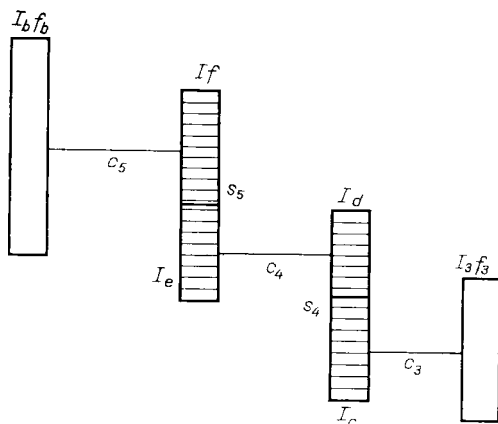
A 2. ábrában az általános eset egy különleges esetét találjuk. Felhasználva a (6) alatti általános egyenletet, írjuk fel erre az esetre a karakterisztikus egyenletet:

$$u_{11} = u_{12} = s_2^2 u_{22} = u_{25} = 0. \quad (10)$$

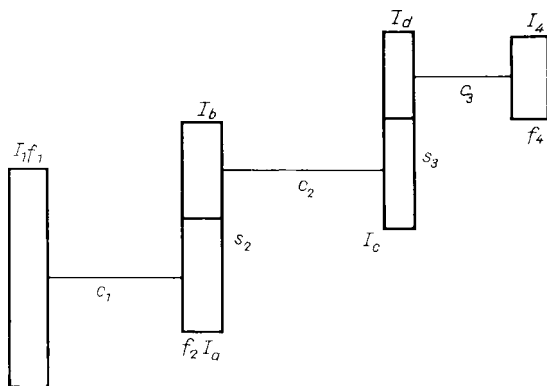
Ezt figyelembe véve és w hatványait megfelelően csökkentve, a következő eredményt kapjuk, ha a (6) egyenletben a megadott változást átvezetjük:

$$\begin{aligned} w^6 - [u_{33} + u_{34} + s_4^2 u_{44} + u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56}] w^4 + [u_{33} (s_4^2 u_{44} + u_{45} + \\ + s_5^2 u_{55} + u_{56}) + u_{34} (u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56}) + s_4^2 u_{44} (s_5^2 u_{55} + u_{56}) + \\ + u_{45} u_{56}] w^2 - [u_{33} (s_4^2 u_{44} ((s_5^2 u_{55} + u_{56})) + u_{45} u_{56}) - u_{34} u_{45} u_{56}] = 0. \end{aligned} \quad (11)$$

A (11) alatti eredményeket közvetlen levezetéssel fogjuk ellenőrizni, azonban e rendszer általános jellegét is figyelembe véve a jelöléseket meg kell változtatnunk. Az elrendezést a 3. ábra mutatja.



2. ábra



3. ábra

A mozgás egyenletei a következők:

$$\begin{aligned}
 I_1 \ddot{f}_1 &= c_1 (f_2 - f_1), \\
 I_a \ddot{f}_2 &= -c_1 (f_2 - f_1) + P_2 R_2, \\
 I_b s_2 \ddot{f}_2 &= c_2 (f_3 - s_2 f_2) - P_2 r_2, \\
 I_c \ddot{f}_3 &= -c_2 (f_3 - s_2 f_2) + P_3 R_3, \\
 I_d s_2 \ddot{f}_3 &= c_3 (f_4 - s_3 f_3) - P_3 r_3, \\
 I_4 \ddot{f}_4 &= -c_3 (f_4 - s_3 f_3).
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

(12)-ből küszöböljük ki P_2 és P_3 -at és a differenciálegyenlet megoldásaként helyettesítsük be az

$$f_i = p_i \cos wt \quad (13)$$

kifejezést, ahol $i = 1, 2, 3, 4$. E művelet eredménye a következő egyenletrendszer:

$$\begin{aligned} [-I_1 w^2 + c_1] p_1 &= c_1 p_2, \\ [I_2 w^2 + s_2^2 c_2 + c_1] p_2 &= s_2 c_2 p_3 + c_1 p_1, \\ [-I_3 w^2 + s_3^2 c_3 + c_2] p_3 &= s_3 c_3 p_4 + s_2 c_2 p_2, \\ [-I_4 w^2 + c_3] p_4 &= s_3 c_3 p_3. \end{aligned} \quad (14)$$

(14)-ből számítsuk ki a következő viszonzyszámokat:

$$\begin{aligned} \frac{p_1}{p_2} &= \frac{u_{11}}{-w^2 + u_{11}}, \\ \frac{p_4}{p_3} &= \frac{s_3 u_{34}}{-w^2 + u_{34}}, \\ \frac{p_3}{p_2} &= \frac{[-w^2 + s_2^2 u_{22} + u_{12}] \cdot [-w^2 + u_{11}] - u_{11} u_{12}}{s_2 u_{22} [-w^2 + u_{11}]}, \\ \frac{p_2}{p_3} &= \frac{[-w^2 + s_3^2 u_{33} + u_{23}] \cdot [-w^2 + u_{34}] - s_3^2 u_{33} u_{34}}{s_2 u_{22} [-w^2 + u_{34}]}, \\ I_2 &= I_a + s_2^2 I_b \text{ és } I_3 = I_c + s_3^2 I_d. \end{aligned} \quad (15)$$

(15)-ben a két p_3/p_2 értéket egyenlővé téve és rendezve a következő végeredményt kapjuk:

$$\begin{aligned} w^6 - [u_{11} + u_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{23} + s_3^2 u_{33} + u_{34}] w^4 + \\ + [u_{11}(s_2^2 u_{22} + u_{23} + s_3^2 u_{33} + u_{34}) + u_{12}(u_{23} + s_3^2 u_{33} + u_{34}) + \\ + s_2^2 u_{22}(u_{33} + u_{34}) + u_{23} u_{34}] w^2 - \\ - [u_{11}(s_2^2 u_{22}((u_{33} s_3^2 + u_{34})) + u_{23} u_{34}) + u_{12} u_{23} u_{34}] = 0. \end{aligned} \quad (16)$$

A 4. ábrán bemutatjuk azt az elrendezést, amely az eredeti elrendezésnek felel meg, mert ha erre a négy tömeges rendszerre felírjuk a karakterisztikus egyenletet, akkor a (16) egyenletet kapjuk.

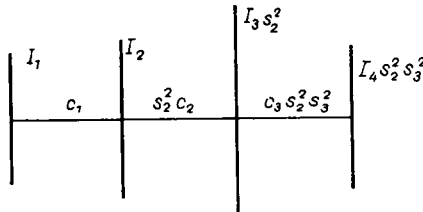
(16) egyenletből megkapjuk a (11) alatti egyenletét, ha figyelembe vesszük a jelöléseket. Ezért a (16) egyenletbe a következő jelöléseket vezetjük be:

$$\begin{aligned} u_{11} \text{ helyébe } u_{33} & & u_{23} \text{ helyébe } u_{45} \\ u_{12} \text{ helyébe } u_{34} & (17) & s_3^2 u_{33} \text{ helyébe } s_5^2 u_{55} \\ s_2^2 u_{22} \text{ helyébe } s_4^2 u_{44} & & u_{34} \text{ helyébe } u_{56} \end{aligned} \quad (18)$$

E jelölésekkel a

$$\begin{aligned}
 w^6 & - [u_{33} + u_{34} + s_4^2 u_{44} + u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56}] w^4 + \\
 & + [u_{33} (s_4^2 u_{44} + u_{45} + s_5^2 u_{55} + u_{56}) + u_{34} (u_{45} + \\
 & + s_5^2 u_{55} + u_{56}) + s_4^2 u_{34} (s_5^2 u_{55} + u_{56}) + u_{45} u_{56}] w^2 - \\
 & - [u_{33} (s_4^2 u_{44} ((s_5^2 u_{55} + u_{56})) + u_4 u_{56}) + u_{345} u_{45} u_{56}] = 0,
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

egyenletet kapjuk, amely a (11) egyenlettel teljesen egyezik.



4. ábra

4.2. Fogaskerékátvitel két tengelyről egy tengelyre egy központi fogaskerékkel

Az eredmény ellenőrzéséhez az 5. ábrán látható általános elrendezéshez tartozó karakterisztikus egyenletet fogjuk felírni. Ebben az esetben a fogaskerek átmérői is eltérők egymástól, szemben az 1. ábrán látható elrendezéssel. E rendszer kidolgozása után áttérünk két különleges eset tárgyalására.

Az 5. ábra esetében a mozgás egyenletei a következők:

$$\begin{aligned}
 I_1 \ddot{f}_1 & = c_1 (f_2 - f_1), \\
 I_1' \ddot{f}_1 & = c_1' (f_2' - f_1), \\
 I_b \ddot{f}_2 & = -c_1 (f_2 - f_1) + P_2 R_2, \\
 I_c \ddot{f}_2 & = -c_1' (f_2' - f_1') + P_2' R_2', \\
 I_a s_2 \ddot{f}_2 & = c_2 (f_3 - s_2 f_2) - (P_2 + P_2') r_2, \\
 I_3 \ddot{f}_3 & = -c_2 (f_3 - s_2 f_2).
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

Ezenkívül a fogaskerekre fennáll a következő összefüggés:

$$f_2 s_2 = f_2' s_2', \quad \text{ill.} \quad \ddot{f}_2 s_2 = \ddot{f}_2' s_2'.
 \tag{21}$$

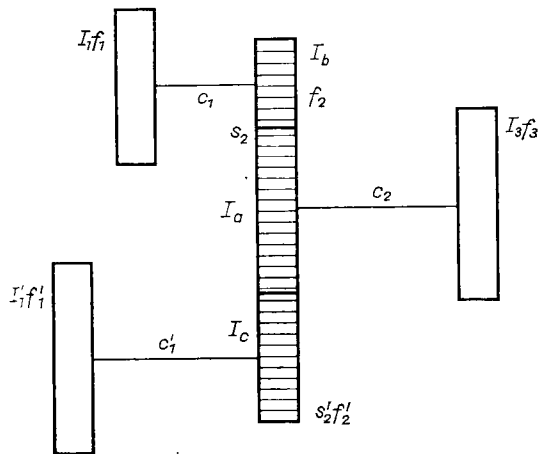
A (20) egyenletből küszöböljük ki a P_2, P_2' kerületi erőket:

Ha bevezetjük

$$I_2 s_2 = s_2 \left(I_a + \frac{I_b}{s_2^2} + \frac{I_c}{s_2'^2} \right) \quad (22)$$

jelöléseket, akkor figyelembe véve a (20) alatti egyenletrendszer első két és utolsó egyenletét, a következő eredményt kapjuk:

$$I_1 \ddot{f}_1 + I_1' \frac{\ddot{f}_1'}{s_2} + \ddot{f}_2 I_2 s_2 + \ddot{f}_3 I_3 = 0. \quad (23)$$



5. ábra

E differenciálegyenlet megoldása:

$$f_i = p_i \cos wt. \quad (24)$$

Ezt behelyettesítve:

$$\frac{I_1 p_1}{s_2} + \frac{I_1' p_1'}{s_1'} + I_2 s_2 p_2 + I_3 p_3 = 0. \quad (25)$$

A (20) és (21) egyenletből következik, hogy

$$(-w^2 I_1 + c_1) = c_2 p_2, \quad (-w^2 I_1' + c_1') p_1' = c_1' p_2' = c_1' \frac{s_2}{s_2'} p_2$$

és

$$(-w^2 I_3 + c_2) p_3 = c_2 s_2 p_2. \quad (26)$$

Ha a (26)-ot (25)-be helyettesítjük s az egyenletet rendezzük, az u értékek bevezetésével a következő végeredményt kapjuk:

$$\frac{u_{12}}{w^2 - u_{11}} \frac{1}{s_2^2} + \frac{u_{12}'}{w^2 - u_{11}'} \frac{1}{s_2'^2} + \frac{u_{22}}{w^2 - u_{23}} = 1. \quad (27)$$

Utóbbi egyenletet a w hatványai szerint rendezve, a következő karakterisztikus egyenlet adódik:

$$\begin{aligned}
 w^6 - \left[u_{11} + u'_{11} + \frac{u_{12}}{s_2^2} + \frac{u'_{12}}{s_2'^2} + u_{22} + u_{23} \right] w^4 + \\
 + \left[u_{11} \left(u'_{11} + \frac{u'_{12}}{s_2'^2} + u_{22} + u_{23} \right) + u'_{11} \left(\frac{u_{12}}{s_2^2} + u_{22} + u_{23} \right) + \right. \\
 \left. + \left(\frac{u_{12}}{s_2^2} + \frac{u'_{12}}{s_2'^2} \right) u_{23} \right] w^2 - \\
 - \left[u_{11} \left(u'_{11} (u_{22} + u_{23}) + \frac{u'_{12}}{s_2'^2} u_{23} \right) + u'_{11} \frac{u_{12}}{s_2^2} u_{23} \right] = 0.
 \end{aligned} \tag{28}$$

Tekintettel arra, hogy a gyakorlatban az 5. ábrában ismertetett rendszerrel gyakran találkozunk, számpéldát dolgoztunk ki és felhasználtuk azokat az adatokat, amelyeket az [1] dolgozat 188. oldalán találhatunk.

A számolást a következő adatokkal végezzük el:

$$\begin{aligned}
 I_1 = 2,22, I'_1 = 8, I_b = 4, I_c = 6, I_a = 340, I_3 = 100, c_1 = 0,66 \cdot 10^6, \\
 c'_1 = 1 \cdot 10^6, c_2 = 0,1 \cdot 10^6, s_2 = 1/3, s'_2 = 1/2.
 \end{aligned}$$

Kiszámítjuk a következő értékeket:

$$u_{11} = \frac{0,66 \cdot 10^6}{2,22} = 300 \cdot 10^3, \quad u_{12} = \frac{0,66 \cdot 10^6}{400} = 1,66 \cdot 10^3,$$

ahol

$$I_2 = 340 + 4 \cdot 9 + 6,4 = 400,$$

illetve a már előzetesen bevezetett jelölés alapján

$$u_{23} = \frac{0,1 \cdot 10^6}{100} = 10^3, \quad u'_{11} = \frac{1 \cdot 10^6}{8} = 125 \cdot 10^3, \quad u_{22} = \frac{0,1 \cdot 10^6}{400} = 0,25 \cdot 10^3$$

$$u'_{12} = \frac{1 \cdot 10^6}{400} = 2,5 \cdot 10^3.$$

E kiszámított adatokat vezessük be a (27) egyenletbe:

$$\frac{9 \cdot 1,66 \cdot 10^3}{w^2 - 300 \cdot 10^3} + \frac{4 \cdot 2,5 \cdot 10^3}{w^2 - 1,25 \cdot 10^3} + \frac{0,25 \cdot 10^3}{w^2 - 10^3} = 1.$$

Alkalmazzuk a következő jelölést:

$$\frac{w^2}{10^3} = x.$$

Ezáltal egyenletünk a következő alakot ölti:

$$\frac{15}{x - 300} + \frac{10}{x - 125} + \frac{0,25}{x - 1} = 1.$$

Ez az egyenlet az (1)-ben található egyenlettel egyezik.

Ezekután különböző x értékekhez kiszámítjuk a z értékeket és azokat emeljük ki, amelyek 1-gyel egyenlők vagy legalábbis 1-et igen jól megközelítik.

$x = 1$	$z = -0,13$
1,2	+1,12
1,22	+1
1,3	+0,7
1,5	+0,35
2	+0,12
100	-0,475
130	+1,912
134	+1,019
135	+0,908
300	+1,0578
315	+1,052
316	+0,9925

A dőlt szedésű értékek a keresett megoldások, amelyekből a w értékeit kiszámíthatjuk. Az eredmények a következők:

$$\begin{aligned} w_1^2 &= 1\,220, & \text{ugyanaz az (1)ben} & 1\,600; \\ w_2^2 &= 134\,000, & \text{,, ,, ,,} & 134\,900; \\ w_3^2 &= 316\,000, & \text{,, ,, ,,} & 316\,700. \end{aligned}$$

Az eredmények, az első értéket nem tekintve, jól egyeznek.

Abban az esetben, ha két fogaskerék minden mérethben egyenlő egymással, tehát

$$I_b = I_c = I_e,$$

és $s_2 = s_2'$, akkor

$$I_2 = I_a + \frac{2I_e}{s_2^2}. \quad (29)$$

E kifejezés a (22)-ből is levezethető, csak a két I_2 jelentőségét nem szabad összetéveszteni.

Ez esetben a karakterisztikus egyenlet a következő:

$$\frac{u_{12}}{w^2 - u_{11}} + \frac{u'_{12}}{w^2 - u'_{11}} + \frac{u_{22} s_2^2}{w^2 - u_{23}} = 1. \quad (30)$$

Kifejtve és w^2 hatványai szerint rendezve:

$$\begin{aligned} w^6 - [u_{11} + u_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{23} + u'_{11} + u'_{12}] w^4 + \\ + [u_{11} (s_2^2 u_{22} + u_{23} + u'_{11} + u'_{12}) + u_{12} u_{23} + \\ + u'_{11} (u'_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{23}) + u'_{12} u_{23}] w^2 - \\ - [u_{11} (u'_{11} ((s_2^2 u_{22} + u_{23})) + u'_{12} u_{23}) + u'_{11} u_{12} u_{23}] = 0. \end{aligned} \quad (31)$$

Különleges eset akkor áll még elő, ha

$$I_1 = I'_1 \text{ és } c_1 = c'_1, \quad (32)$$

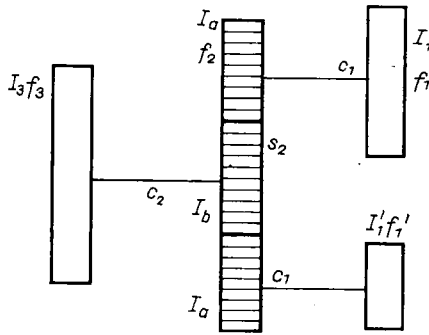
tehát $u'_{11} = u_{11}$ és $u'_{12} = u_{12}$. Ha ezt a helyettesítést a (31) alatti képletben, ill.

egyenletben elvégezzük, a következő eredményt kapjuk:

$$\begin{aligned}
 w^6 - [2u_{11} + 2u_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{23}] w^4 + [u_{11}(u_{11} + u_{12} + \\
 + s_2^2 u_{22} + u_{23}) + u_{12} u_{23} + u_{11}(u_{12} s_2^2 u_{22} + u_{23}) + u_{12} u_{23}] w^2 - \\
 - [u_{11}(u_{11}(s_2^2 u_{22} + u_{23})) + u_{12} u_{23} + u_{11} u_{12} u_{23}] = 0.
 \end{aligned} \quad (33)$$

Természetesen a (33) egyenletben található ismétlődéseket a számításoknál figyelembe kell venni.

Ezt az eredményt azonban közvetlen levezetéssel fogjuk a következőkben ellenőrizni, és e célból a 6. ábrán látható elrendezést fogjuk felhasználni, amely



6. ábra

a (33) egyenlet eseténél valamivel általánosabb, csak ezután fogunk áttérni arra az esetre, amelyre a (33) egyenlet érvényes.

A 6. ábra esetére a mozgási egyenletek a következők:

$$\begin{aligned}
 I_1 \ddot{f}_1 &= c_1 (f_2 - f_1), \\
 I_1' \ddot{f}_1' &= c_1 (f_2 - f_1'), \\
 I_a \ddot{f}_2 &= -c_1 (f_2 - f_1) + P_2 R_2, \\
 I_a \ddot{f}_2 &= -c_1 (f_2 - f_1') + P_2' R_2, \\
 I_b s_2 \ddot{f}_2 &= c_2 (f_3 - s_2 f_2) - (P_2 + P_2') r_2, \\
 I_3 \ddot{f}_3 &= -c_2 (f_3 - s_2 f_2).
 \end{aligned} \quad (34)$$

(34)-ben küszöböljük ki P_2 -őt és P_2' -őt. Az eredmény a következő:

$$\begin{aligned}
 I_2 \ddot{f}_2 + c_1 (2f_2 - f_1 - f_1') - c_2 (f_3 - s_2 f_2) s_2 &= 0, \\
 I_2 &= 2I_a + s_2^2 I_b.
 \end{aligned}$$

A (34) többi egyenletei változatlanul megmaradnak. Az egyenletrendszer megoldása:

$$f_i = p_i \cos wt.$$

Ezt behelyettesítve rendezés után a következő egyenleteket kapjuk:

$$\begin{aligned} [w^2 I_2 - 2c_1 - s_2^2 c_2] + c_1 \frac{P_1}{P_2} + c_1 \frac{P'_1}{P_2} + c_2 s_2 \frac{P_3}{P_2} &= 0. \\ \frac{P_1}{P_2} &= \frac{c_1}{c_1 - w^2 I_1}, \\ \frac{P'_1}{P_2} &= \frac{c_1}{c_1 - w^2 I'_1}, \\ \frac{P_2}{P_3} &= \frac{s_2 c_2}{c_2 - w^2 I_3}. \end{aligned} \quad (35)$$

Behelyettesítés után és bevezetve az

$$\begin{aligned} u_{11} &= \frac{c_1}{I_1}, \\ u_{12} &= \frac{c_1}{I_2}, \\ u_{22} &= \frac{c_2}{I_2}, \\ u'_{11} &= \frac{c_1}{I'_1}, \\ u_{23} &= \frac{c_2}{I_3} \end{aligned}$$

értékeket, azt találjuk, hogy:

$$[w^2 - 2u_{12} - s_2^2 u_{22}] - \frac{u_{11} u_{12}}{w^2 - u_{11}} - \frac{u'_{11} u_{12}}{w^2 - u'_{11}} - \frac{u_{12} s_2^2 u_{23}}{w^2 - u_{22}} = 0. \quad (36)$$

Ha ezt a kifejezést w szerint rendezzük, és figyelembe vesszük, hogy a w^0 tag eltűnik, az egyenlet 6-od fokú lesz:

$$\begin{aligned} w^6 - [u_{11} + 2u_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{23} + u'_{11}] w^4 + [u_{11} (u'_{11} + u_{12} + \\ + s_2^2 u_{22} + u_{23}) + u'_{11} (u_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{23}) + 2u_{12} u_{23}] w^2 - \\ - [u_{11} (u'_{11} (s_2^2 u_{22} + u_{23})) + u_{12} u_{23}] + u'_{11} u_{12} u_{23} = 0. \end{aligned} \quad (37)$$

Azonnal látható, hogy ha $u_{11} = u'_{11}$, akkor a (33) egyenletet kapjuk. Megemlítjük még, hogy

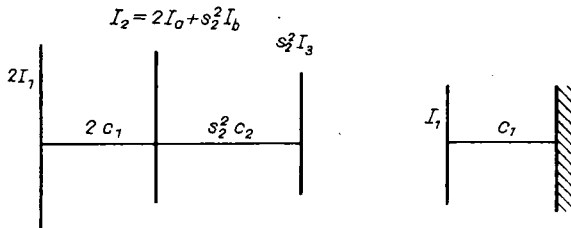
$$[w^2 - u_{11}] \cdot [w^4 - (u_{11} + 2u_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{23}) w^2 + u_{11} (s_2^2 u_{22} + u_{23}) + 2u_{12} u_{23}] = 0 \quad (37a)$$

műveletet elvégezve, a beszorzás eredményeként a (33) egyenlet áll elő. Ennek következtében a 7. ábra szerinti elrendezést az ábrán látható elrendezés helyettesíti. Ez tehát két részből áll, amint az a 7. ábrából kitűnik.

Megjegyezzük még, hogy ha a

$$2 \frac{u_{12}}{w^2 - u_{11}} + \frac{s_2^2 u_{22}}{w^2 - u_{23}} = 1 \tag{38}$$

kifejezést rendezzük, akkor a (37a) alatti kifejezés második tényezőjét kapjuk



7. ábra

4.3. Egy pár fogaskerék áttétel

A 8. ábra különleges esetet mutat, amelynél már egy pár fogaskerék viszi át a teljesítményt.

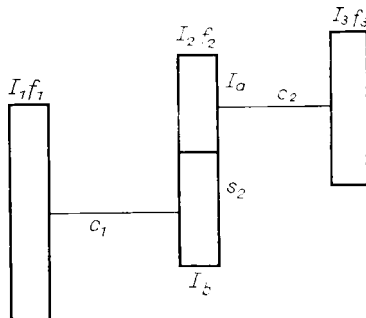
A karakterisztikus egyenletet a (31) egyenlet felhasználásával erre az esetre is felírhatjuk, ha

$$u'_{11} = u'_{12} = 0.$$

Ezáltal a következő egyenletet kapjuk:

$$w^4 - [u_{11} + u_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{23}] w^2 + [u_{11} (s_2^2 u_{22} + u_{23}) + u_{12} u_{23}] = 0. \tag{39}$$

A 9. ábrában ezt a rendszert helyettesítő elrendezést találjuk, és ha erre a rendszerre írjuk fel a karakterisztikus egyenletet, akkor a (35) alatti egyenlet



8. ábra

áll elő.

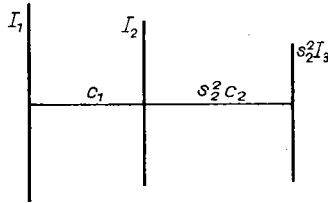
$$I_2 = I_a + s_2^2 I_b. \quad (40)$$

Ha a következő egyenletet kifejtjük:

$$[w^2 - u_{12} - s_2^2 u_{22}] - \frac{u_{11} u_{12}}{w^2 - u_{11}} - \frac{s_2^2 u_{22} u_{23}}{w^2 - u_{23}} = 0,$$

akkor a (39) alatti egyenletet kapjuk. Más alakban:

$$[-I_2 w^2 + c_1 + c_2 s_2^2] - \frac{c_2^2 s_2}{c_2 - I_3 w^2} - \frac{c_1^2}{c_1 - I_1 w^2} = 0.$$



9. ábra

Ha ezenkívül feltesszük még, hogy a fogaskerekék tehetetlenségi nyomatéka elhanyagolható a többi tehetetlenségi nyomatékokhoz képest, akkor

$$w^2 = \frac{\frac{s_2^2}{I_1} + \frac{1}{I_3}}{\frac{s_2^2}{c_1} + \frac{1}{c_2}}.$$

4.4. Többtömegű elrendezés fogaskerékhajtással

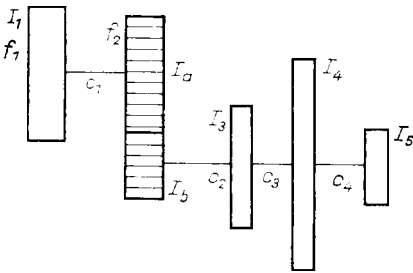
A 10. ábra szerinti elrendezésnek a következő mozgási egyenletek felelnek meg:

$$\begin{aligned} I_1 \ddot{f}_1 &= c_1 (f_2 - f_1), \\ I_a \ddot{f}_2 &= -c_1 (f_2 - f_1) + PR, \\ I_b s_2 \ddot{f}_2 &= c_2 (f_3 - s_2 f_2) - Pr, \\ I_3 \ddot{f}_3 a &= -c_2 (f_3 - s_2 f_2) + c_3 (f_4 - f_3), \\ I_4 \ddot{f}_4 &= -c_3 (f_4 - f_3) + c_4 (f_5 - f_4), \\ I_5 \ddot{f}_5 &= -c_4 (f_5 - f_4). \end{aligned} \quad (41)$$

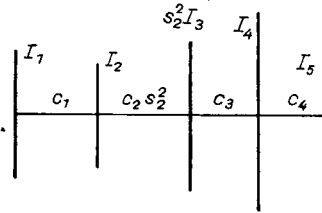
A számítás menete az eddigiek alapján ismeretes, és semmi újat nem jelent. Azonban felhasználva a 8. ábra nyomán levezetett eredményt azt találjuk,

hogy a 10. ábra elrendezését a 11. ábrán ismertetett elrendezés helyettesíti. Most 5 tömegű rendszerrel van szó, amelyre nézve azonnal felírhatjuk a karakterisztikus egyenletet. E célból a következő jelölést vezetjük be:

$$\begin{aligned}
 k_{11-5} &= u_{11} + u_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{23} + u_{33} + u_{34} + u_{44} + u_{45} = u_{11} + k_{12-5}, \\
 k_{12-5} &= u_{12} + s_2^2 u_{22} + u_{23} + u_{33} + u_{34} + u_{44} + u_{45} = u_{12} + k_{22-5}, \\
 k_{22-5} &= s_2^2 u_{22} + u_{23} + u_{33} + u_{34} + u_{44} + u_{45} = s_2^2 u_{22} + k_{23-5}, \\
 k_{23-5} &= u_{23} + u_{33} + u_{34} + u_{44} + u_{45} = u_{23} + k_{33-5}, \\
 k_{33-5} &= u_{33} + u_{34} + u_{44} + u_{45} = u_{33} + k_{345}, \\
 k_{345} &= u_{34} + u_{44} + u_{45} = u_{34} + k_{445}, \\
 k_{445} &= u_{44} + u_{45} = u_{44} + k_{45}, \\
 k_{45} &= u_{45}.
 \end{aligned}
 \tag{42}$$



10. ábra



11. ábra

E jelölések felhasználásával a karakterisztikus egyenlet:

$$\begin{aligned}
 w^8 - k_{11-5} w^6 + [u_{11} k_{22-5} + u_{12} k_{23-5} + s_2^2 u_{22} k_{33-5} + u_{23} k_{345} + u_{33} k_{445} + \\
 + u_{34} k_{45}] w^4 - [u_{11} (s_2^2 u_{22} k_{33-5} + u_{33} k_{445} + u_{34} k_{45}) + u_{12} (u_{23} k_{345} + \\
 + u_{33} k_{445} + u_{34} k_{45}) + s_2^2 u_{22} (u_{33} k_{445} + u_{34} k_{45}) + u_{23} u_{34} k_{45}] w^2 + \\
 + u_{11} [s_2^2 u_{22} (u_{33} k_{445} + u_{34} k_{45}) + u_{23} u_{34} k_{45}] + u_{12} u_{23} u_{34} k_{45} = 0.
 \end{aligned}
 \tag{43}$$

A 10. ábrában

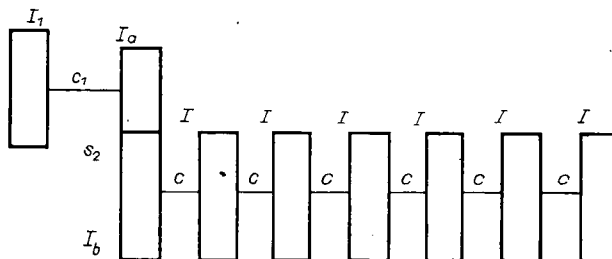
$$I_2 = I_a + s_2^2 I_b,$$

továbbá

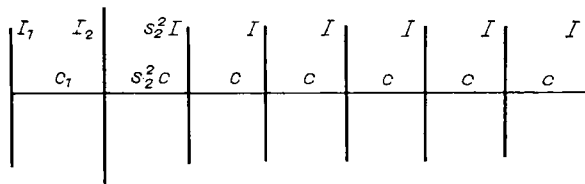
$$u_{11} = \frac{c_1}{I_1}, \quad u_{12} = \frac{c_1}{I_2}, \quad s_2^2 \frac{c_2}{I_2} = s_2^2 u_{22}, \quad u_{23} = \frac{s_2^2 c_2}{s_2^2 I_3} = \frac{c_2}{I_3}.$$

A többi érték változatlan.

A 12. ábra azt az esetet mutatja, amikor 6 hengerű motor fogaskerék áttétel útján hajt pl. hajócsavart. Az ezt helyettesítő rendszert a 13. ábrában



12. ábra



13. ábra

találjuk, és itt — az előzőekben ismertettek felhasználásával — a következőket állapíthatjuk meg:

$$\begin{aligned}
 u_{11} &= \frac{c_1}{I_1}, \\
 u_{12} &= \frac{c_1}{I_2}, \\
 u_{22} &= \frac{s_2^2 c_2}{I_2 s_2^2}, \\
 u_{23} &= \frac{s_2^2 c_2}{s_2^2 I_3} = \frac{c_2}{I_3}, \\
 u_{33} &= \frac{c_3}{s_2^2 I_3} = \frac{c}{s_2^2 I},
 \end{aligned}
 \tag{45}$$

$$u_{34} = u_{44} = u_{44} = u_{45} = u_{55} = u_{56} = u_{66} = u_{67} = u_{77} = u_{78} = u.$$

Megjegyzendő, hogy $u_{22} = c/I$.

Ha tehát az általános 8 tömegre vonatkozó esetről át akarunk térni arra az esetre, amikor fogaskerék-hajtást iktattunk közbe, akkor az imént meghatározott értékeket kell figyelembe venni. A 12. ábra szerinti fogaskerék-hajtás esetén olyan 8 tömegű rendszerrel van dolgunk, amelyben csak 5 tömeg egyenlő.

A következőkben az általános 8 tömegre vonatkozó karakterisztikus egyenletet fogjuk levezetni. Mint már említettük, a fenti behelyettesítéssel áttérhetünk a fogaskerék hajtására.

Az általános eset levezetéséhez felhasználjuk azt a módszert, amelyet az MTA Műszaki Tudományok Osztálya Közleményeiben (XV. kötet, 1—4. szám) már ismertettünk. Ezek szerint felírjuk erre a különleges esetre a k , A , B , C , D betűkkel jelölt kifejezéseket.

A levezetendő kifejezésben ismétlődések fordulnak elő, amelyekhez a következő jelöléseket vezetjük be:

$$\begin{aligned} (9u_{23} + 8u_{33} + 28u) u &= U_9, & (8u_{33} + 28u) u &= U_8, \\ (28u_{23} + 21u_{33} + 35u) u^2 &= U_{28}, & (21u_{33} + 35u) u^2 &= U_{21}, \\ (35u_{23} + 20u_{33} + 15u) u^3 &= U_{35}, & (20u_{33} + 35u) u^3 &= U_{20}, \\ (15u_{23} + 5u_{33} + u) u^4 &= U_{15}, & (5u_{33} + u) u^4 &= U_5. \end{aligned} \quad (46)$$

Ezekután a k , A , B , C , D kifejezéseket írjuk fel erre az esetre:

$$\begin{aligned} k_{78} &= u, \\ k_{778} &= 2u, \\ k_{678} &= 3u, \\ k_{66-8} &= 4u, \\ k_{56-8} &= 5u, \\ k_{55-8} &= 6u, \\ k_{45-8} &= 7u, \\ k_{44-8} &= 8u, \\ k_{34-8} &= 9u, \\ k_{33-8} &= 9u + u_{23} = K_{33}, \\ k_{23-8} &= 9u + u_{23} u_{33} = K_{23-5}, \\ k_{22-8} &= 9u + u_{22} + u_{23} + u_{33} = K_{223}, \\ k_{12-8} &= 9u + u_{12} + u_{22} + u_{23} + u_{33} = K_{123}, \\ k_{11-8} &= 9u + u_{11} + u_{12} + u_{22} + u_{23} + u_{33} = K_{113}; \end{aligned} \quad (47)$$

$$\begin{aligned} A_{678} &= u^2, \\ A_{66-8} &= 3u^2, \\ A_{56-8} &= 5u^2, \\ A_{55-8} &= 10u^2, \\ A_{45-8} &= 15u^2, \\ A_{44-8} &= 21u^2, \\ A_{34-8} &= 28u^2, \\ A_{33-8} &= (28u + 8u_{33}) u = U_8, \\ A_{23-8} &= (9u_{23} + 8u_{33} + 28u) u^2 = U_9, \\ A_{22-8} &= (9u_{23} + 8u_{33} + 28u) u^2 + (9u + u_{33}) u_{22} = U_9 + u_{22} K_{33}; \end{aligned} \quad (48)$$

$$\begin{aligned}
 B_{56-8} &= u^3, \\
 B_{55-8} &= 4u^3, \\
 B_{45-8} &= 10u^3, \\
 B_{44-8} &= 20u^3, \\
 B_{34-8} &= 35u^3, \\
 B_{33-8} &= (35u + 21u_{33}) u^2 = U_{21} \\
 B_{23-8} &= (35u + 21u_{33} + 28u_{23}) u^2 = U_{28}, \\
 B_{22-8} &= U_{28} + (28u + 8u_{33}) u^2 U_{22} = U_{28} + U_8 u_{22};
 \end{aligned}
 \tag{49}$$

$$\begin{aligned}
 C_{45-8} &= u^4, \\
 C_{44-8} &= 5u^4, \\
 C_{34-8} &= 15u^4, \\
 C_{33-8} &= (15u + 20u_{33}) u^3 = U_{20}, \\
 C_{23-8} &= (15u + 20u_{33} + 35u_{23}) u^3 = U_{35}, \\
 C_{22-8} &= U_{35} + (35u + 21u_{33}) u^2 u_{22} = U_{35} + u_{22} U_{21};
 \end{aligned}
 \tag{50}$$

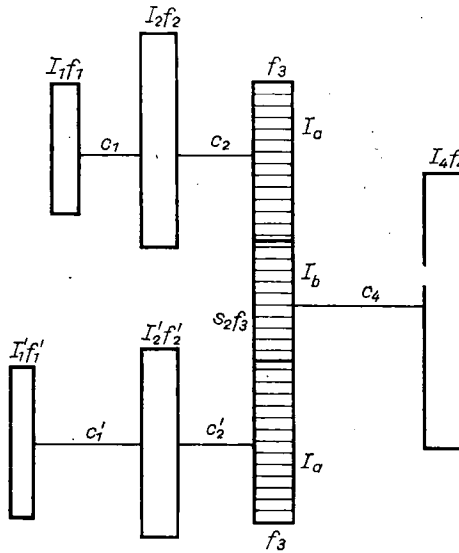
$$\begin{aligned}
 D_{34-8} &= u^5, \\
 D_{33-8} &= (u + 5u_{33}) u^4 = U_5, \\
 D_{23-8} &= (u + 5u_{33} + 15u_{23}) u^4 = U_{15}, \\
 D_{22-8} &= U_{15} + (15u + 20u_{33}) u^3 u_{22} = U_{15} + u_{22} U_{20}.
 \end{aligned}
 \tag{51}$$

Ezek előrebocsátásával felírhatjuk a karakterisztikus egyenletet:

$$\begin{aligned}
 w^{14} - K_{113} w^{12} + (u_{11} K_{223} + u_{12} K_{23-3} + u_{22} K_{33} + U_9) w^{10} - \\
 - [u_{11} (u_{22} K_{33} + U_9) + u_{12} U_9 + u_{22} U_8 + U_{28}] w^8 + \\
 + [u_{11} (u_{22} U_8 + U_{28}) + u_{12} U_{28} + u_{22} U_{21} + U_{35}] w^6 - \\
 - [u_{11} (u_{22} U_{21} + U_{35}) + u_{12} U_{35} + u_{22} U_{20} + U_{15}] w^4 + \\
 + [u_{11} (u_{22} U_{20} + U_{15}) + u_{12} U_{15} + u_{22} U_5 + u_{23} u^5] w^2 - \\
 - [u_{11} (u_{22} U_5 + u_{23} u^5) + U_{12} u_{23} u^5] = 0.
 \end{aligned}
 \tag{52}$$

Ebben az egyenletben további ismétlődéseket látunk, amelyeket azután numerikus számítások során figyelembe lehet venni.

A 14. ábrán látható megoldás számol azzal a lehetőséggel, hogy kettőnél több tömegből álló rendszert 2 tömegű rendszerrel lehet helyettesíteni. Egyébként ez az elrendezés alapja igen sok hajtási megoldásnak, tehát célszerű az általános egyenletet levezetni. A mozgási egyenletek a következők:



14. ábra

$$\begin{aligned}
 I_1 \ddot{f}_1 &= c_1 (f_2 - f_1), \\
 I_1' \ddot{f}_1' &= c_1' (f_2' - f_1'), \\
 I_2 \ddot{f}_2 &= -c_1 (f_2 - f_1) + c_2 (f_3 - f_2), \\
 I_2' \ddot{f}_2' &= -c_1' (f_2' - f_1') + c_2' (f_3 - f_2'), \\
 I_a \ddot{f}_3 &= -c_2 (f_3 - f_2) + P_2 R_2, \\
 I_a \ddot{f}_3 &= -c_2' (f_3 - f_2') + P_2' R_2, \\
 I_b s_2 \ddot{f}_3 &= c_4' (f_4 - s_2 f_3) - (P_2 + P_2') r_2, \\
 I_4 \ddot{f}_4 &= -c_4 (f_4 - s_2 f_3).
 \end{aligned} \tag{53}$$

Mindenekelőtt küszöböljük ki a P_2 és P_2' kerületi erőket.

$$[I_b s_2^2 + 2I_a] \ddot{f}_3 = c_4 s_2 [f_4 - s_2 f_3] - c_2 [f_3 - f_2] - c_2' [f_3 - f_2'].$$

Vezessük be az

$$I_b s_2^2 + 2I_a = I_3$$

jelölést és használjuk fel a mozgási egyenletrendszer első négy egyenletét. Ezáltal a következő egyenletet kapjuk:

$$I_3 \ddot{f}_3 = -s_2 I_4 \ddot{f}_4 - (I_2 \ddot{f}_2 + I_1 \ddot{f}_1) - (I_2' \ddot{f}_2' + I_1' \ddot{f}_1') = 0.$$

Rendezve:

$$I_1 \ddot{f}_1 + I_2 \ddot{f}_2 + I_3 \ddot{f}_3 + s_2 I_4 \ddot{f}_4 + I_1' \ddot{f}_1' + I_2' \ddot{f}_2' = 0.$$

A megoldás:

$$f_i = p_i \cos wt.$$

Ezt behelyettesítve az előző egyenletbe:

$$I_1 p_1 + I_2 p_2 + I_3 p_3 + s_2 I_4 p_4 + I'_1 p'_1 + I'_2 p'_2 = 0.$$

Az egyenletrendszer két első egyenletéből a megoldás behelyettesítésével a következőket kapjuk:

$$\frac{p_1}{p_2} = -\frac{c_1}{-w^2 I_1 + c_1},$$

$$\frac{p'_1}{p'_2} = \frac{c'_1}{-w^2 I'_1 + c'_1}.$$

Bevezetve az u értékeket:

$$I_2 \left[1 - \frac{u_{12}}{w^2 - u_{11}} \right] \frac{p_2}{p_3} + I'_2 \left[-1 - \frac{u'_{12}}{w^2 - u'_{11}} \right] \frac{p'_2}{p_3} + I_3 + s_2 I_4 \frac{p_4}{p_3} = 0.$$

Az itt szereplő különböző p viszonyszámokat az egyenletrendszer többi egyenletéből számíthatjuk ki a következőképpen:

$$\frac{p_4}{p_3} = \frac{s_2 c_4}{-I_4 w^2 + c_4},$$

$$\frac{p_2}{p_3} = \frac{I_3}{I_2} \frac{u_{23}}{-w^2 + u_{12} + u_{22} \frac{u_{11} u_{12}}{-w^2 + u_{11}}},$$

$$\frac{p'_2}{p_3} = \frac{I_3}{I'_2} \frac{u'_{23}}{-w^2 + u'_{12} + u'_{22} \frac{u'_{11} u'_{12}}{-w^2 + u'_{11}}}.$$
(54)

Behelyettesítés után a következő egyenletet kapjuk:

$$\left[1 - \frac{u_{12}}{w^2 - u_{11}} \right] \cdot \left[\frac{u_{23}}{w^2 - u_{12} - u_{22} + \frac{u_{11} u_{12}}{-w^2 + u_{11}}} \right] +$$

$$+ \left[1 - \frac{u'_{12}}{w^2 - u'_{11}} \right] \cdot \left[\frac{u'_{23}}{w^2 - u'_{12} - u'_{22} + \frac{u'_{11} u'_{12}}{-w^2 + u'_{11}}} \right] -$$

$$- s_2^2 \frac{u_{34}}{-w^2 + u_{44}} = 1.$$

Rendezvén az egyenletet, a következő végeredményt kapjuk:

$$\begin{aligned} & \frac{u_{23} [w^2 - u_{11} - u_{12}]}{w^4 - w^2 [u_{11} + u_{12} + u_{22}] + u_{11} u_{22}} + \\ & + \frac{u'_{23} [w^2 - u'_{11} - u'_{12}]}{w^4 - w^2 [u'_{11} + u'_{12} + u'_{22}] + u'_{11} u'_{22}} + \\ & + s_2^2 \frac{u_{43}}{w^2 - u_{44}} = 1. \end{aligned} \quad (55)$$

A jelölésekre nézve pótlólag még annyit jegyzünk meg, hogy

$$u'_{23} = \frac{c'_2}{I_3} \quad \text{és} \quad u_{43} = \frac{c_4}{I_3}.$$

A számítás menete a következő:

Adott w^2 -hoz kiszámítjuk az (54) bal oldalát, és ha az 1-gyel egyenlő, akkor a választás helyes volt. Abban az esetben, ha a két rendszert kéttömegű rendszerre redukáltuk, az I_1 és $I'_1 w^2$ függvényei.

IRODALOM

1. B. I. C. E. R. A.: A Handbook on Torsional Vibration. Cambridge University Press, 1958.
2. BRADBURY, C. H.: Torsional Vibration in Diesel Engines. London 1938.
3. BRADBURY, C. H.: The Geared Marine Engine. The Institution of Mechanical Engineers, 1933.
4. KRÄMER, E.: Elektronische Bestimmung der Drehschwingungen von Schiffsantrieben. *VDI-Zeitschrift* (1960), 1519.

SÍKBELI RÁCSOS TARTÓK RÚDERŐINEK ELLENŐRZÉSE*

RÉDEI ISTVÁN**

MÁV VASÚTTERVEZŐ Ü. V., BUDAPEST

[Beérkezett 1962. március 14-én]

Szerző numerikus eljárást mutat be síkbeli rácsos tartók rúderőinek ellenőrzésére, nevezetesen annak megállapítására, hogy az előzetesen számítással vagy szerkesztéssel megállapított rúderők a dolgozatban említett egyensúlyi feltételnek megfelelnek-e. Az ellenőrző számításához meg kell állapítani az összetartozó rúderők és rúdhosszak szorzatainak algebrai összegét. Ennek alapján az ellenőrző számítás néhány szorzás és összeadás elvégzésével rendkívül gyorsan végrehajtható. Az eljárás egyaránt érvényes külsőleg és belsőleg határozott vagy határozatlan tartókra. A gyakorlati alkalmazást számpéldák mutatják be.

1. Bevezetés

Közös síkban fekvő, csuklókból és rudakból összeállított, ún. síkbeli rácsos tartószerkezetek rúderőinek meghatározására — állandónak képzelt teherállás mellett — a mérnöki gyakorlatban általánosságban az alábbi módszerek használatosak:

a) a *csomóponti módszer* (numerikus vagy grafikus eljárás, Cremona-erőterv);

b) az *átmetsző módszer*, mégpedig: a Culmann-módszer, a Ritter-módszer, a hasonlóságon alapuló eljárás, vagy az ún. kétnyomatéki eljárás.

A gyakorlat ezeket az eljárásokat, a célnak megfelelően, különféle kombinációkban használja. Elég elterjedt módszer például: az összes rúderők meghatározása Cremona-erőtervvel, majd pedig a legnagyobb överők ellenőrzése Ritter-módszerrel.

Az említett eljárások közül a Cremona-erőterv a rácsos tartó valamennyi rúdjának belső erejét egyidejűleg adja meg, a b) alatti módszerek viszont a rácsos tartó egyes rúdjainak határozzák meg a belső erőit. A szerkesztés vagy számítás helyességét az első esetben az a tény igazolja, hogy a Cremona-erőterv „záródik”, a b) alatti módszerek esetén viszont az ellenőrzés a számítás megismétlésével történhetik. Természetesen a Cremona-erőterv, lévén grafikus eljárás, még záródás esetében is rejthet magában hibákat, a szerkesztés, illetve a rajz pontosságának megfelelően.

* Az eredeti kézirat, az itt közölt 6 számpéldán felül további 10 példával, a Magyar Tudományos Akadémia kéziratárában van letétbe helyezve. Jelzete: Ms 10. 454.

** Rédei István, Cházár András utca 19. Budapest, XIV.

Az alant ismertetendő módszer az egyensúlynak egy *szükséges, de nem elégséges* feltételén alapszik, és így az elvégzett ellenőrző számítás alkalmas lehet az eredeti számítás, illetve szerkesztés esetleges hibás voltának kimutatására.

A módszer akkor alkalmazható, ha *a)* a tartóra ható külső erők, beleértve a reakcióerőket is — önmagukban egyensúlyban vannak, *b)* a tartót terhelő külső erők csakis a tartó csuklóin (csomópontjain) hatnak, *c)* a tartóra ható reakcióerők, valamint a tartó összes rúderői már valamely eljárással meghatározást nyertek.

Mintogy *ellenőrző* számításról van szó, fenti három feltételnek természet-szerűleg mindig teljesülnie kell.

A szóban forgó ellenőrző számítás külsőleg vagy belsőleg határozatlan tartók esetében is használható, tehát többtámaszú tartókra, kétsuklós ívtartókra, valamint ún. fölös rudakkal rendelkező rácsos tartókra is alkalmazható. Sőt, az ellenőrzés éppen utóbbi esetekben *különösen célszerű*, hiszen a statikai határozatlanság miatt, a rúderőértékekhez csak hosszabb, bonyolultabb úton juthatunk el, és így számítási hiba lehetősége fokozott mértékben áll fenn.

2. Az alaptétel levezetése

Az ellenőrzés lehetőségét szolgáltató, rendkívül egyszerű összefüggés levezetéséhez szükségünk van a statikából jól ismert alábbi tételre:

Bármely rácsos tartó akkor és csakis akkor lehet nyugalomban, ha valamennyi csomópontján az illető csomópontot terhelő külső erő (vagy külső erők eredője) és az ugyenezen csomópontba befutó rudak belső erői (a rúderők) együttesen egyensúlyban vannak, vagyis a külső erők és a rúderők együttesen zárt vektoridomot adnak.

Ezt úgy is kifejezhetjük, hogy minden egyes csomópontra vonatkozólag a külső erő (vagy erők) és a rúderők vetületösszege a sík bármely egyenesére zérus kell hogy legyen. Ez utóbbi összefüggést fogjuk tételünk levezetésére felhasználni.

2.1. Csuklós háromszög esete

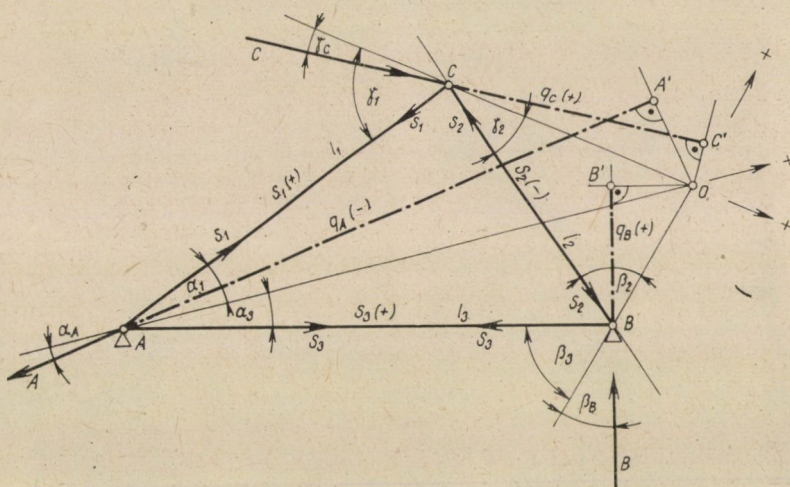
Tekintsük először az 1. ábrán feltüntetett legegyszerűbb esetet. E tartó 3 rúdból és 3 csuklóból álló merev háromszög, melynek *C* pontján hat az egyetlen aktív *C* erő, *A* és *B* pontján hatnak a megtámasztás kényszererői, *A* és *B*. E három erő egyensúlyban van, vagyis

$$(A, B, C) \doteq 0.$$

Tegyük fel, hogy valamely ismert eljárással meghatároztuk az egyes rudakban az *A*, *B*, *C* erők hatására fellépő rúderőket, *S*₁-et, *S*₂-t és *S*₃-t. Ha az *A* pontnál

csuklós, B pontnál vízszintes hengeres megtámasztást tételezünk fel, az A reakcióerő az 1. ábrán feltüntetett irányban hat (lehorgonyzó erő).

A külső erők rúdírányú összetevőire való bontásából kitűnik, hogy az AC és AB rudak húzottak (S_1 és S_3 húzóerő), S_2 viszont nyomóerő. Ha a *csomópontok* egyensúlyi állapotát kívánjuk feltüntetni, ez utóbbi megállapítás azt jelenti, hogy az A pontra ható S_1 és S_3 vektorok a csomóponttól távolodó nyíllal ábrázolandók, S_2 vektora viszont a B , illetve C csomópontok felé mutat, úgy, amint azt az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra

Vegyünk fel ezután a tartó síkjában *tetszőleges* helyen valamely O pontot, és kössük össze rendre a C , A és B pontokkal. Az így nyert OC , OA és OB egyenesekre írjuk fel sorjában az említett vetületi tételt, vagyis fejezzük ki azt, hogy az illető csuklóra ható külső-erő és az ugyanezen pontba befutó rúderők egyensúlyban vannak, tehát vetületeik összege az OC , OA , illetve OB egyenesekre zérus. Egyöntetűség kedvéért nevezzük a vektorok olyan irányú vetületeit, melyek O pont felé mutatnak, pozitívoknak, az ellenkező irányúakat pedig negatívoknak.

Az A pontnál keletkező szögeket α -val, a B pontnál β -val, C pontnál γ -val jelöljük, a segédegyenesnek a külső erő irányával bezárt szögét a külső erő indexével, a rúderők és a segédegyenesek által bezárt szöget pedig a rúderők indexeivel látjuk el. Így a szóban forgó szögek

- az A pontnál: $\alpha_A, \alpha_1, \alpha_2,$
- a B pontnál: $\beta_B, \beta_3, \beta_2,$
- a C pontnál: $\gamma_C, \gamma_1, \gamma_2.$

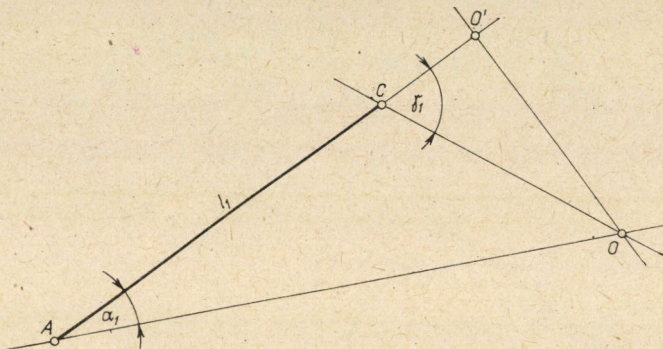
A három vetületi egyenlet:

$$OC \text{ egyenesre: } C \cos \gamma_C - S_1 \cos \gamma_1 - S_2 \cos \gamma_2 = 0,$$

$$OA \text{ egyenesre: } -A \cos \alpha_A + S_1 \cos \alpha_1 + S_3 \cos \alpha_3 = 0,$$

$$OB \text{ egyenesre: } B \cos \beta_B - S_3 \cos \beta_3 - S_2 \cos \beta_2 = 0.$$

Szorozzuk meg az első egyenletet az \overline{OC} távolsággal, a második egyenletet az \overline{OA} távolsággal, a harmadik egyenletet az \overline{OB} távolsággal:



Ia. ábra

$$\begin{aligned} C \cdot \overline{OC} \cdot \cos \gamma_C - S_1 \cdot \overline{OC} \cdot \cos \gamma_1 - S_2 \cdot \overline{OC} \cdot \cos \gamma_2 &= 0, \\ -A \cdot \overline{OA} \cdot \cos \alpha_A + S_1 \cdot \overline{OA} \cdot \cos \alpha_1 + S_3 \cdot \overline{OA} \cdot \cos \alpha_3 &= 0, \\ B \cdot \overline{OB} \cdot \cos \beta_B - S_3 \cdot \overline{OB} \cdot \cos \beta_3 - S_2 \cdot \overline{OB} \cdot \cos \beta_2 &= 0. \end{aligned}$$

Adjuk össze a három egyenletet és mindjárt emeljük ki az S rúderőket:

$$\begin{aligned} C \cdot \overline{OC} \cdot \cos \gamma_C + B \cdot \overline{OB} \cdot \cos \beta_B - A \cdot \overline{OA} \cdot \cos \alpha_A + \\ + S_1 \cdot (\overline{OA} \cdot \cos \alpha_1 - \overline{OC} \cdot \cos \gamma_1) - S_2 \cdot (\overline{OC} \cdot \cos \gamma_2 + \overline{OB} \cdot \cos \beta_2) + \\ + S_3 \cdot (\overline{OA} \cdot \cos \alpha_3 - \overline{OB} \cdot \cos \beta_3) = 0. \quad (1) \end{aligned}$$

Mindenekelőtt állapítsuk meg, mit jelentenek a zárójelekben levő mennyiségek? Evégett hosszabbítsuk meg az AC rúd vonalát (Ia ábra), rajzoljunk rá merőlegest O pontból, és nevezzük az így nyert pontot O' -nek. Az Ia ábrából közvetlenül világos, hogy

$$\overline{O'A} = \overline{OA} \cdot \cos \alpha_1,$$

$$\overline{O'C} = \overline{OC} \cdot \cos \gamma_1,$$

vagyis

$$\overline{OA} \cdot \cos \alpha_1 - \overline{OC} \cdot \cos \gamma_1 = \overline{O'A} - \overline{O'C} = \overline{AC} = l_1,$$

ha ti. az AC rúd hosszát l_1 -nek nevezzük.

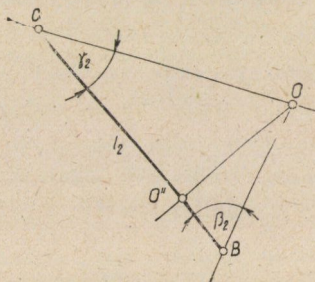
Ugyanígy a BC rúd irányára merőlegest rajzolva (1b ábra)

$$\overline{O''C} = \overline{OC} \cdot \cos \gamma_2,$$

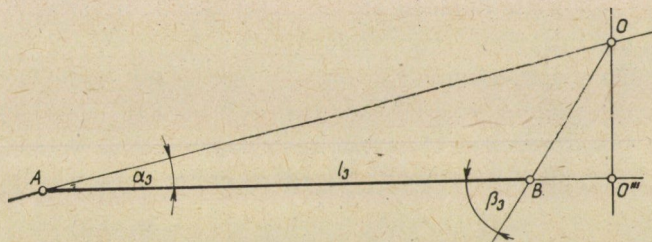
$$\overline{O''B} = \overline{OB} \cdot \cos \beta_2,$$

tehát

$$\overline{OC} \cdot \cos \gamma_2 + \overline{OB} \cdot \cos \beta_2 = \overline{O''C} + \overline{O''B} = \overline{CB} = l_2.$$



1b. ábra



1c. ábra

Végül az O pontból az AB rúd irányára merőlegest rajzolva (1c ábra)

$$\overline{O'''A} = \overline{OA} \cdot \cos \alpha_3,$$

$$\overline{O'''B} = \overline{OB} \cdot \cos \beta_3,$$

vagyis

$$\overline{OA} \cdot \cos \alpha_3 - \overline{OB} \cdot \cos \beta_3 = \overline{O'''B} - \overline{O'''A} = \overline{AB} = l_3.$$

Most még állapítsuk meg, mit jelentenek (1) egyenletünkben a külső erők A , B és C szorzói? Evégett térjünk vissza az 1. ábrához. Rajzoljunk az O pontból a C erő irányára merőlegest, és jelöljük ezen merőlegesnek és a C erő hatásvonalának a metszéspontját C' -vel. Az ábrából azonnal leolvasható, hogy

$$\overline{OC} \cdot \cos \gamma_C = \overline{C'C} = q_C.$$

Ugyanígy az O pontból az A erő irányára merőlegest bocsátva:

$$\overline{OA} \cdot \cos \alpha_A = \overline{A'A} = q_A;$$

végül az O pontból a B erő irányára húzva merőlegest:

$$\overline{OB} \cdot \cos \beta_B = \overline{B'B} = q \cdot B.$$

Mindezeket az (1) egyenletbe behelyettesítve, azt kapjuk, hogy

$$-A q_A + B q_B + C q_C + S_1 l_1 - S_2 l_2 + S_3 l_3 = 0. \quad (2)$$

A (2) egyenlet baloldalán szereplő 4, 5. és 6. összeadandók nem mások, mint az egyes rúderők, szorozva a rúdhosszakkal. Most még emlékezzünk arra, hogy az S_1 és S_3 rúderők a fenti példában húzóerők, melyeket az általános szokás szerint pozitív előjellel szoktunk értelmezni, míg az S_2 rúderő nyomóerő, melyet negatívnak szoktunk értelmezni. Ezért a (2) egyenlet baloldalának három utolsó tagja szimbolikusan így írható:

$$\sum S_i l_i, \quad (i = 1, 2, 3),$$

ha ti. a rúderőknek előjelet tulajdonítunk, és a szummáción algebrai összegezést értünk.

A (2) egyenlet baloldalának három első tagjában szereplő q_A , q_B és q_C hosszúságok a tetszőlegesen felvett O pontból az A , B és C külső erőkre bocsátott merőlegesek „talppontjainak” az erők támadási pontjától mért távolságai.

Egyszerűség okából tekintsük az utóbbi távolságokat is előjeles mennyiségeknek, és állapodjunk meg abban, hogy ezen q távolságokat olyankor tekintjük pozitívoknak, amidőn a külső (A , B , ill. C) erő az O pontból rajzolt merőleges felé mutat.

Példánkban a C erő az OC' egyenes felé mutat, tehát q_C pozitív, a B erő az OB' egyenes felé mutat, tehát q_B pozitív, az A erő az OA' egyenestől elmutat, tehát q_A negatív.

Ezek figyelembevételével a (2) egyenlet első három tagja nem egyéb, mint a külső erők és az előjeles q távolságok szorzatának összege, vagyis

$$\sum P_i q_i, \quad (i = 1, 2, 3).$$

Itt P_i általában külső erőt jelent, q_i a hozzátartozó, előjeles, fentiek szerint értelmezett távolságot. Ezeket a q távolságokat a továbbiakban az erők „karjának” nevezzük.

Végeredményben tehát a fenti előjelszabályokkal a (2) egyenlet így egyszerűsödik:

$$\sum P_i q_i + \sum S_i l_i = 0.$$

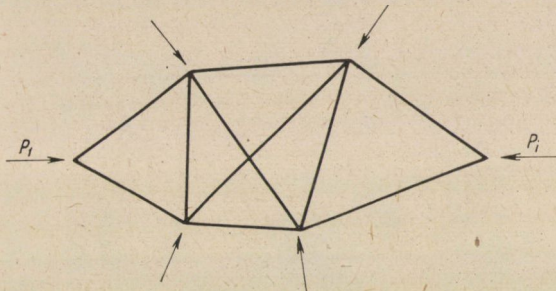
Ha a gyakorlat céljaira a második szummát átvisszük az egyenlet jobboldalára, levezetésünk végső eredménye:

$$\sum S_i l_i = - \sum P_i q_i. \quad (3)$$

Minthogy adott külső erők hatására a keletkezett rúderők is egyértelműen meg vannak határozva, az egyenlet baloldalán álló szumma értéke állandó. Ebből szükségképpen következik, hogy a jobboldal értéke is állandó marad, tehát teljesen független az O pont felvételétől.

2.2. Az általános eset

Az előzőekben példaképpen bemutatott legegyszerűbb alapeset után hátra van még annak igazolása, hogy a (3) összefüggés bármilyen síkbeli (külsőleg vagy belsőleg határozott vagy határozatlan) tartóra fennáll, feltéve, hogy a tartó a megadott külső erők hatására nyugalomban marad. Evégett tekintsük a 2. ábrán feltüntetett általános alakú rácsos tartót. Feltételeink



2. ábra

szerint a tartóra egyensúlyban levő erőrendszer hat, melynek hatására az egyes rudakban belső erők, rúderők keletkeznek.

Valamely ismert eljárással, statikai úton, munkaegyenletekkel stb. meghatároztuk a megtámasztások kényszererőit, valamint az összes rúderőket, tehát ezek a mennyiségek valamennyien ismerteknek tételezendők fel.

Ezekután vegyük fel az előzőekhez hasonlóan, bárhol a tartó síkjában az O kezdőpontot, kössük össze ezt a pontot rendre a rácsos tartó valamennyi csomópontjával, és írjuk fel a 2.1 alattiakhoz hasonlóan, valamennyi így nyert segédegyenesre a vetületi tételt. Ezáltal pl. az i -edik csomópont esetén a következő összefüggést kapjuk:

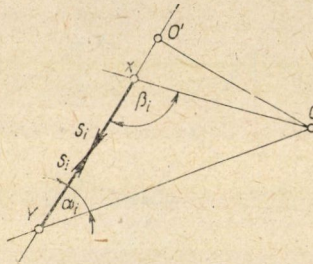
$$P_i \cos \alpha_i + S_j \cos \alpha_j = 0.$$

Ilyen egyenletet pontosan annyit írhatunk fel, ahány csomópontja a szerkezetnek van. Minden egyenletet ezután megszorozzuk a szóban forgó csomópont és a felvett O pont távolságával. Ha az így nyert valamennyi egyenletet összeadjuk, a keletkező új egyenletben kétféle tagok lesznek: egyrészt olyan tagok, melyekben a P_i külső aktív és kényszererők szerepelnek, másrészt olyan tagok, melyekben az S_j rúderők szerepelnek. Természetesen az összevont egyenlet jobboldalán zérus marad.

A felvétel természetéből következik, hogy az összegezett egyenletben minden külső erő csak *egyetlen egy tagban* szerepel. A mellette álló szorzó ismét nem más, mint az előző példán bemutatott q távolság, vagyis az erő támadáspontja és az O pontból az erő irányára bocsátott merőleges metszéspontja közötti *előjeles* q távolság. Az S_i rúderők mindegyike ezzel szemben két összeadandóban (tagban) szerepel, ti. minden rúd két végpontjához képzelt segédegyenesre vonatkozó vetítésekben (3. ábra), vagyis ilyen alakban:

$$S_i \cdot \overline{OY} \cdot \cos \alpha_i - S_i \cdot \overline{OX} \cdot \cos \beta_i = S_i [\overline{OY} \cos \alpha_i - \overline{OX} \cos \beta_i].$$

Ámde, figyelembe véve az O' segédpontot, a zárójelben levő mennyiség ismét nem más, mint l_i , vagyis az i -edik rúd hossza; miért is bármilyen rácsozású



3. ábra

síkbeli tartóra kimondható az előbbi, az egyszerű csuklós háromszögre levezetett alaptétel, miszerint:

$$\sum S_i l_i = - \sum P_i q_i. \quad (4)$$

Szavakban kifejezve: *a nyugalomban levő rácsos tartón az összes előjeles rúderők és hozzájuk tartozó rúdhosszak szorzatának algebrai összege egyenlő az összes külső erők és fentiekben értelmezett előjeles karok szorzatának algebrai összegével. A két összeg ellenkező előjelű.*

2.3. Az ellenőrző számítás végrehajtása

A fentiekben ismertetett összefüggés alapján lehetőség nyílik a rácsos tartók rúderőinek gyors, egyszerű ellenőrzésére.

Az ellenőrzés végrehajtásához természetesen ismernünk kell a tartó alakját, az egyes rúdhosszakat, a terhelő aktív erőket, a kényszererőket (reakcióerőket), valamint magukat a rúderőket.

Ezek szerint a (4) összefüggés felírásakor már eleve ismertek az S_i , l_i , P_i mennyiségek. A q_i hosszakat ugyan még nem állapítottuk meg, de mint a következő példákban ki fog tűnni, a gyakorlati esetek túlnyomó többségében a tartó alakjának megadásával ezek is meg vannak határozva, vagyis külön

számítást nem igényelnek. Ily módon az ellenőrzéshez nincs másra szükség, mint már megadott vagy kiszámított mennyiségek összeszorzására és két algebrai összeadásra. Ezzel az ellenőrző számítás be is van fejezve.

Ellenőrző számítások során általában fel szokták vetni az ellenőrzés függetlenítettségének kérdését. Két szám összeszorzásakor, ha a szorzást egyszerűen és sorrendi változtatás nélkül (tényezők felcserélése nélkül) végezzük el, könnyen elkövethetjük ugyanazt a hibát; az ilyen ellenőrzés tehát nem teljes értékű. Az itt vázolt eljárás ebből a szempontból kifogástalannak nevezhető, mert az eredeti számítástól (vagy szerkesztéstől) teljesen független úton halad.

A gyakorlat szempontjából a (4) összefüggés jobboldala, vagyis a $\Sigma P_i q_i$ kifejezés, az esetleges durva hibáktól eltekintve, *kifogástalan és pontos* értéknek tekintendő. Mint látni fogjuk, ez az érték legtöbb esetben akár fejben is kiszámítható. Amennyiben a baloldal, vagyis a $\Sigma S_i l_i$ kifejezés ettől eltér, úgy a hiba a rúderők nagyságában, előjelében, esetleg a rúdhosszak pontatlanságában keresendő.

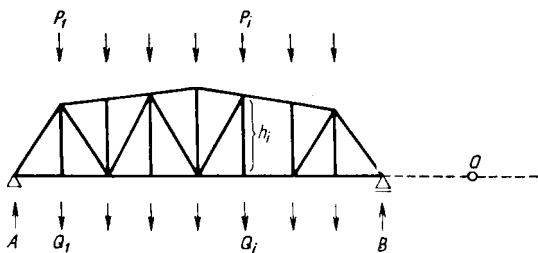
A bal- és jobboldal esetleges eltérése természetesen nem ad tájékoztatást az elkövetett hiba nagyságára vonatkozólag, hiszen a hiba vagy pontatlanság előállhat egyetlen rúdnál is, de előállhat pl. valamennyi rúderőnél elkövetett pontatlanságból is.

Talán felesleges hangsúlyozni, hogy az ismertetett ellenőrző eljárás csak olyankor alkalmazható, ha a rúderőket állandó teherállásból számították. Hidak főtartóin, ahol a keresett maximális rúderőket a teher helyének változtatásával kapjuk meg, e módszer közvetlenül nem alkalmazható. Viszont rácsos hídfőtartók önsúly okozta rúderőinek számításakor már jól használható, ugyanígy hidak szélrácsain, lehajlásszámításokban, valamint úgyszólván kivétel nélkül minden magasépítési szerkezeten, egyszóval mindazon esetekben, amelyekben az egész szerkezetre egyetlen terhelő erőrendszer alapján számították ki a belső erőket. — Ilyen esetekben — jelen tanulmány írójának véleménye szerint — mindig érdemes elvégezni a fenti egyszerű ellenőrző számítást.

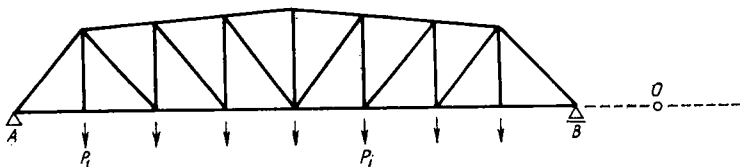
Különösen nagy jelentősége van a leírt ellenőrzésnek statikailag határozatlan szerkezeteken. Mint ismeretes, az ilyen tartókon magukhoz a tényleges rúderőkhöz csak hosszabb, körülményesebb számítások után jutunk. Hiba elkövetésének számos forrása van, a végeredmények ellenőrzése pedig az eddigi eljárások szerint meglehetősen körülményes. Az itt vázolt módszer viszont minden változtatás nélkül alkalmazható, a végső „kontroll” gyorsan és egyszerűen adódik. Meg kell jegyezni, hogy *statikailag határozatlan* tartókra a (4) egyenlőség fennállása szorosan véve csak annyit mond, hogy az előzetesen szilárdságtani úton kiszámított rúderők egyidejű jelenléte *lehetséges*, de nem ad támpontot arra nézve, hogy a statikai határozatlan mennyiségek megállapítása helyesen történt-e.

Még mielőtt a példákra rátérnénk, egy gyakorlati megjegyzést teszünk. Mint láttuk, az O pont helye teljesen szabadon választható. Célszerű azonban olyan O pont választása, melynél az aktív és kényszererők közül minél több kiesik a jobboldali szummációból, ti. oly módon, hogy a vonatkozó q karok zérussal egyenlők.

A 4. ábrán vázolt speciális esetben pl. az O pontot célszerű az AB egyenesen (annak bármely pontján) felvenni. Ilyen felvétel mellett a (4) egyenlet jobboldalán szereplő szummából az A , B és $(Q_1—Q_n)$ erők kiesnek, minthogy az O pontból az utóbbiak irányára rajzolt merőlegesek metszéspontjai az erők



4. ábra



5. ábra

támadópontjaival egybe esnek ($q = 0$). Így a jobboldalon kizárólag csak a felső övet terhelő erők $P_i \cdot h_i$ szummája marad, ha ti. a felső öv magasságát az i -edik csomópontban h_i -nek nevezzük.

Még ennél is egyszerűbb az ellenőrzés alsópályás rácsos hidakon, ha az aktív erőket (vonatsúly, önsúly) az alsó öv csomópontjain összpontosítva képzeljük (5. ábra). Ilyenkor az O pontot ismét AB egyenes vonalában képzelve, valamennyi külső erő előbbiekben értelmezett q karja zérus. Tehát ebben a legspeciálisabb esetben

$$\sum S_i l_i = 0. \quad (5)$$

3. Számpéldák

3.1. példa

Ellenőrizzük a 6. ábrán feltüntetett, statikailag külsőleg-belsőleg határozott tartót! Az egyetlen terhelőerő a 2. csomóponton hat, értéke

$$P = 10Mp.$$

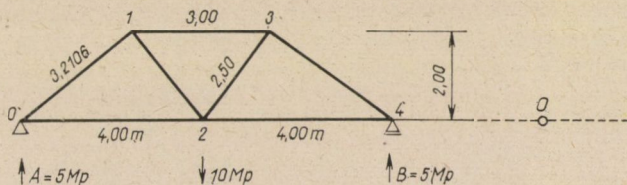
Az O pontot az alsó öv vonalán elképzelve, az (5) képlet alapján eleve tudjuk, hogy

$$\Sigma P \cdot q = 0,$$

tehát kell hogy

$$\Sigma S_i l_i = 0$$

legyen. A rúderőket és rúdhosszakat számítással határoztuk meg. Az ellenőrző számítás eredményét az I. táblázat tartalmazza.



6. ábra

I. táblázat

A 3.1. szám példa ellenőrzése

A rúd jele	Rúdhossz (l) [m]	Rúderő (S) [Mp]	Sl [Mpm]	
			-	+
0-2	4,000	6,25		25,000
0-1	3,202	- 8,004	25,626	
1-3	3,000	-10,000	30,000	
1-2	2,500	6,25		15,625
2-4	4,000	6,25		25,000
3-4	3,202	- 8,004	25,626	
2-3	2,500	6,25		15,625
		ΣSl	-81,252	+81,250

Az I. táblázat szerint

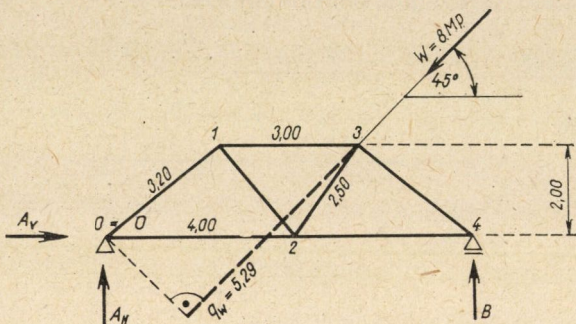
$$\Sigma Sl = -81,252 + 81,250 = -0,002 \text{ Mpm},$$

tehát az (5) feltételtől való eltérés lényegtelen. Az alig számba vehető eltérés a rúdhossz számításának gyökvonás és igazítás útján előálló pontatlanságából származik.

3.2. példa

Ellenőrizzük a 3.1. példában szereplő tartót, de a terhelőerő most a 3.1. példától eltérően a 3. csomóponton támadó, a vízszintessel 45° -os szöget bezáró $W = 8 \text{ Mp}$ nagyságú ferdeerő legyen (7. ábra). A rúdhosszakat számítással, a reakcióerőket és rúderőket Cremona-féle szerkesztéssel határoztuk meg. Az O pontot legcélszerűbb a baloldali csuklóban, azaz a 0 csomópont helyén

felvenni. Ez esetben ugyanis az A reakciónak mind a vízszintes, mind a függőleges összetevője a (4) szummáció jobboldalán kiesik (ti. mindkettőnek q „karja” zérus), ugyancsak kiesik B reakció is, és így a (4) összefüggés jobboldalán egyedül a W külső erő marad meg, a hozzátartozó „karral”. A W erő karját az ábrán vastag szaggatott vonalozással tüntettük fel, értéke szerkesztéssel megállapítva $q_w = +5,29$ m.



7. ábra

Így tehát a jobboldali összeg:

$$\Sigma Pq = Wq_w = 8 \cdot 5,29 = +42,32 \text{ Mpm.}$$

Az ellenőrző számítást a II. táblázat tartalmazza.

A II. táblázat szerint

$$\Sigma SI = -64,87 + 22,67 = -42,20 \text{ Mpm,}$$

II. táblázat

A 3.2. számpélda ellenőrzése

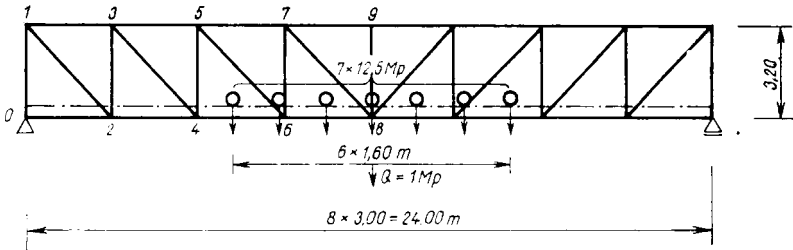
A rúd jele	Rúdhossz (l) [m]	Rúderő (S) [Mp]	SI [Mpm]	
			-	+
0-2	4,00	-1,68	6,72	
0-1	3,20	-5,07	16,22	
1-3	3,00	-6,36	19,08	
1-2	2,50	+3,98		9,95
2-4	4,00	+3,18		12,72
2-3	2,50	-3,98	9,95	
3-4	3,20	-4,03	12,90	
		ΣSI	-64,87	+22,67

vagyis az ellenőrző képlet bal- és jobboldala között az eltérés minimális, értéke mindössze 0,12 Mpm. Ez azt mutatja, hogy a Cremona-féle erőterv segítségével meghatározott rúderők pontossága a gyakorlati igényeket teljesen kielégíti.

3.3. példa

Ellenőrizzük KORÁNYI I.: *Tartók Sztatikája* című könyvének I. kötetében (I. kiadás, 1953.) az 597. oldalon található tartót (8. ábra).

A kiváló szerző az ábrán feltüntetett vasúti híd főtartójának középső csomópontján keletkező függőleges elmozdulás értékét kívánja megállapítani az ábrán feltüntetett $7 \cdot 12,5$ Mp mozdonyterhelés hatására. A megoldáshoz szükség van egyrészt a terhelő mozdony, másrészt a középső csomóponton elképzelt 1 Mp teher hatására keletkező valamennyi rúderő értékére. A kétféle erőhatásra keletkező rúderők meghatározása számítással történt, azonban az



8. ábra

értékek kinyomatásakor nyilvánvaló elírás történt, mégpedig, amint az alábbiakból azonnal ki fog tűnni, a mozdony okozta rúderőknél.

Az ellenőrző számítás céljára vegyük fel az O pontot az alsó öv vonalában. Ez esetben az (5) összefüggés értelmében

$$\Sigma Pq = 0$$

tartozik lenni. Ezzel szemben az említett könyvoldalról kiírva a rúderőket és a rúdhosszakat (csak a fél tartóra), a III. táblázatban feltüntetett értékeket találjuk.

A III. táblázat szerint:

$$\Sigma SI = -1574,10 + 1528,24 = -45,86 \text{ Mpm},$$

ami lényegesen eltér az (5) képlet szerint megkövetelt zérus értéktől. Ilyen nagy eltérés nem származhatik sem a rúdhosszak, sem a rúderők pontatlan számításából! Valóban, újra átszámítva a rúderőket, kitűnik, hogy

$$\text{a 4—5 rúderő — 43,75 Mp helyett — 35,42 Mp},$$

$$\text{a 6—7 rúderő — 18,75 Mp helyett — 12,09 Mp}.$$

Fenti helyesbítések után a szummációt újból elvégezve, (a számítást nem részletezzük)

$$\Sigma Pq = 0 \text{ helyett } \Sigma SI = -0,09 \text{ Mpm-re adódik.}$$

III. táblázat

A 3.3. szám példa ellenőrzése

A rúd jele	Rúdhossz (l) [m]	Rúderő (S) [Mp]	SI [Mpm]	
			-	+
0-2	3,0	0		
2-4	3,0	41,0		123,0
4-6	3,0	82,0		246,0
6-8	3,0	115,2		345,6
1-3	3,0	- 41,0	123,0	
3-5	3,0	- 82,0	246,0	
5-7	3,0	-115,2	345,6	
7-9	3,0	-126,5	379,5	
0-1	3,20	- 43,75	140,0	
2-3	3,20	- 43,75	140,0	
4-5	3,20	- 43,75	140,0	
6-7	3,20	- 18,75	60,0	
8-9	3,20/2	0		
1-2	4,39	60,10		263,84
3-4	4,39	60,10		263,84
5-6	4,39	48,60		213,35
7-8	4,39	16,54		72,61
ΣSI			-1574,10	+1528,24

A másik terhelési esetre, nevezetesen a középső csomóponton működő $Q = 1$ Mp teher hatására keletkező rúderők kiszámítása gyakorlatilag teljesen pontos, ti. a rúderők és rúdhosszak szorzatának szummája

$$-12,025 + 12,017 = -0,008 \text{ Mp,}$$

ami a zérustól alig tér el.

Ha a példában számított lehajlást fenti javításokkal vesszük figyelembe, akkor az 2,08 cm-nek adódik, a példában kimutatott 2,22 cm-rel szemben.

3.4. példa

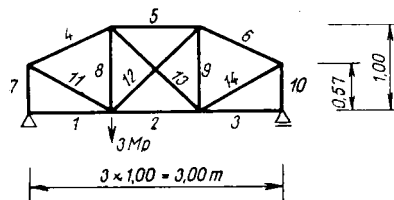
Ellenőrizzük a *Stahlbau-Handbuch* 1. kötetének (I. kiadás, Köln, 1956) 214. oldalán található tartót (9. ábra)!

Ez a tartó belsőleg statikailag egyszeresen határozatlan. Feloldása oly módon történt, hogy a 13 jelű rudat képzeletben elvágták, és helyében 1—1 Mp erők alkotta 0-értékű erőpárt működtettek. A statikailag fölös mennyiséget munkaegyenlettel határozták meg. A számítás végeredményét a IV. táblázat adja meg. Ennek utolsó két oszlopa az ellenőrző számítás adatait tartalmazza.

IV. táblázat

A 3.4. szám példa ellenőrzése

A rúd jele	Rúdhossz (l) [cm]	Rúderő (S) [Mp]	SI [Mpcm]	
			-	+
1	100	0		
2	100	1,29		129
3	100	0		
4	106	-2,15	228	
5	100	-1,67	167	
6	106	-1,07	113	
7	57	-2,00	114	
8	100	1,13		113
9	100	-0,27	27	
10	57	-1,00	57	
11	115	2,30		264
12	141	0,97		137
13	141	-0,44	62	
14	115	1,15		132
ΣSI			-768	+775



9. ábra

A végeredményként nyert

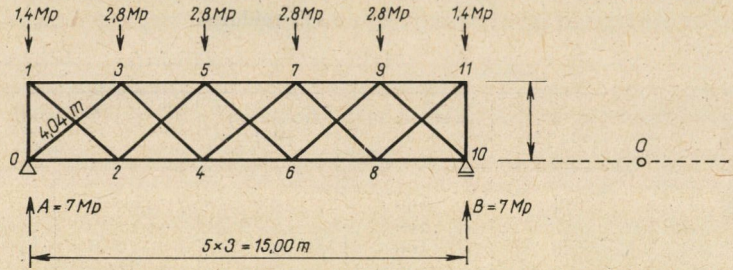
$$\Sigma SI = -775 + 768 = -7 \text{ Mpcm}$$

érték az (5) képlet szerint megkövetelt zérus értéktől alig tér el, tehát az eredeti számítás elég pontosnak tekinthető.

3.5. példa

Ellenőrizzük A. GREGOR: „Stahlbau, Berechnung der statisch bestimmten Tragwerke” című könyvének (I. kiadás, Berlin, 1960) 518–519. oldalán található tartót (10. ábra)!

Ez a tartó belsőleg statikailag egyszerűen határozatlan. Feloldása a mérnöki gyakorlatban szokásos közelítő módon, három lépésben történt. Az első lépésben a fél terhelésre és a ferde rudak feléből alkotott statikailag határozott tartóra határozták meg a rúderőket, a második lépésben pedig a másik fél-külső terhelésre és az első alkalommal kihagyott ferde rudakból álló tartóra állapították meg a rúderőket. A számítás harmadik lépésében az első



10. ábra

két számítási lépésben megállapított rúderőket összeadták. A rúderők meghatározása szerkesztés útján történt. A szerkesztések végeredményét, egyszerűsített az ellenőrző számítást az V. táblázat tünteti fel.

V. táblázat

A 3.5 számpélda ellenőrzése

A rúd jele	Rúdhossz (l) [m]	Rúderő (S) [Mp]	SI [Mpm]	
			-	+
1-3	3,00	-2,50	7,50	
3-5	3,00	-6,85	20,55	
5-7	3,00	-8,70	26,10	
7-9	3,00	-6,85	20,55	
9-11	3,00	-2,50	7,50	
0-2	3,00	3,70		11,10
2-4	3,00	8,70		26,10
4-6	3,00	10,00		30,00
6-8	3,00	8,70		26,10
8-10	3,00	3,70		11,10
0-1	2,70	-3,64	9,83	
10-11	2,70	-3,64	9,83	
0-3	4,04	-5,00	20,20	
2-5	4,04	-3,30	13,33	
4-7	4,04	-0,85	3,43	
6-9	4,04	0,85		3,43
8-10	4,04	3,30		13,33
0-2	4,04	3,30		13,33
3-4	4,04	0,85		3,43
5-6	4,04	-0,85	3,43	
7-8	4,04	-3,30	13,33	
9-10	4,04	-5,00	20,20	
		ΣSI	-175,77	+137,92

Összegezve az V. táblázat adatait, ellenőrző képletünk baloldalának végösszege:

$$\Sigma SI = (-175,77 + 137,92) = -37,85 \text{ Mpm.}$$

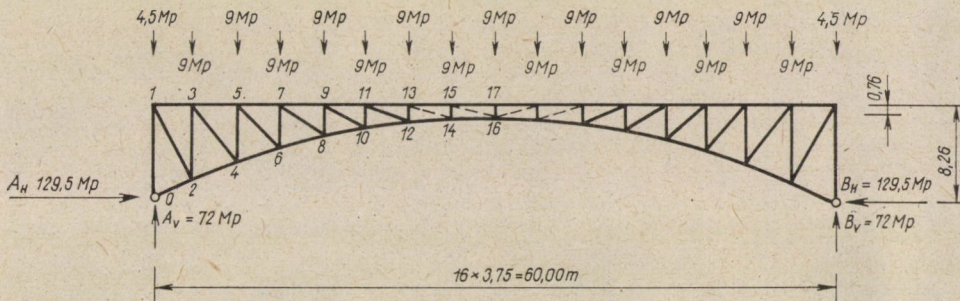
Ezzel szemben a jobboldal, kezdőpontunkat az alsó öv egyenesében felvéve:

$$Pq = 5 \cdot 2,8 \cdot 2,7 = 37,85 \text{ Mpm.}$$

A szerkesztéssel megállapított rúderők értékei tehát teljesen pontosak.

3.6. példa

Ellenőrizzük W. RITTER: „Anwendungen der graphischen Statik” című könyve (I. kiadás, Zürich, 1900) 4. kötetének 153. oldalán található tartót!



11. ábra

Szóban forgó tartó, szerkezetét tekintve, kétsuklós ívtartó, tehát külsőleg statikailag egyszerűen határozatlan. A statikai úton meg nem határozható vízszintes irányú csuklóreakciót a könyv szerzője a rugalmas súlyok módszerével állapította meg, és azt találta, hogy

$$A_H = B_H = 129,5 \text{ Mp.}$$

A reakciók függőleges összetevői:

$$A_v = B_v = 72 \text{ Mp.}$$

A rúderőket Cremona-féle erőtervvel szerkesztette meg. (Az eredeti szerkezet a 13—13' csomópontok között tömör gerinclemezes tartó. Erre való tekintettel fenti csomópontok közötti képzelt rúderők számítással határozattak meg.)

Az eredmények, egyszersmind ellenőrző képletünk baloldalának részösszegei a VI. táblázatból vehetők ki.

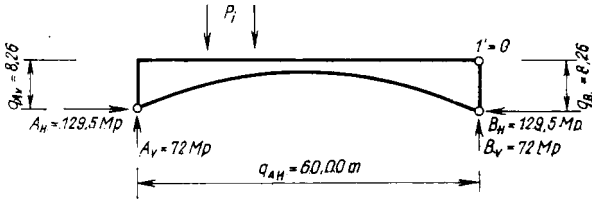
Ellenőrző képletünk baloldali szummája:

$$\Sigma SI = 2 \cdot (655,48 - 1620,0 - 3104,21 - 423,01) = -8983,48 \text{ Mpm.}$$

A jobboldali szumma meghatározására legcélszerűbb a felső öv 1' csomópontját O pontnak választani (11a ábra). Ez esetben az összes aktív erők karja, továbbá

VI. táblázat
A 3.6. számpélda ellenőrzése

A rúd jele	Rúdhossz (l) [m]	Rúderő (S) [Mp]	S _t [Mpm]
<i>Felső öv</i>			
1— 3	3,75	— 1,8	— 6,75
3— 5	3,75	— 5,6	— 21,00
5— 7	3,75	— 14,1	— 52,88
7— 9	3,75	— 27,3	— 102,37
9—11	3,75	— 46,5	— 174,38
11—13	3,75	— 78,4	— 294,00
13—15	3,75	—118,7	— 445,12
15—17	3,75	—139,6	— 523,50
			—1620,00
<i>Alsó öv</i>			
0— 2	4,20	—144,6	— 607,32
2— 4	4,06	—138,4	— 561,90
4— 6	3,96	—130,6	— 517,18
6— 8	3,88	—119,7	— 464,44
8—10	3,83	—104,8	— 401,48
10—12	3,79	— 83,9	— 317,14
12—14	3,77	— 51,4	— 193,60
14—16	3,75	— 11,0	— 41,25
			—3104,21
<i>Oszlopok</i>			
0— 1	8,26	— 7,5	— 61,95
2— 3	6,42	— 13,8	— 88,60
4— 5	4,86	— 17,0	— 82,62
6— 7	3,58	— 18,0	— 64,44
8— 9	2,55	— 20,0	— 51,00
10—11	1,76	— 19,0	— 33,44
12—13	1,19	— 18,4	— 21,90
14—15	0,85	— 18,4	— 15,64
16—17	0,76/2	— 9,0	— 3,42
			— 423,01
<i>Ferde rudak</i>			
1— 2	7,43	3,6	+ 26,75
3— 4	6,14	6,2	+ 38,07
5— 6	5,18	11,8	+ 61,12
7— 8	4,53	16,0	+ 72,48
9—10	4,14	21,2	+ 86,92
11—12	3,94	33,4	+ 131,16
13—14	3,85	44,2	+ 169,28
15—16	3,83	18,2	+ 69,70
			+ 655,48



IIa. ábra

BH erő q karja zérussal egyenlő. Ennek megfelelően a jobboldali szumma:

$$2 \cdot 72 \cdot 8,26 = 1189,44 \text{ Mpm}$$

$$129,5 \cdot 60 = 7770,00 \text{ Mpm}$$

$$\Sigma Pq = 8959,44 \text{ Mpm}$$

A különbség:

$$8983,48 - 8959,44 = 24,04 \text{ Mpm.}$$

Ez ugyan nem zérus, de a szerkesztés így is kielégítő pontosságúnak tekinthető.

MEMBRÁNREAKCIÓK NÉLKÜLI TORZNÉGYSZÖGHÉJ

SZMODITS KÁZMÉR

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1962. augusztus 30-án]

A dolgozat torznégyszögperemű, lapos hiperbolikus paraboloidhéj belső erőinek meghatározásával foglalkozik a peremen szabadon felfekvő megtámasztás esetén. A vizsgálat a lapos héjak Vlaszov-féle egyenletének a differenciaeljárással való megoldásával történik. A számpélda eredményei szerint a héjban jelentős hajlító hatások lépnek fel, és így a „héhátás” ellenére a héj nyomatékai nem lényegesen kisebbek a hasonló méretű síklemez nyomatékainál.

Az állandó teherrel terhelt, $z = cxy$ egyenlettel jellemzett négyszögperemű hiperbolikus paraboloidhéj (torznégyszöghéj) membránerői — mint ismeretes — az $F = 0$ kerületi feltételekkel igen egyszerűen meghatározhatók. E kerületi feltétel szerint a héj oldalnyomásmentes, és így a héj terhét a peremszerkezetekre csupán a peremvonal menti N_{xy} membránerők adják át. Az N_{xy} peremerők lapos héjaknál nagyok, és azok felvétele költséges peremszerkezetet igényel. Ezért fontos annak tisztázása, hogy a szóban forgó héj az $F = 0$ és $F_{xy} = 0$ kerületi feltételekkel megoldható-e, ami az alábbi definíciók szerint azt jelenti, hogy a héj terhét a peremszerkezetekre csupán a peremvonalra merőleges nyomatéki nyíróerők adják át.

Legyen a vizsgált héj kislejtésű lapos torznégyszöghéj, melynek Vlaszov-féle egyenletei [1]:

$$\begin{aligned} \Delta \Delta F &= 2cDw' \\ K \Delta \Delta w &= -2cF'' + p. \end{aligned} \quad (1)$$

Itt $w = w(x, y)$ a hajlított héjlemez rugalmas felülete, $F = F(x, y)$ a membránerők feszültségfüggvénye, $p = p(x, y)$ a héj függőleges terhe, továbbá $D = Eh$ és $K = Eh^3/12(1 - \mu^2)$ a h vastagságú és E rugalmasságú modulusú anyagból készült héj merevségi tényezői. A felső vesszőindex x szerinti, a felső pontindex pedig y szerinti differenciálást jelent.

A Vlaszov-féle egyenletcsoport első egyenlete a membránalakváltozások és a hajlítási alakváltozások közti összeférhetőségi feltételt, második egyenlete pedig azt fejezi ki, hogy a lapos héj a terhet részben mint hajlított lemez, részben pedig mint membránhéj hordja.

A membránerők, illetve nyomatékok F -fel, illetve w -vel a következő kapcsolatban vannak:

$$N_x = F''; \quad N_y = F''; \quad N_{xy} = -F''; \quad M_x = -Kw'';$$

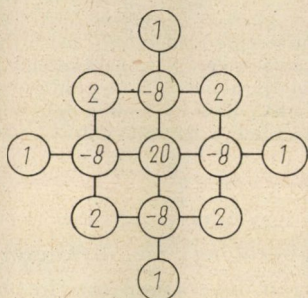
$$M_y = -Kw''; \quad M_{xy} = -Kw''.$$

Az (1) egyenletek kerületi feltétele

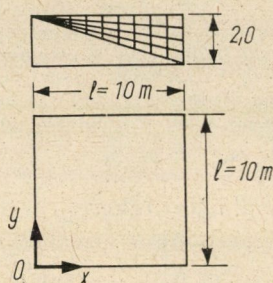
$$F = F_{xy} = 0; \quad w = \Delta w = 0, \quad (2)$$

vagyis F kerületi feltétele a peremén befogott, w kerületi feltétele pedig a peremén szabadon felfekvő lemez kerületi feltételével azonos.

Az (1) egyenleteket a (2) kerületi feltételek mellett differenciaeljárással numerikusan oldjuk meg. A héj téglalaprajzát egy négyzethálózattal borít-



1. ábra



2. ábra

juk be és az (1) differenciálegyenletet a (2) feltételek figyelembevételével e hálózat csomópontjaira felírt differenciaegyenletek rendszerével helyettesítjük. Mivel minden csomópontra két egyenlet írható fel, az egyenletek száma azonos a belső csomópontok számának kétszeresével, melyekből az F és w keresett függvények értékei minden belső csomópontra meghatározhatók.

A $\Delta \Delta$ operáció differenciaegyenlet alakjában való végrehajtását az (1) ábrán feltüntetett ismert séma szerint végezzük.

Szám példa

Határozzuk meg a leírt eljárással a (2) ábrán feltüntetett torznégyszöghéj belső erőit. Geometriai és statikai adatok

$$z = 0,02 \text{ xy},$$

$$p = 0,3 \text{ Mp/m}^2 \text{ h} = 0,06 \text{ m},$$

$$D = 2\,500\,000 \cdot 0,06 = 150\,000 \text{ Mp/m},$$

$$K = 2\,500\,000/12\,000\,216 = 45 \text{ Mpm}.$$

A négyzethálózat osztástávolsága $d = 2,5 \text{ m}$.

Az (1) egyenletben nem szereplő taggal bővített

$$z = cxy + \frac{cl}{2}(l - x - y)$$

héjfelület a négyzetalaprajz átlóira szimmetrikus. E szimmetria figyelembevételével az ismeretlen F és w értékeket az I. táblázat tünteti fel:

I. táblázat

		$-w_1$	$-w_2$	$-w_4$		
	0	0	0	0	0	
$-w_1$	0	w_1	w_2	w_4	0	$-w_4$
$-w_2$	0	w_2	w_3	w_2	0	$-w_2$
$-w_4$	0	w_4	w_2	w_1	0	$-w_1$
	0	0	0	0	0	
		$-w_4$	$-w_2$	$-w_1$		

		F_1	F_2	F_4		
	0	0	0	0	0	
F_1	0	F_1	F_2	F_4	0	F_4
F_2	0	F_2	F_3	F_2	0	F_2
F_4	0	F_4	F_2	F_1	0	F_1
	0	0	0	0	0	
		F_4	F_2	F_1		

Az I. táblázat értékeivel felírt differenciaegyenletek szerkezetéből kiténik, hogy F és w értékei közt a következő kapcsolatok állnak fenn:

$$F_2 = F_3 = 0; \quad F_1 = F; \quad F_4 = -F \quad w_1 = w_4.$$

Ezek figyelembevételével az I. táblázat a II. táblázattá egyszerűsíthető.

II. táblázat

		$-w_1$	$-w_2$	$-w_1$		
	0	0	0	0	0	
$-w_1$	0	w_1	w_2	w_1	0	$-w_1$
$-w_2$	0	w_2	w_3	w_2	0	$-w_2$
$-w_1$	0	w_1	w_2	w_1	0	$-w_1$
	0	0	0	0	0	
		$-w_1$	$-w_2$	$-w_1$		

		0	$-F$	0	$+F$	0
	0	0	0	0	0	0
$-F$	0	$-F$	0	$+F$	0	$+F$
0	0	0	0	0	0	0
$+F$	0	$+F$	0	$-F$	0	$+F$
0	0	0	0	0	0	0
		0	$+F$	0	$-F$	0

Az (1) egyenleteket helyettesítő differenciaegyenletek a II. táblázat értékeivel felírva.

$$20 w_1 - 16 w_2 + 2 w_3 = \frac{pd^4}{K},$$

$$-16 w_1 + 24 w_2 - 8 w_3 = \frac{pd^4}{K},$$

$$8 w_1 - 32 w_2 + 20 w_3 = -\frac{2cd^2}{4K} 4F + \frac{pd^4}{K},$$

$$20 F = \frac{2cDd^2}{4} w_3.$$

A negyedik egyenlettel F -et kiküszöbölve, és az ismert tagokat kiszámítva, az

$$20 w_1 - 16 w_2 + 2 w_3 - 0,26042 = 0,$$

$$-16 w_1 + 24 w_2 - 8 w_3 - 0,26042 = 0,$$

$$8 w_1 - 32 w_2 + 22,604 w_3 - 0,26042 = 0,$$

egyenletekhez jutunk, melyekből az ismeretlenek:

$$w_1 = 0,1076 \text{ m}, w_2 = 0,1396 \text{ m}, w_3 = 0,1711 \text{ m}.$$

Ezen értékekből számított M_x nyomatékok a belső pontokban Mpm/m-ben kifejezve:

0,5443	0,4610	0,5443
0,7787	0,4532	0,7787
0,5443	0,4610	0,5443

Összehasonlítás céljából közöljük a síklemez $K \Delta w = p$ egyenletének hasonló megoldásával nyert lehajlásait:

$$w_1 = 0,1424 \text{ m}; w_2 = 0,1953 \text{ m}; w_3 = 0,2686 \text{ m}.$$

Ezen értékekből számítva, a síklemez M_x nyomatékai Mpm/m-ben kifejezve a következők:

0,6445	0,7617	0,6445
0,7617	1,0546	0,7617
0,6445	0,7617	0,6445

Az eredmények összevetéséből kitűnik, hogy a héjlemezben fellépő M_x nyomatékok alig kisebbek a síklemez M_x nyomatékainál.

A fenti számpéldából az a tanulság vonható le, hogy a membránreakciók nélküli torznégyszöghéj nem előnyös szerkezet, mert a nyomatékok nem zavaró jellegűek. E nyomatékoknak a terhek hordásában lényeges szerepük van és a szokásos ($4 \div 8$ cm) vastagságú héjlemezzel fel sem vehetők.

IRODALOM

- [1.] WLASOW, V. S.: Allgemeine Schalentheorie und ihre Anwendungen in der Technik. Berlin 1958.

TRANZLÁCIÓS FELÜLETŰ HÉJ NÉGYSZÖGALAPRAJZ FELETT

CSONKA PÁL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

AZ MTA ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI MUNKAKÖZÖSSÉGE, BUDAPEST

[Beérkezett 1962. szeptember 6-án]

A dolgozat négyszögalaprajz fölé szerkesztett, translációs felület alakú oly héjat ismerttet, mely terheinek jelentős részét membránerőkkel képes egyensúlyozni. A héj oldalnyomásmentes peremívekre támaszkodik. A középfelület vezérgörbéi egyszerű polinomokkal jellemezhető oly görbék, melyek mindenütt véges görbületűek, érintőjük pedig sehol sem függélyes. Ily módon a zsaluzat készítése és a vízszigetelés, az [1], illetve [2] dolgozatban említett héjalakoktól eltérően, semmiféle nehézségbe sem ütközik.

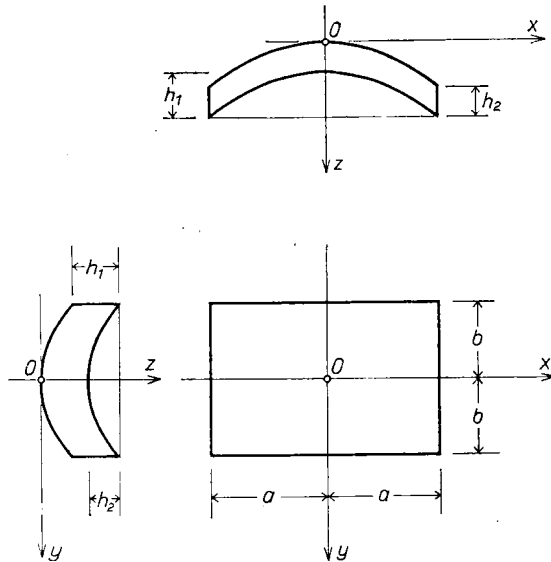
A dolgozat a gyakorlat szempontjából fontos terhelési esetekben a héj feszültségfüggvényére egyszerűen kezelhető közelítő képleteket ad. A közelítő feszültségfüggvénynek megfelelő teherrendszer a héjperemek környezetének kivételével jól egyezik a tényleges terheléssel. Ez a körülmény az alkalmazott közelítés jogosságát igazolja.

Szerző két előző dolgozatában [1, 2] különleges alakú vezérgörbével bíró oly translációs héjak alkalmazását javasolta, melyek számítása a membránelmélet szerint igen egyszerűen volt elvégezhető. E számítástechnikai előnnyel szemben viszont kifogásolható volt a javasolt héjak peremrészeinek erősen görbült volta, valamint az a körülmény, hogy a héj középfelületének vezérgörbéi függélyes végérintőkkel csatlakoztak a peremívekhez. Ezen okok miatt a héj peremrészein a zsaluzat elkészítése körülményessé vált, s nehézséget jelentett a héjperemek vízszigetelése amiatt is, mert a szigetelő lemezek a héjról lecsúsztak.

Az alábbiakban Szerző az általa javasolt héjalak oly módosítását mutatja be, mely az említett kiviteli nehézségek kiküszöbölését teszi lehetővé. Az ismerttetendő héj a peremívek környezetének kivételével membránerőkkel egyensúlyozható, mégpedig úgy, hogy a peremíveket csak azok síkjában ható erők terhelik. A peremszakaszok egyensúlyozásához viszont hajlító és csavaró nyomatékok, vagy a peremívek síkjára merőleges támasztó erők is szükségesek. E hatások vizsgálatára jelen dolgozat nem tér ki.

Az itt ismerttetendő héj középfelületeként az [1], illetve [2] alatt javasolt héj középfelületét leíró függvény Mac-Laurin sorának első tagjai által jellemzett felületet választjuk. A középfelület egyenlete a

$$\xi \equiv \frac{x}{a}, \quad \eta \equiv \frac{y}{b}$$



1. ábra. Transzlációs felület szerint alakított héj négyszögalaprajz felett

jelölésekkel (1. ábra)

$$z = f(\xi, \eta) = A a^2 b^2 \left[\frac{\xi^2}{1 \cdot 2} + \frac{\xi^4}{3 \cdot 4} + \dots + \frac{\xi^{2m}}{(2m-1) 2m} \right] + \\ + B a^2 b^2 \left[\frac{\eta^2}{1 \cdot 2} + \frac{\eta^4}{3 \cdot 4} + \dots + \frac{\eta^{2n}}{(2n-1) 2n} \right],$$

ahol

$$4 \leq m \leq 6, \quad 4 \leq n \leq 6,$$

az A és B együtthatók értéke pedig

$$A = \frac{h_1}{a^2 b^2 \left[\frac{1}{1 \cdot 2} + \frac{1}{3 \cdot 4} + \dots + \frac{1}{(2m-1) 2m} \right]}, \\ B = \frac{h_2}{a^2 b^2 \left[\frac{1}{1 \cdot 2} + \frac{1}{3 \cdot 4} + \dots + \frac{1}{(2n-1) 2n} \right]},$$

A héj feszültségi állapotának leírására a Pucher-féle feszültségfüggvényt használjuk. Ez a függvény általában az

$$f_{\xi\xi} F_{\eta\eta} - 2f_{\xi\eta} F_{\xi\eta} + f_{\eta\eta} F_{\xi\xi} + a^2 b^2 Z = 0$$

differenciálegyenletnek tartozik megfelelni, ahol $Z = Z(\xi, \eta)$ a héj alaprajzi vetületi területére vonatkoztatott terhelés fajlagos értékét jelenti. A jelen

különleges esetben

$$f_{\xi\xi} = A a^2 b^2 (1 + \xi^2 + \xi^4 + \dots + \xi^{2m-2}) = A a^2 b^2 \frac{1 - \xi^{2m}}{1 - \xi^2},$$

$$f_{\xi\eta} = 0,$$

$$f_{\eta\eta} = B a^2 b^2 (1 + \eta^2 + \eta^4 + \dots + \eta^{2n-2}) = B a^2 b^2 \frac{1 - \eta^{2n}}{1 - \eta^2},$$

úgyhogy az előbbi differenciálegyenlet a következő különleges alakot ölti:

$$A \frac{1 - \xi^{2m}}{1 - \eta^2} F_{\eta\eta} + B \frac{1 - \eta^{2n}}{1 - \eta^2} F_{\xi\xi} + Z = 0.$$

Maguk a redukált feszítő erők az F feszültségfüggvény segítségével így fejezhetők ki:

$$n_x = \frac{1}{b^2} F_{\eta\eta},$$

$$n_{xy} = -\frac{1}{ab} F_{\xi\eta},$$

$$n_y = \frac{1}{a^2} F_{\xi\xi}.$$

1. táblázat

$A P(\xi, \eta)$ polinom

$Z(\xi, \eta)$	$P(\xi, \eta)$
c_{00}	$\frac{c_{00}}{2A + 2B}$
$c_{10} \xi$	$\frac{c_{10} \xi}{2A + 6B}$
$c_{01} \eta$	$\frac{c_{01} \eta}{6A + 2B}$
$c_{20} \xi^2$	$\frac{c_{20} \xi^2}{2A + 12B} + \frac{2 c_{20} B}{(2A + 12B)(2A + 2B)}$
$c_{11} \xi\eta$	$\frac{c_{11} \xi\eta}{6A + 6B}$
$c_{02} \eta^2$	$\frac{c_{02} \eta^2}{12A + 2B} + \frac{2 c_{02} A}{(12A + 2B)(2A + 2B)}$

Mint hogy a héj peremívei feltevésünk szerint oldalnyomásmentesek, az F függvény által teljesítendő peremfeltételek:

$$[F_{\eta\eta}]_{\xi=\pm 1} = 0, \quad [F_{\xi\xi}]_{\eta=\pm 1} = 0.$$

Az alábbiakban a feladat pontos feszültségfüggvénye helyett az

$$F^* = P(\xi, \eta) (1 - \xi^2) (1 - \eta^2)$$

közelítő feszültségfüggvénnyel dolgozunk, ahol $(P(\xi, \eta))$ a ξ és η hatványai szerint haladó valamely véges polinom. Ennek együtthatóit a határozatlan együtthatók módszerével úgy állapítjuk meg, hogy a közelítő feszültségfüggvénynek megfelelő Z^* terhelésfüggvény a héjperemek környezetének kivételével csak kevéssé térjen el az adott Z terhelésfüggvénytől.

A gyakorlatban fontossággal bíró terhelési esetekben $P(\xi, \eta)$ polinomként az 1. táblázatban található polinomot célszerű választani.

IRODALOM

1. CSONKA P.: A kétmenetű héjak egyik különleges fajtájáról. *VI. Osz. Közl.* 15 (1955), 249–260.
2. CSONKA P.: A translációs felület szerint alakított héjakról. *VI. Osz. Közl.* 15 (1955), 333–345.
3. NYFFELER, H.: Eine interessante Translationsschale. *Schweizerische Bauzeitung* 76 (1958), 735–736.

ÖSSZEFÜGGÉSEK MELEGFORRÁSOK ÉS KARSZTVIZEK KÖZÖTT A DUNÁNTÚLI KÖZÉPHEGYSÉGBEN MEGFIGYELT VISZONYOK ALAPJÁN

II. rész*

VENDEL MIKLÓS
AKADÉMIKUS

ÉS

KISHÁZI PÉTER
MTA GEOFIZIKAI KUTATÓ LABORATÓRIUM, SOPRON

[Beérkezett 1962. december 19-én]

A tanulmány a karsztvíz eredetű melegforrások keletkezésével foglalkozik, különös tekintettel a Dunántúli Középhegységhez kapcsolódókra. A bevezető rész a keletkezés megvilágításához szükséges néhány általános földtani települési formának és egyes kőzeteknek, illetve kőzetsoportoknak termikus viselkedésével, ezek értékelésével és a bennük tárolt, áramlásra képes víz mozgásával foglalkozik. Ennek kapcsán rámutat a jó hővezető karbonátos kőzetű és karsztvizet tároló hegység, illetve kőzettömeg, s az ezt részben fedő rossz hővezető (és vízzáró), főleg agyagos jellegű kőzetekből álló medenceüledékek közt mutatkozó jelentős hővezetésieltérés folytán fellépő termikus anomáliákra, amely pedig a melegforrásokat szolgáló karsztvíz mozgásában szerephez jut. E termikus anomália áramlást indít meg a hegységből a medence felé. A hegységet részlegesen fedő medenceüledékeknek a hegységre boruló alsó felülete mentén ugyanis nagyobb a hőmérséklet, mint ugyanazon a szinten az érintkezéstől távolabb a karbonátos hegységben. Ez pedig egymagában is már áramlásnak indíthatja a hegységben a csapadékból állandóan táplálkozó karsztvizet, amely az üledéktakaró alatt bizonyos távolságig és mélységig, mégpedig addig, ahol már a medencére jellemző földtani geotermikus gradiens jelentkezik, behatol, s onnan visszafordulva e hidegebb vízáramlás felett, de még az üledéktakaró alsó lapja alatt a karsztosodott karbonátos kőzetekben már mint melegvíz áramlik a karbonáthegység-medenceüledék felszíni érintkezési vonala felé, ahol azután melegforrás alakjában a felszínre lép. E folyamatot a tanulmány alááramlásnak nevezi. Részletebben elemzi a dolgozat a földi hőáramnak e melegforrások keletkezésében való szerepét. Végül megkísérli a Dunántúli Középhegység körülbelüli karsztvíz mérlegét, valamint a földi hőáramérték alapján a karsztvíz közelítő hőmérgét felállítani, s összefoglalva adja az alááramlásból származó, budapesti típusúnak elnevezett karsztvíz eredetű melegforrások keletkezésében szereplő ismert, valamint valószínűsíthető feltételeket is.

4. Az eddigi fontosabb elméletek kritikai értékelése és az alááramlási elmélet

Amint a budapesti melegforrások eredetére vonatkozó, e tanulmány I. részében bemutatott nézetekből látható, általában komoly eltérések mutatkoznak a különböző szerzők véleménye közt. KESSLER H. alapos vizsgálatai után ma már a karsztvíz eredet — úgy látszik — nehezen lenne tagadható, de meggondolandó lehet a melegforrásokat közvetlenül tápláló meleg vizeknek a Budai hegységből egyszerűen csupán az első peremi törésvonalig történő mozgatásával való származtatása. Vitathatónak gondoljuk a profundus

* A tanulmány I. része e folyóirat 32. kötetének 393—418. lapjain jelent meg.

elképzelést. A mi felfogásunk bizonyos mértékben hasonlít a SCHAFARZIK F. és a vele szinte egyező KÜHN I.—SCHERF E.-féle nézethez.

Mi úgy látjuk, hogy az a nézet, mely szerint a budapesti hévizek vadózus karsztvízeredetűek (SCHAFARZIK F., KÜHN I., SCHERF E., KESSLER H.) helytálló. Ugyancsak valószínűnek tartható a hegységből Ny-i irányból érkező víznek a medence harmadkori üledékköpenye alatt történő felszállása, lényegében már K-i irányból a felszínig, valamint ennek az üledékköpenynek, mint vízzárónak és hőrekesztőnek a szerepe, továbbá az eltérő hőmérsékletű hévizek hőmérsékletkülönbségeire vonatkozó ama feltevés, hogy a felemelkedő hévizek kisebb-nagyobb fokban elegyednek hidegebb karsztvízzel, s végül a karsztvizeknek a hegységben elfoglalt magasabb helyzetéből, valamint a hideg és meleg víz eltérő sűrűségéből adódó hidrosztatikai nyomáskülönbség mozgató, illetve felhajtó szerepe (ezt később különösen még PÁLFY M. is hangsúlyozta).

A Budai (és a Pilis) hegység üregekkel, kavernákkal, törésekkel, litoklázisokkal átjárt mély karsztja karsztvizet tárol. Itt természetesen nemcsak a legfiatalabb, de az idősebb karsztosodásokkal is számolnunk kell. A legújabb — pannóniai idő utáni — karsztosodás erősebben karsztosodott övének mélységét a hegységben ez idő szerint nagyobb pontossággal még nem ismerjük. Ez a legkésőbb kialakult legfiatalabb karsztos öv a hegységperem vetődéses törései mentén, de ott is, ahol a peremen a harmadkori üledéktakaró törés nélkül egyszerűen csak ráfekszik a nála idősebb karsztosodású felszínére a karbonátos kőzettömegnek, közvetlen összeköttetésben lesz egymással, tehát a különböző korú karsztosodásból származó üregrendszerek, továbbá a tektonikából eredő hasadék-litoklázis rendszerek egymással közlekedőcsövű vízösszekötéses kapcsolatban várhatók. Amint említettük már, Budapesten a harmadkori üledéktakaró alatt a triász karbonátos kőzetek felső része a triász-eocén közti időszakaszban karsztosodott erősen, majd újabb — már az eocén mészkövet is ért — rövidebb időszakaszú karsztosodással számolhatunk az interoligocén letarolás idején, valamint a miocénben több ízben is, de ekkor már nem nagy jelentőséggel. Ez utóbbiak, valamint a pannóniai idő utáni legfiatalabb karsztosodás a nagyalföldi medencerész letakart karbonáttömegeit természetesen már nem érthette.

Amint említettük, a karsztosodás mélységére vonatkozóan nincsenek teljesen pontos adataink. WILLEMS T. és HARSÁNYI A. szerint [21] Dorogon, de egyebütt is [22] az eocén előtti karsztos öv az eocén barnakőszéntelege alatti fedett karsztban 30—40 m vastag övben erőteljesebb, továbbá lefelé mintegy 70 m-ig a karsztosodás foka a fúrásminták tanúsága szerint azonban már észrevehetően csökken. Minthogy többszörös karsztosodással számolhatunk, továbbá a hajdani völgyek, süllyedékek fölé 70 m-nél magasabbra kiemelkedő hegyek is léteztek a karsztosodási időszakokban a triász óta, melyeket az eocén elöntés üledékei fokozatosan ugyancsak lefedtek, nem

lehetetlen, hogy legalábbis helyenként, az eocén előtti karsztosodottság övét a megadottnál vastagabbnak tarthatjuk. Továbbá a Középhegységben, így a Budai hegységben is, az elterjedt és nem ritkán mélyre nyúló tágulások harántvetődések, törések felső, még nyitottabbnak ítélt részei, valamint a réteglapok és az erősen töredezett kőzetek litoklázisai ugyancsak biztosíthatnak kissé nagyobb mélységig is terjedő vízkapcsolatokat a dolomit-mésző tömegeken belül, de egyben a vízmozgást bonyolultabbá is teszik, amelyek beható ismeretének hiánya miatt az ezekből eredő jelenségekkel éppen ezért tovább nem foglalkoztunk. A Duna-balparti medencerész fiatal üledéktakarója alatt a triász legfelső részében a dorogi eocén előtti karsztosodottsághoz hasonló viszonyokat várhatunk. Felette azonban az arra alkalmas eocénközettagok karsztosodásával is számolnunk kell.

A karsztvíz tükrét a Budai hegységben ismeretesen [9] a Duna, mint megcsapoló bázis szabályozza, minthogy a Duna helyenként a dolomitot érinti. Például a Gellérthegynél a Duna ágya alatt közvetlenül dolomit van [23], vagy egyes részeken attól csupán vékony vízáteresztő pleisztocén-holocén képződmények választják el. A hegység karsztvizének kapcsolata a Duna vizével egyébként karsztvíztárolás esetében eocén képződményeken át is lehetséges. (Sőt ebből a szempontból még a budai márga is tekintetbe veendő.)

A geológiai településviszonyok, amint ez a 12. ábrán (I. I. rész 412. o.) bemutatott idealizált szelvényből kitűnik, a budapesti melegforrások keletkezésére a 10. ábrán (I. I. rész 403. o.) szemléltetett eset magyarázatát alkalmazhatjuk. A különbség csupán annyi, hogy Budapesten a karsztosodott (triász és eocén) karbonát kőzettömegekre boruló fiatal üledéktakaró valószínűleg nem egyszerű ferde lapú rátelepedésben van, hanem általánosságban lépcsős, vetődéses érintkezéssel számolhatunk, az egyes rögöket a vízrekesztő oligocén kiscelli agyag azonban összefüggően takarja le, úgy amint ezt *Vendl A.* általunk kissé módosított szelvénye a 12. ábrán mutatja.

A melegforrások keletkezését úgy képzelhetjük el, hogy a Budai hegység jó hővezető karbonáttömegének felszínére jutásakor a geoizotermák mélyebbre húzódtak, szemben a rossz hővezető fiatal üledéktakarójában fellépőkkel. A felszínre jutástól kezdve előbb olyan termikus viszonyok jelentkeznek, amelyeket a 8., majd későbbi állapotban a 10. ábra rögzít. A karsztosodott karbonáttömegben tárolt karsztvíz hőmérséklete előbbinek a fiatal takarójával való érintkezésénél melegebb lesz, mint ugyanezen a szinten távolabb a karbonátkőzetekben. Ez a jelenség a gravitációs térben megindítja a takaró alsó lapja alatt közvetlenül a vízjáratokban a melegebb (kisebb sűrűségű) víz felfelé történő áramlását, amivel együtt jár majd a hegység belsejében állandóan pótlódó hidegebb (nagyobb sűrűségű) karsztvíz oldalas áramlása is a járatokban a felszálló melegvíz alatt, úgy, amint ezt előbb már részlete-

sen leírtuk. A letarolás előrehaladása, amelyet a Nagyalföld leszakadása csak elősegített (bár ezt nem tartjuk feltétlenül döntőnek), a karbonátos hegységnek a síkságból való kiemelkedésére vezetett, amivel együtt járt a karsztvíztükörnek a karsztvíz hegységperemi kilépési pontjánál magasabb helyzete a hegységben. Az áramlás fenntartásában természetesen és ismeretesen szerepe van a hegységbeli karsztvíztükör és a kilépési hely közti szintkülönbségből eredő hidrosztatikai felhajtásnak is. A hideg és meleg víz eltérő sűrűségéből adódó felhajtó hatásra a budapesti melegvizekkel kapcsolatban különösen PÁLFY M. mutatott rá [24]. A tartósan kialakult állapotot a 10. ábra figyelembevételével rajzoltuk meg a budapesti szelvényben.

A budapesti szelvényben a dolomit-mészakő-hegység vetődéses törés mentén érintkezik a kiscelli agyaggal, s a törésen száll fel a melegforrások vize. A törés természetesen kedvez a melegvizek kilépésének, de nem feltétlenül szükséges fellépte. Amint említettük már, egyszerűen (pl. transzgresszív) ferdelapú rátelepülése a vízzáró üledéktagnak a karsztos kőzetekre nézetünk szerint ugyancsak lehetővé teheti melegforrások felléptét az érintkezés vonalában. Itt rámutatunk arra, hogy önállóbb, másoktól erősebben vagy szinte gyakorlatilag teljesen elszigetelt járatokat ugyancsak lehetségesnek tartunk, azonban ezekre is áll az alááramlás jelensége.

Gyakran figyelhető meg, hogy igen kis területen fakadó, látszólag egy kis forráscsoportba fogható források eltérő hőmérsékletűek (pl. a Császárfürdő—Lukácsfürdő forrásai esetében). E jelenségnek, amint említettük, SCHAFARZIK F. már közel 40 évvel ezelőtt megkísérelte magyarázatát adni [14]. Szerinte a hőmérsékletkülönbségek oka a különböző mélységből és oldaláramlásokból érkező eltérő hőmérsékletű vizeknek a harmadkori köpeny alatt felszálló hévízárammal való és eltérő arányú keveredése. SCHAFARZIK e felfogására egyébként támaszkodva azonban úgy gondoljuk, hogy a keletről visszaáramló meleggé vált és a nyugatról magasan érkező legfelső hideg karsztvíznek a felszínre lépés közelében, vagyis nem nagy mélységben bekövetkező különböző arányú elegyedésével számolhatunk, ami az egész közeli források hőmérsékleteltéréseit magyarázhatja. A kialakult hőmérsékleteket az elegyedő vizek hőmérsékletén kívül erősen befolyásolja azok tömege is. Mindezek szoros kapcsolatban vannak, továbbá a különböző vizeket hozó vízjáratok jobb-rosszabb összefüggéseivel, valamint e járatok méreteivel is. Ilyen formán tehát jól érthető, hogy még a közvetlenül egymás melletti források hőmérsékletében, de vízszolgáltatásában is, lehetségesek eltérések. Ezzel kapcsolatban részben elfogadhatjuk KESSLER H.-naka budai hévizek különböző hőfokának kialakítására vonatkozó ama nézetét is, hogy a karsztvizet vezető járatok különböző mélységben torkolnak a hévforrások vizét szállító főtörésvonalakba olyanformán, hogy az áramlások során egymástól eltérő utakat tehet meg a víz, ami pedig eltérésekre vezet. Mellékesen megjegyezzük még, hogy Budapesten a Duna magas vízállásakor ismeretesen ott, ahol a karszt-

vizet tároló kőzeteket, illetve a forrásokat a folyamtól vagy csupán vékony vízáteresztő képződmény választja el, vagy pedig közvetlen az érintkezés, a forrásokat tápláló karsztvízbe dunavíz is bejuthat. A különböző vizek elegyedésével, valamint a Dunának a forrásokra gyakorolt hatásával igen behatóan foglalkozott PAPP F. munkatársaival. Dolgozataikban sok és érdekes idevágó mérési adat is található.

A 12. ábra szelvényének szerkesztésénél a karbonátos kőzetek hővezetőképességét az irodalom, valamint BOLDIZSÁR T. által mért és szívességéből rendelkezésünkre bocsátott gellérthegyi két dolomiton végzett mérései alapján átlagosan $8 \cdot 10^{-3}$ cal/cm.sec. °C-nak, a mészkő-dolomit kőzetekre boruló fiatal medencebeli üledéktakaróét pedig ugyancsak BOLDIZSÁR T.-nak a Nagyalföld harmadkori kőzeteire megadott átlagértéke szerint [25] $4,0 \cdot 10^{-3}$ cal/cm sec °C-kal vettük.

Az irodalomban a dolomitokra és tömör mészkővekre például alábbi értékek találhatók [26]:

Dolomit (Gerhardminnebronn) 25° C-on	$10,9 \cdot 10^{-3}$ cal/cm sec °C
Dolomit 25 °C-on	$10,9 \cdot 10^{-3}$ cal/cm sec °C
Dolomit 0 °C-on	$11,9 \cdot 10^{-3}$ cal/cm sec °C
Tömör mészkővek	$4,8-8,2 \cdot 10^{-3}$ cal/cm sec °C

Ezekhez vehetjük még a BOLDIZSÁR-féle 2 gellérthegyi dolomit hővezetőképességi értékét: porózus dolomit $5,19 \cdot 10^{-3}$ cal/cm sec °C, dolomit a vízműnél $9,76 \cdot 10^{-3}$ cal/cm sec °C. Ezek alapján úgy gondoljuk, hogy kb. $8,0 \cdot 10^{-3}$ átlagos hővezetőképesség a karbonátos kőzetek esetében tényleg megfelelő értéknek tekinthető. A szerkesztéshez szükséges földi hőáram értékét pedig ugyancsak BOLDIZSÁR T. nagy fontosságú vizsgálatai során a Nagyalföldre és a Dunántúlra megállapított értékeire támaszkodva $2-2,2 \cdot 10^{-6}$ cal/cm²sec-mal vettük egyenlőnek [25, 27, 28, 29]. BOLDIZSÁR T. a Nagyalföldre valószínű értéként egyik tanulmányában [25] $2,4 \cdot 10^6$ cal/cm² sec, a Dunántúlra pedig [27] $2,0-2,2 \cdot 10^6$ cal/cm² sec-ot adott meg. Elvileg a tényleges értéktől való kisebb eltérés esetlegessége további tárgyalásunkban nem okoz zavart, az általunk számított számokat csupán a kétféle fluxus-érték viszonya alapján kell megváltoztatni. Ez érték alapján a karbonátos közettömegben normális gg-ként 40 m, illetve 36,4 m, a fiatal üledékekben pedig 20 m, illetve 18,2 m gg számítható. A fellépő termikus anomália és a vízáramlás azonban változást okoz egyrészt a karsztos hegység felső részében, továbbá a karsztos hegység és fiatal üledéktakarójának érintkezése melletti övben. A geológiai geotermikus gradiens emelkedése és csökkenése egyaránt előfordul, s ezenkívül szakaszosan negatív érték is lehetséges.

A budapesti szelvényben (12. ábra) igyekeztünk e változásokat is érzékeltetni. Minthogy ezekről kvantitatíve még jóformán semmit sem tudunk, csupán jelezhetjük a rajzban ezek felléptét. „Normális” földtani geotermikus gradienssel a hegységben csupán nagyobb mélységben, a két, az alföldi és a

déldunántúli medencében pedig csak az alááramlás megszűnése után eső további részekben számolhatunk.

A budapesti karsztvíz eredetű magas hőmérsékletű forrásokat „*budapesti típusú*” néven foglalhatjuk össze s a Dunántúli Középhegység peremi melegforrásainak legalábbis egy része is ebbe a típusba sorolható. A Föld számos helyén várható hasonló geológiai és hidrogeológiai viszonyok közt ilyen típusú hévforrás fellépte. Ilyenek vizsgálatával később óhajtunk még foglalkozni.

A budapesti melegforrások keletkezésére a fentebbiekben körvonalazott felfogásunkból következik, hogy a Nagyalföld alá a hegységből behatoló hidegebb karsztvíznek termikus sűrűségkiegyenlítődései hidegebbnek kell lennie annál a víznél, amely visszafordulásából származik, s közvetlenül a vízzáró harmadkori takaró alatt a karsztosodott hegység és az előbbi érintkezése felé mozog. Ebből azonban az is következik, hogy a Nagyalföld alá eső részben a triász és eocén karsztosodott karbonátos kőzetekben tárolódó karsztvízszármazású víznek behatolási távolságig és mélységig a fiatal üledéktakaró alatt egészen fent (a visszaáramlás övében) általában melegebbnek kell lennie, mint bizonyos mélységig, az áramlás övében, alatta. Más szóval a meleg víz hőmérséklete bizonyos mélységig csökken, majd mélyebben ismét emelkedik. A vázolt kép alapján azonban e kritikus övben szakaszosan negatív geológiai geotermikus gradiens várható. Ebből következtethető azonban, hogy Budapesten (vagy bárhol, ahol hasonló származású és helyzetű meleg víz van) az alföldi részeken fúrással feltárt meleg víz hőmérséklete továbbfúrásnál általában egy ideig nem nő, hanem éppen bizonyos mélységig süllyedni fog. Ha ez kimutatható, ez egyben a vázolt keletkezési elmélet helyességének egyik bizonyítékául is szolgálhat (l. egyikünk ide vonatkozó régebbi közlését is [30]). Erre vonatkozóan a következő példákkal szolgálhatunk:

A Gellértfürdőnél a Gellérthegy tövében melegvízfeltárás céljából egy, a Gellérthegy DK-i peremtörését képező ÉNy-i csapású vetődéstől mintegy 50 m-rel É-ra (SCHERF és KÜHN [15]) 142 m-ig fúrtak. A fúrás 9 m mélységtől a talpig dolomitban haladt. A vetődéstől D-re a közelben már ott van a vízzáró kiscelli agyag. PÁLFY M. szerint [24] a víz hőmérséklet 11,5 m mélyen 32 C° volt. A maximális hőmérsékletet 71,58 m-ben PÁLFY 48,6 C°-nak, KÜHN és SCHERF pedig 48,8 C°-nak adja, 142,5 m mélyen viszont nem nagyobb, hanem kisebb hőmérsékletet, 48 C°-t (EMSZT K. mérése szerint 48,2 C°-ot [11]) mértek. PÁLFY ez adatokból arra következtetett, hogy a dolomit mélyebb részeiben a meleg víz nem egyenletes eloszlású s a törésen felszállva karsztvízzel érintkezésbe jutva ezzel elegyedik s ezért lehül. Minél jobban eltávolodik a vetődés fekvő rögében a vetődéstől a víz, annál hidegebb lesz. Ez a jelenség magyarázható azonban úgy is, hogy magasabban, a záró fiatal takaró közelében, az alján felszálló meleg víz megemeli a környezet hőmérsékletét

(48,6 ÷ 48,8 °C), egészen magasan pedig, ahol a hegység felől érkező legfelső, különösen hideg karsztvizével való elegyedés lehetséges, kisebb lesz a hőmérséklete (32 °C), s végül az alááramlási övben ismét csökken (48 °C). Kár, hogy a 71,58 ÷ 142,5 m szakaszon nem történtek megbízható mérések. Erről a szakaszcól PÁLFY csak annyit ír, hogy a hőmérséklet egyáltalán nem emelkedett, hanem inkább 0,8 °C-kal esett.

Még érdekesebb a Margitsziget északi részén mélyített III. számú fúrás. A fúrásban az első feltörő vizet 107 m-ben kapták 43° C hőmérséklettel. Egy újabb, már kisebb, csupán 41 °C hőfokú vízfeltörés jelentkezett 134 ÷ 141 m közt. Miután ezeknél melegebb vizet óhajtottak nyerni, tovább fúrtak, az 502 m mélyen megfúrt víz azonban már csak 31 °C-ú volt [31]. A fúrás 104,5 m-től kezdve végig eocén képződményekben, mégpedig főleg mészkőben s rendkívül alárendelten homokkőben és homokban haladt. Az eocén képződmények felett vízzáró alsóoligocén márga és javarészben még közép-oligocén kiscelli agyag volt.

Hasonló adatokat azonban nemcsak a Budai hegység és a Nagyalföld, hanem a Budai hegységtől északra fekvő Pilis hegység és a Kisalföld érintkezési övéből is ismerünk, s végül vannak olyan adataink is, amelyek hasonló jelenségre engednek következtetni a Dunántúli Középhegység DNy-i szegélyéről, a Keszthelyi hegység és a Zalai dombvidék érintkezésén (ez szerkezeti medencejellegű rész a Keszthelyi hegységhez viszonyítva). Mindkét helyen a karsztosodott mezozoós dolomit-mészkőhegység és nagy vastagságú fiatal üledéktakarója érintkezésében melegforrások lépnek fel.

Esztergomban több meleg- és langyos forrás van. A források hőmérséklete 15 és 28 °C közt változik. Egy fúrásban 16,64 m-ben dachsteini mészkövet ütöttek meg. 140 m mélységben 27,5 °C, 157 m-ben ugyanilyen hőmérsékletű, 225—238 m közt azonban csupán 26,5 °C volt a talált víz hőmérséklete, tehát lefelé itt is süllyedt hőmérséklete [32]. A mezozoós karbonátos alaphegység fölé Esztergomban is impermeabilis kőzetek települnek (kiscelli agyag [33]).

A Keszthelyi hegység peremén fekvő Hévízen a pénzügyőri üdülőnél a takaró pannóniai és a triász dolomitrétegek határára eső fúrásban 46 °C-ú vizet találtak. Ez melegebb, mint a közelben levő Hévízi tó vize (32 °C). A dolomitban tovább fúrva azonban már sokkal hidegebb, csupán 34 °C hőfokú vizet kaptak [34].

Mindezen fúrások bizonyíthatják, hogy a hegységben állandóan megújuló karsztvíz a felszálló meleg víz alatt bizonyos távolságig tényleg behatolhat a fiatal medencékbe.

Érdekes lenne tudnunk, hogy Budapest alföldi részén milyen messzire terjed a Budai hegység szegélyétől az alááramlás, vagyis mekkora lehet az alááramlási öv szélessége. Úgy gondoljuk, olyan távolságig tarthat az alááramlás, amelyben már a Nagyalföldre zavartalan körülmények között érvé-

nyes *gg*-ből számítható „normális” hőmérséklet van a fiatal üledéktakaró alján.

Ha a Dunántúli Középhegységben az alááramlás övét a hegység peremétől számítva átlagban csupán 5 km szélesnek tételezzük is fel, durva becsléssel ez az alááramlást megengedő legalább 280 km hossz figyelembevételével számolva már 1400 km² olyan területet ad, amelynek fluxusából felfogásunk értelmében bizonyos rész ugyancsak tekintetbe jöhet a melegforrások hőmérsékletének létrehozásában. 10 km-es alááramlás esetében ez a terület pedig már 2800 km²-re nőhet.

Megjegyezzük azonban, hogy egy ilyen átlagszámítás legfeljebb csak durva becslési értéknek tekinthető, mert pl. a hegység szegélyén felszínre lépő meleg vizek hőmérsékletében nagy eltérések vannak, amelyek azonban gyaníthatóan jórészt az egyes részterületek alááramlási övének mélységi és szélességi különbözőségeiben gyökereznek.

A Dunántúli Középhegység peremi melegforrásainak keletkezéséről az előzőkben ismertetett, s a budapestieken közelebről bemutatott nézetünk bizonyos vonatkozásokban hasonlít SCHAFARZIK F.-nek, valamint KÜHN I. és SCHERF E.-nek a budapesti melegforrásokról kialakított s az előzőkben már ismertetett magyarázatához. Szeretnénk azonban az ő és a mi felfogásunk közötti különbségekre is most rámutatni:

SCHAFARZIK a Budai hegységben elszivárgó csapadék- (freatikus-) vizeknek a különböző szinteken át nagy mélységig, egészen a kristályos palák övéig történő lejutásával számol, ahol azután a víz felveszi a nagy hőmérsékletet, továbbá bizonyos juvenilisnek tartott alkatrészeket. Az impermeabilis szinteken át törések közvetítésével való közlekedésre gondol. Ezzel szemben a mi felfogásunk szerint a hegységben elszivárgó csapadékvíz, a karsztvíz, legalábbis nagyjából, egészen magas *sztatigráfiai* szintben, a karsztosodott felső dolomit-mészköttömegekben alakul át meleg vízzé. Ezenkívül SCHAFARZIK a Duna-jobbparti hegységre csak leszálló, a balparti medencei térszín alatt pedig csak felszálló áramlást ad meg. Nem szól azonban arról, hogy a hegységben felfogása szerint nagy mélységére leszivárgott és végül is nagy hőmérsékletre szert tett víz hogyan kerül át a balparti részre, s ha átkerül, milyen szerepű a felszálló áramlásban. Itt bizonyos törés érezhető ismertetésében, vagy legalábbis nem világos a folyamat leírása. Tömbszelvényben is megvilágítja a vízáramlásra vonatkozó nézetét. E tömbszelvényben a hegységben csak leszálló, s síksági részen pedig csak felszálló vízmozgást jelez s leszálló áramlással utóbbi helyen, mint mi, nem számol. A víznek a hegységben történő leszivárgása szerinte lefelé állandóan lassulóan történik, a felszínről behatoló víz nem tud teljes egészében leszállni, hanem minden vízelemben (vízvezető szintben) a felesleges víznek erős oldaláramlása is keletkezik, amely azután a harmadkori köpeny alatt felszálló hévízárammal találkozik s különböző arányú keveredéssel szolgáltatja a

különböző $46 \div 64$ °C hőmérsékletű budai termákat. Szerintünk ez a keveredés azonban lényegében a hegység és a hozzátámaszkodó fiatal üledékköpeny érintkezésében történik meg, mindenesetre az alááramlásnak induló karsztvíz felett, valószínűleg alig nagyobb mélységben, mint amit a karsztvíz legfelső, karsztvíz tükör-közeli öve képvisel, s nem tévesztendő össze a medence belseje felé törekvő leszálló hideg áramlással. További lényeges különbség még a hegység és a medence kőzeteinek igen eltérő hővezetőképességéből eredő termikus anomália jelentősége a mi véleményünk szerint és meleg víz áramoltatásában és az utóbbi víz hőmérsékletének kialakításában.

A források hőmérsékletkülönbségeinek kialakulásában továbbá felfogásunk szerint szerep juthat az egyes forrásjáratok egymással való összefüggés viszonyainak is. Ha közvetlen kapcsolat, a forrásjáratok összefüggése gyenge, vagy esetleg — legalábbis a felszínrejutás előtt hosszabb útszakaszon — hiányzó, az áramló vizek útja tehát többé-kevésbé eltérő, akkor ez a körülmény már egymagában is eltérő vízhőmérsékletre vezethet. De oka lehet ilyen különbségeknek a különböző járatokban áramló vízmennyiségek közti eltérés s az áramlások sebessége is.

A mi és a KÜHN I. és SCHERF E. nézete közti eltéréseket pedig a következőkben véljük megadhatni:

KÜHN I. és SCHERF E. felfogása szerint a hegységben az alaphegység hasadékaiban hidrosztatikailag lassan lesüllyedő víz meleg vízzé való válása normális geotermikus felmelegedéssel történik meg, miközben a pesti síkság alá merül. A mélybe szivárgó hideg víz lassan mozog is a dunai főtörésvonal felé. Csak a dunai főtörődés közelében tör fel már alulról is nagyobb erővel a forró víz és szünteti meg fokozatosan a hideg víznek K-re (DK-re) irányuló előrenyomulását és hajlítja ezáltal vissza az izotermákat, amelyek a dunai törésvonal felső végénél sűrűsödnek össze. A legforróbb kevert vizet a dunai törésvonaltól K-re (DK-re) kell várunk. A felemelkedő forró víz az Alföld felé lejtősödő kiscelli agyag aljában összegyűlik, s e lap a forró vizet mintegy nekivezérli a dunai felvetődés felső végének. A feltételezett werfeni paláig lehatoló víz már felveheti azt a nagy hőmérsékletet, amellyel ismét a napvilágra bukkan. A fiatal vízzáró üledékek torlaszoló és irányító szerepével egyezünk. A mi felfogásunk szerint azonban lényeges eltérést jelent az a szerep, amelyet az alaphegység karbonátos és a fiatal üledéktakaró kőzetei között mutatkozó jelentős hővezetőképesség-eltérésnek és az ebből eredő termikus anomáliának juttatunk a hideg karsztvíznek meleggé való átalakításában, valamint a vízmozgás mechanizmusának megindításában úgy, amint ezt előbb már részletesen kifejtettük. További eltérés: a hideg karsztvíznek ahhoz, hogy az alaphegységben meleggé válják, nem kell nagy, pl. a werfeni palák (vagy MÁDAI L. szerint [35] a kristályos palák) övéig lejutni, csupán az szükséges, hogy a karbonát-alaphegység letakart karsztos része nagyobb mélységbe süllyedjen le.

További eltérés még, hogy a forró víz nagyobb erővel történő feltörését a fővetődés közelében, de egyebütt sem, amely fokozatosan szüntetné meg a hidegvíznek K-re (DK-re) való áramlását, nem tartjuk szükségesnek, szerintünk a K felé előnyomuló hidegebb víz mind jobban melegszik, majd visszafordul.

Végül megemlíthetjük még, hogy a hegységben a karsztvíz legfelső, leghidegebb övét külön tartjuk az alatta mélyebben mozgó, de vele egyébként átmenetes kapcsolatban álló még hideg, az alááramlást tápláló víztől. Az áramló hideg víz a hegységben az áramlás övében és felette a felszínig az áramlás nélkül elképzelhetőnél nagyobb *gg*-értékeket eredményez, amint erre AJTAY Z. már rámutatott [2].

A hegységben, a szegélye felé áramló karsztvíz vesz fel már a fluxusból hőt, s már ilyen módon is melegszik. Ehhez hozzájárul azután még az alááramlás folyamán a síksági rész fluxusából származó. A fluxusból származó hő felvétele az üledéktakaró alatt a már nagyobb mélységbe s egy melegebb környezetbe lejutott és ezért már melegebbé vált víz által történik. Itt felmerülhet a kőzetek tárolt hőjének esetleges szerepe is, amellyel e tanulmányunkban egyébként még nem foglalkozunk.

Elméletünk szerint a karsztos hegységben, az oldalasan is mozgó karsztvíz által felvett és elszállított fluxusvesztés miatt a föléje eső övben, sőt magában az áramló vízövényben is felfelé csökkenő fluxust és ennek megfelelően megnőtt *gg*-t kell találnunk. Hasonló jelenség várható a síksági rész alááramlásos övében is, amennyiben az alá- és visszaáramló karsztvíz e részen a fluxus egy részét ugyancsak felveszi és a kilépési pont felé elviszi s ezért a fiatal üledéktakaróban az alááramlás távolságáig (hosszáig) nagyobb *gg* alakul ki, mint alááramlás nélkül.

5. A Dunántúli Középhegység karsztvizének közelítő hőmérlege

A Dunántúli Középhegység peremi részein fakadó melegforrások keletkezésének nyomozásában úgy gondoltuk, nem lesz érdektelen megkísérelni a hegység teljes karsztvíz mérlegének alapulvételével megvizsgálni azt, hogy a karsztvíz hőmennyiségében a fluxusnak mekkora részt juttathatunk, s vajon a fluxus egymagában nem elegendő-e a szóban forgó melegforrások hőmérsékletének előteremtésére.

E célból először is számba vettük a Litér—aszódfői karsztos terület elhagyásával, amely ismeretesen [36] a Dunántúli Középhegység többi, egymással karszthidrológiai szempontból összefüggő részével szemben önálló karsztvízterületet képvisel (a 11. ábrán a 9. jelzésű területrészt), a fennmaradó területre a karsztvízutánpótlást. Itt elsősorban KESSLER H. azon igen körültekintő és alapos vizsgálatokat tükröző karsztvízösszeállítására támaszkodtunk [37], amelyet KESSLER H. módszertani kidolgozásával és

I. táblázat

A Duántúli Középhegység karsztvíz szolgáltatása és e karsztvíz termikus hőmérlege (a Litér—aszófi terület nélkül)

Területrész	cm ³ /sec	cal/sec	T ₁ km ³	T ₂ km ³	T ₃ km ³	$\frac{T_3}{T_1}$ arány	$\frac{T_3}{T_2}$ arány	Területszám
Pilisvörösvár—Budaörsi karsztterület	804 859	22 683 896	1 134,1948	1 031,0862	102,6962	1 : 11,04	1 : 10,04	2
Gerecse—Pilisi karsztvidék	1 331 408	13 583 809	679,1905	617,4459	188,6587	3,60	3,27	3
Vértesi karsztvidék	2 497 050	13 228 333	661,4166	601,2878	371,4517	1,78	1,62	4
Zirc—Tapolcafői karsztvidék	1 212 035	7 331,273	366,5636	333,2397	135,6189	2,70	2,46	5
Veszprém—Bodajki karsztvidék	2 425 544	6 997 031	349,8516	318,0469	306,0724	1,14	1,04	6
Veszprém—Nagyvázsonyi kv.	703 448	1 911 294	95,5647	86,8770	85,2917	1,12	1,02	7
Tapolcai karsztvidék	456 051	3 132 708	156,6354	142,3958	59,9251	2,61	2,38	8
Keszthelyi karsztvidék	926 955	16 912 064	845,6032	768,7301	93,3945	9,05	8,23	9
Összesen	10 357 350	85 780 408	4 289,0204	3 899,1094	1 343,1092	3,19	2,90	
						} középérték		

II. táblázat

Budapest és környéke

Budapest és környékén 9,9° C, a pilisi bányászatnál 8,2° C évi középhőmérséklettel számoltunk

Budapest Csillagda	8,9° C	} 9,9° C	Budapest Csillagda	8,9° C	} 8,2° C
Budapest Meteor	10,9° C		Dobogókő	7,4° C	

Pilisvörösvár—Budaörsi karsztvidék	cm ³ /sec	t °C	t Δ °C	cal/sec.	T ₁ km ²	T ₂ km ²	T ₃ km ² (Kessler beszivárgási értékei alapján)
Császár gyógyfürdő	115 783	27—59	17,1—49,1	2 572 590	} 1 132,2025	} 1 029,2750	} 101,1553
Csepeli fúrás	8 250	46	36,1	297 825			
Csillaghegy, Árpád f.	30 000	22	12,1	363 000			
Elektromos forrás	7 067	41	31,1	219 784			
Gellért gyógyfürdő	24 667	44	34,1	841 145			
Imre gyógyfürdő	7 333	38—42	28,1—32,1	232 055			
Király fürdő	5 917	47	37,1	219 521			
Lukács gyógyfürdő	172 999	22—54	12,1—44,1	4 254 271			
Margitszigeti kutak	200 167	39—69	29,1—59,1	6 849 861			
Óbudai Árpád f.	33 833	20	10,1	341 713			
Pütkösd fürdő	13 667	25	15,1	206 372			
Római fürdő	53 333	23	13,1	698 662			
Rudas gyógyfürdő	12 633	35—46	25,1—36,1	425 297			
Szabadság fürdő	46 667	39	29,1	1 358 010			
Szőkevény források	1 667	40	30,1	50 177			
Tétényi úti kórház	5 667	50	40,1	227 467			
Városligeti két kút	53 000	74—76	64,1—66,1	3 486 300	} 1,9923	} 1,8112	} 1,5409
Pilisi bányászat	12 209	11,1—11,6	2,9—3,4	39 846			
Összesen	804 859			22 683 896	1 134,1948	1 031,0862	102,6962

Évi beszivárgott csapadék Kessler szerint :

Pilisi bányászat 250 mm,
Pütkösd f., Csillaghegyi források 220 mm,
Római fürdői források és az óbudai Árpádforrás 235 mm,
Császár f.—Lukács f.—Király f.—Margitszigeti kutak—Szabadság f.—Elektromos f.—Városliget 252 mm,
Imref.—Rudasf.—Gellértf.—Szőkevény források—Tétényi úti artézi kút, Csepeli fúrás 240 mm.

III. táblázat

Gerecse—Pilisi karsztvidék

Évi középhőmérséklet, Esztergom 10,7° C }
 Évi középhőmérséklet, Bánhida 10,1° C } 10,4° C
 Esztergom—Dorog kivételével a többire 10,4° C
 középhőmérsékletet vettünk.

Esztergomon és Dorogon 9,2° C
 középhőmérséklettel számoltunk.
 Esztergom 10,7° C }
 Dobogókő 7,4° C } 9,2° C
 Visegrád 9,4° C }

Gerecse—Pilisi karsztvidék	cm ³ /sec	t °C	t Δ °C	cal/sec.	T ₁ km ³	T ₂ km ³	T ₃ km ³
Halastavi f., Szomód	3 805	20⊙	9,6	36 528⊙			
Sósréti f.	1 268	20	9,6	12 173			
Bánhidai vízaknák és fúrások	12 367	13 (12—14)	2,6	32 154			
Csokonai f., Dunaalmás	18 000	24	13,6	244 800			
Lilla forrás, Dunaalmás	3 500	23	12,6	44 100			
Csokonai ártézi kút, Dunaalmás	1 133	17 (16—18)	6,6	7 478			
Esztergomi források és Szt. István kút ..	94 667+			1 718 573	(85,9286)	(78,1169)	
Dorogi bányavíz, I. vált.	1 196 667	17	7,8	9 334 003	(466,7002)	(424,2728)	(171,5368)
Dorogi bányavíz, II. vált.	1 196 667	18,8 (17—20,5)	9,6	11 488 003	(574,4002)	(522,1819)	
Összesen	1 331 408			11 429 809 × 13 583 809 ×	571,4905 × 679,1905 ×	519,5368 × 617,4459 ×	188,65866 × (188,6587) ×

Évi beszivárgott csapadék Kessler szerint :

Halastavi f., Szomád	} 204 m/m	Dunaalmási f.-ok és kút 220 m/m	} Esztergomi források és kút 267 m/m
Sósréti f.			
Bánhidai vízaknáké s f.		Dorog 220 m/m	

⊙ Adat hiányában a Sósréti f. hőmérsékletével számoltunk.
 × Dorogi bányavíz 17° C hőmérséklettel számolva.
 * Dorogi bányavíz 18,8° C hőmérséklettel számolva.
 + Az esztergomi melegvíz részletes adatai:

Esztergom, Barlangi f.	61 167	27	17,8	1 088 773			
Mosoházi f.	5 833	28	18,8	109 660			
Szent István kút	27 667	~28	18,8	520 140			
Σ	94 667			1 718 573			

IV. táblázat

Zirc–tapolcafői karsztvidék

Évi középhőmérséklet Veszprém 9,7° C } 9,6° C Farkasgyepüt is figyelembe véve Veszprém 9,7° C }
 Mór 9,5° C } 9,5° C Farkasgyepü 9,3° C }

Zirc–Tapolcafői karsztvidék	cm ³ /sec	t °C	t Δ °C	cal/sec.	T ₁ km ³	T ₂ km ³	T ₃ km ³
Tapolcafő	776 889	17 (15–19)	7,4	5 748 979			
Attya majori források	177 574	16	6,4	1 136 474			
Viadukt f., Városlőd	13 635	9,6	0				
Szabó L. f., Városlőd	1 395	9,5 (9,0–10,0)	–0,1	140			
Vámosmajori f., Városlőd	4 186	9,4 (8,4–10,3)	–0,2	837			
Pinceforrás, Városlőd	2 695	8,9 (7,7–10,5)	–0,7	1 887			
Csigahegyi f., Városlőd	1 839	9,7 (7,4–12,0)	–0,1	184			
Melegvíz I., Gyepükaján	10 464	21 (16–26)	11,4	119 290			
Melegvíz II., Gyepükaján	11 574	21 (16–26)	11,4	131 944			
Zirci malomforrás	11 574	10,2	0,6	6 944			
Dudari bánya	190 000	10,2	0,6	114 000			
Kisebb, nem rendszeresen mért f.-ok	10 211	?	?	?			
Összesen I. vált.	1 212 035			7 254 951+	362,7476+	329,7705+	135,61892+
II. vált.				7 331 273○	366,5636○	333,2397○	

Évi beszivárgott csapadék Kessler szerint:

Tapolcafői f.-ok } 281 m/m
 Attyamajori f.-ok }
 Városlődi források 257 m/m
 Melegvíz I. és II., Gyepükaján 245 m/m
 Zirc 298 m/m
 Dudar 298 m/m
 Különbféle kisebb források ~270 m/m
 + I. változatban Melegvíz I-re 9,6° C középhőmérséklettel számolva
 ○ II. változatban Melegvíz II-re 9,5° C középhőmérséklettel számolva

irányításával munkatársai (VÁRKONYI I., RÁDAI D., SPÁNYI I. és SÁNDOR-HÁZI A.) végeztek el. Budapest, Esztergom, Pétfürdő, Sümeg, Tata és Hévíz karsztos melegvizeire vonatkozóan azonban CZIRÁKY J. újabb adatait [38] vettük figyelembe. Számos, fúrásokban megállapított adat köszönhető KASSAI F.-nek is.

KESSLER H. a Litér—aszófüi karsztos területrészen kívül még további 8 karsztos területet különböztet meg a Dunántúli Középhegységben; e területi beosztást lényegében mi is megtartottuk bizonyos, egyébként nem számottevőbb eltéréssel. Mi ugyanis a bauxitbányászat fakasztotta karsztvizeket egyszerűség okából mind a Veszprém—bodajki karsztvidék jelzésű részben vettük figyelembe. A végérték szempontjából hogy ezek hol szerepelnek, közömbös. Megjegyezzük egyébként még, hogy az általunk számításba vett terület lényegében egyezik JASKO S.-nak a Dunántúli Középhegységre megadott „főkarsztvizes” területével [3]. További megjegyzésünk még, hogy mind a bauxit-, mind pedig a kőszénbányászattal kapcsolatban fakasztott és emelt karsztvízmennyiségeket az egyes trösztöktől beszerzett s nem a régebbi Kessler-féle összeállítás szerint vettük figyelembe. A vízutánpótlás számítása céljából szükséges beszivárgott csapadék értékeiként ugyancsak KESSLER H. sok évi átlagra vonatkozó értékeit vettük alapul. Ily módon kiszámítottuk az egyes területek cm^3/sec vízhozamát s az ennek megfelelő „tápláló” területnagyságokat. Ezeket KESSLER hivatkozott tanulmányában alapjában véve ugyan már megtaláljuk, az ott közölt vízhozamoktól több esetben bekövetkezett eltérés (főleg a bányászat vízemelés változásai miatt) azonban bizonyos változtatásokat tett szükségessé. Minthogy a bányászat mind több és több karsztvizet von el, továbbá a Cziráky-féle hozam adatok is általában nagyobbak, természetes, hogy az általunk számított teljes tápláló terület nagyobb lesz a Kessler-féléknél. Igazán helyes természetes vízmérleget egyébként csak a Középhegység teljesen érintetlen, természetes és emberi beavatkozások nélküli állapotában lehetne felállítani, olyat, mely az elszivárgó és kifolyó víz holygatatlan viszonyát tükrözné. A bányászat erős vízcsapolása a fúrásokból származó vízvétellel karöltve ismeretesen már erősen megzavarta a természetes egyensúlyt, ami az erős vízcsapolások területein a karsztvíztükör nem is olyan jelentéktelennek mondható süllyedésére vezetett (pl. Dorog, Tatabánya közelében). A bányászat karsztvízcsapolása mintegy $227 \text{ m}^3/\text{p}$ -nek volt számítható. Ehhez hozzájön még az ivóvíz, valamint az ipari víz nyelésére készített fúrásokból származó víz, amely a bányászat által kiemelt víz mennyiségét még növeli. Azokon a helyeken, ahol a karsztvíz jelentősen süllyedt, világos, hogy a vízutánpótlás és vízszolgáltatás természetes egyensúlya jelentősen megbomlott.

Vizsgálódásunk eme eredményeit az I—IX. táblázatban foglaltuk össze. Ezek közül az I. adja az eredmények összesítését, a II—IX. táblázat pedig az egyes területrészekről tájékoztat. A táblázatokban a természetes forrás-

V. táblázat

Veszprém—bodajki karsztvidék

Évi középhőmérséklet Veszprém, Mór, Farkasgyepü középértéke 9,5° C

Veszprém—bodajki karsztvidék	cm ³ /sec	t °C	t Δ °C	cal/sec	T ₁ km ²	T ₂ km ²	T ₃ km ²
Ajkai bányák	98 900	11	1,5	148 350			
Községi f., Gyulafirátót	19 819	10,8 (10,2—11,3)	1,3	25 765			
községi f., Aranyosi f.	24 639	11,1 (9,4—12,8)	1,6	39 422			
Szolimánkút	1 427	9,8 (8,5—11,1)	0,3	4 281			
Jásdi források	9 989	11,6 (8,1—15,0)	21	20 977			
Bántapusztai és Ósküi f.	697 615	11,0	1,5	1 046 423			
Péti fürdő f.	6 120	20,4 (18,5—22,2)	10,9	66 708			
Várpalotai ivóvíz	11 574	13×	3,5	40 509			
Inotai források	148 085	13 (11—15)	3,5	518 298			
Karsztakna, Inota	j139 523	13××	3,5	488 331			
Tóalatti források és fúrások, Inota	88 787	12 (9,5—14,5)	2,5	221 968			
Csóri Csabafővíz	115 423	13,3 (10,6—16,6)	3,8	438 607			
Tóforrás, Fehérvárcsurgó	9 989	24,7+	15,2	151 833			
Meluzina forrás	4 852	24,7+	15,2	73 750			
Vízmű forrás	4 186	24,7+	15,2	63 627			
Duzzogó f.	8 879	24,7 (23,8—25,6)	15,2	134 961			
Bodajki tóforrás	58 346	14,5 (13,8—15,2)	5,0	291 730			
Nádastavi f.	112 569	15,4 (12,7—18,0)	5,9	664 157			
Várpalotai Ferencbánya	13 333	16 (15—17)□	6,5	86 665			
Várpalotai Ernőbánya	53 333	15 (13—17)□	5,5	293 332			
Beszálló bánya	21 667	15,5 (13—18)□	6,0	130 002			
S II. bánya	11 667	16 (13—19)□	6,5	75 836			
Bántapuszta	83 333	13,5 (12—15)□	4,0	333 332			
Iszka-szentgyörgyi bauxit bányánál	380 000	11,5 (11—13)	2,0	760 000			
Halimbai bauxit bányánál	48 333	12,0	2,5	120 833			
Nyirádi bauxit bányánál	236 667	12,7● (9,5—14,5)	3,2	757 334			
Kisebb, nem rendszeresen mért források	16 489	?	?	?			
	2 425 544			6 997 031	349,8516	318,0469	306,07237

Évi beszivárgott csapadék Kessler szerint :

Közszégi f., Gyulafirátót } 281 m/m	Jásdi források } 272 m/m	Várpalotai ivóvíz } 222 m/m
Aranyosi forrás	Bántapusztai és Ósküi források	Inotai források
Szolimánkút, Herend 257 m/m	Péti fürdőforrás	Karsztakna, Inota
		Tóalatti források és fúrások, Inota
		Várpalotai bányák
Ajkai bányák 260 m/m	Csóri Csabaforrás	
	Fehérvárurgói források	}
Halimbai bányák 266 m/m	Bodajki tóforrás	
Nyirádi bányák 266 m/m	Meluzina forrás	
	Iskaszentgyörgyi bánya	
		Kisebb, nem rendszeresen mért források ~260 m/m

Kessler csoportjához itt van hozzávéve Halimba és Nyirád is!

- ✗ Valószínű érték.
- *✗ Adat hiányában az inotai források hőmérsékletével számoltunk.
- + A fehérvárurgói források hőmérsékletét az ismert Duzzogó forrásét vettük számításba.
- A várpalotai bányánál a zárójelben levő első szám fedővíz, a második fekvővíz hőmérsékletre vonatkozik.
- Súlyozott érték.

VI. táblázat

Vértes

Évi középhőmérséklet: Bánhida 10,1 } 9,8° C
 Mór 9,5 }

Vértesi karsztvidék	cm ³ /sec	t °C	t Δ °C	cal/sec	T ₁ km ³	T ₂ km ³	T ₃ km ³
Fényes források, Tata	656 667	22	12,2	8 011 337			
Nagy forrás, Tata	368 333	20	10,2	3 756 996			
Tatabányai bányavíz	1 460 000	10,8	1,0	1 460 000			
Kisebb, nem rendszeresen mért források	12 050	—	—				
Összesen	2 497 050			13 228 333	661,4166	601,2878	371,4517

Az egész Vértesre 212 m/m-es beszivárgás érvényes.

VII. táblázat

Keszthelyi karszvidék

Évi középhőmérséklet: Keszthely 10,6 }
 Tapolca 10,3 } 10,7 °C
 Hévíz 11,2 }

Ez azonban a 400—500 m közötti Keszthelyi
 hegységre magasabb értéknek tekinthető
 a területre átlagosan érvényesnél.

Keszthelyi karszvidék	cm ³ /sec	t °C	t Δ °C	K cal/sec	T ₁ km ²	T ₂ km ²	T ₃ km ²
Tó, Hévíz	725 000	32	21,3	15 442 500			
Kórházi régi kút	3 667	41	30,3	111 110			
Kórházi új kút	12 000	42	31,3	375 600			
Postás üdülő kútja	6 667	42	31,3	208 677			
SZOT I. kút	2 000	40	29,3	58 600			
SZOT II. kút	4 333	38	27,3	118 291			
SZOT III. kút	?	?	?	?			
Vízmű kút	8 333	38	27,3	227 491			
Keszthelyi források	9 925*	13*	2,3*	22 828*			
Vonyarcvashegyi források	34 881	13,5 (12—14,9)	2,8	97 667			
Erzsébet forrás	87 202	12,8 (11,3—14,3)	2,1	183 124			
János forrás	29 966	12,6 (11,1—14,0)	1,9	56 935			
Mihály és kilátói forrás	2 981	13,8 (11,8—15,8)	3,1	9 241			
Összesen	926 955			16 912 064	845,6032	768,7301	93,3945

Évi beszivárgott csapadék Kessler szerint 313 ^m/_m

* Egyelőre, adat hiányában a környéki források hőmérséklete alapján 13° C-sal számoltunk.

VIII. táblázat

Tapolcai karsztvidék

Évi középhőmérséklet: Tapolca 10,3 } 9,8 °C
 Farkasgyepü 9,3 }

Tapolcai karsztvidék	cm ³ /sec	t °C	t Δ °C	cal/sec	T ₁ km ²	T ₂ km ²	T ₃ km ²
Malomtó forrás	374 176	17,7 (16,5—18,8)	7,9	2 955 990			
Király forrás	68 176	11,9 (8,7—15,0)	2,1	143 170			
Viszlói forrás	951	13,5	3,7	3 519			
Szentkút	10 306	11,6 (10,4—12,8)	1,8	18 551			
Haláp községi f.	1 364	14,5 (12,1—16,9)	4,7	6 411			
Haláp kastélykerti f.	1 078	14,5	4,7	5 067			
Összesen	456 051			3 132 708	156,6354	142,3958	59,9251

Tapolcai karsztvidéken (Nyírad nélkül!) 240 m/m a csapadékbeszivárgás Kessler H. szerint.
 A nyíradai bauxit bányá vizét a Veszprém—bodajki területen vettük számításba.

IX. táblázat

Veszprém—nagyvázsonyi karsztvidék

Évi középhőmérséklet: Veszprém 9,7 } 9,5 °C
 Farkasgyepü .. 9,3 }

Veszprém—nagyvázsonyi karsztvidék	cm ³ /sec	t °C	t Δ °C	cal/sec.	T ₁ km ²	T ₂ km ²	T ₃ km ²
Szentkút I.	1 395	11,1 (11—11,2)	1,6	2 232			
Szentkút II.	983	11,2	1,7	1 671			
Széleskút	6 279	11,3 (11—11,5)	1,8	11 302			
Monostorapáti forrás	920	11*	1,5	1 380			
Úrkúti bányavíz	53 333	10,5	1,0	53 333			
Kindertó f.	36 149	9,7 (16,8—12,6)	0,2	7 230			
Mázaskút	24 734	11,7 (10,8—12,5)	2,2	54 415			
Verőfényes kút	41 223	13,0 (12,8—13,1)	3,5	144 281			
Verőfényes kút melletti forrás	49 467	12,2	2,7	133 561			
Fürészalmi forrás	45 979	11,4 (10,9—11,8)	1,9	87 360			
Valéria forrás	13 952	13,0 (12,9—13,0)	3,5	48 832			
Fejfájós kút	16 807	9,6 (7,8—11,4)	0,1	1 681			
Pulai kolostor f.	8 403	9,8 (8,2—11,3)	0,3	2 521			
Újkút	317	12,3 (10,5—14,0)	2,8	888			
Melegvíz	16 806	15,9 (7,8—24,0)	6,4	107 558			
Fürdőforrás	2 695	9,0	0,5	1 348			
Kádártai f.	132 547	12,5 (12—13)	3,0	397,641			
Veszprémi vízműf.	177 575	11,9 (11,7—12,0)	2,4	426 180			
Laczkó források	4 756	11,9**	2,4	11 414			
Tekeresvölgyi f.	24 734	23,7	14,2	351 223			
Különféle kisebb, nem rendszeresen mért források	44 394	11***	1,5	66 591			
	703 448			1 911 294	95,5647	86,8770	85,29170

Évi beszivárgott csapadék Kessler szerint :

Szentkút I. és II. } Széleskút } Monostorapáti f. }	248 m/m	Mázaskút Verőfényes kút Verőfényes kút melletti f. Fürészalom f. Valéria forrás Fejfájós kút	248 m/m	Pulai kolostor f. Újkút Melegvíz Fürdőforrás	251 m/m	Kádártai f. Veszprémi erőmű f. Laczkó források Tekeresvölgyi f.-ok Különféle, nem rendszeresen mért f.-ok	265 m/m
Kindertó f.	280 m/m						

A halimbai bányavizet a Veszprém—bodajki karsztterületen vettük számításba.

A padragi bányavizet a Veszprém—bodajki karsztterületen vettük számításba.

* valószínű érték, ** a veszprémi vízműf. hőmérséklete alapul véve, *** valószínű közelítő érték.

kifolyásokkal és mesterséges megcsapolásokkal a felszínre kerülő karsztvíz-mennyiségek cm^3/sec értékben vannak megadva, a T_3 jelzésű oszlopban pedig a Kessler-féle beszivárgási értékkel a cm^3/sec vízmennyiségekhez szükséges tápláló területek számított nagyságát látjuk. Megjegyezzük, hogy számításainkban a nem karsztos területen eredő, de karsztos felszínre érkező, a karsztvizet gyarapító vízfolyásokból származó vízmennyiség, valamint a karsztosodott kőzetek karsztos övével oldalt valahol érintkező vízvezető rétegekben, valamint lápokon át [9] bekövetkező esetleges elszivárgások nem szerepelnek. A karsztvízmennyiséget részben csökkentő, részben pedig növelő eme hatások túl nagy hibát azonban aligha okoz.

Számításaink alapján $1343,1 \text{ km}^2$ tápláló terület kellene a természetes forrásokon és mesterséges megcsapolásokon át távozó karsztvíz pótlására. (KESSLER H. adatai szerint $942,4 \text{ km}^2$ -nek felelt még csak meg ez 1954-ben. A két érték közti különbség egyrészt főleg a bányák nagyobb vízcsapolásának következménye, másrészt egyes részértékek eltéréséből, valamint újabb fúrások vízvételéből fakadó.) AJTAY Z. a Dunántúli Közphegységben a dachsteini triázmész- és a dolomit felszíni kiterjedését 1260 m^2 -re teszi [39]. A vízhozamból számítható „tápláló terület” jóval kisebb a Dunántúli Közphegységnek a Litér—aszófi területre levonásával megmaradó, nyílt és fedett karsztú ama területénél, amelyet JASKÓ S. [3] „főkarsztvízes” területe képvisel. Ezt térképén négyzetes planimetrálással ugyanis $4868,8 \text{ km}^2$ -nek határoztuk meg.

A karsztvíz hőmértékének (közelítő) meghatározásában igyekeztünk megállapítani az egyes területrészekre s ezek összegezése alapján a Dunántúli Közphegységnek a Litér—aszófi részlet nélküli területére a megfelelő évi középhőmérsékletek, valamint az egyes források, vízszolgáltató fúrások, bányászati műveletek során felszínre lépett vagy hozott karsztvizek mennyisége és hőmérséklete alapján a fluxus terhére írható hőmennyiségeket cal/sec értékben, majd ez értékek ismeretében számítottuk azt a területet, amely akkor adódna, ha az áramló karsztvíz a hegységből a teljes fluxust felvonná.

Feltevésünk szerint a felszínre lépő karsztvíznek csupán az évi középhőmérsékletet meghaladó hőmérsékletéből ($t \Delta C^\circ$) adódó hőmennyisége lenne fluxusfelvételtől származó. BOLDIZSÁR T. eredményeire támaszkodva, két fluxusértékkel végeztük el a számításokat. Az egyik esetben $2,0 \cdot 10^{-6} \text{ cal}/\text{cm}^2 \text{ sec}$, a másikban pedig $2,2 \cdot 10^{-6} \text{ cal}/\text{cm}^2 \text{ sec}$ volt az alapul vett fluxus. A számításához szükséges víz hőmérsékletek egy részét KESSLER H. volt szíves számunkra rendelkezésre bocsátani s ezeken kívül felhasználtuk még KASSAI F.-nek, valamint CZIRÁKY J.-nek egyes adatait s végül az egyes bányatrösztök bányageológiai szolgálata által ugyancsak nagy előzékenységgel rendelkezésünkre bocsátott adatokat. Az évi középhőmérsékleteket országos 30 vagy 50 éves átlagban AUJESZKY L. szíves közbenjárására az Országos Meteorológiai Intézetől kaptuk meg.

Táblázatainkban adjuk cal/sec értékben azt a hőmennyiséget, amely fluxusfelvételtől származónak tartható, T_1 azt a területet, amely $2,0 \cdot 10^{-6}$ cal/cm² sec fluxus esetén szükséges lenne ahhoz, hogy a karsztvíz a teljes fluxust véve a ténylegesen észlelt hőmérsékletűvé alakulhasson, T_2 ugyanazt, azonban $2,2 \cdot 10^{-6}$ cal/cm² sec fluxusértékkel számolva. A tényleges vízszolgáltatás és hőmérsékletük alapján a teljes fluxuselvitelre támaszkodó feltevés 4289,0 km², a $2,2 \cdot 10^{-6}$ cal/cm² sec értékkel számított pedig 3899,1 km²-t kívánna meg. Az első érték a hegység nyílt és fedett karsztjának együttes 4868,8 km² területénél csupán 579,8 km²-rel, a második pedig 969,7 km²-rel kisebb. E két utóbbi területnek megfelelő teljes fluxusértékből számítható hőmennyiség az, amely az egész 4868,8 km² területnek megfelelő teljes fluxusból e területen mintegy szétosztva visszamaradtnak képzelhető el. E maradék fluxust egyenletesen elosztottnak feltételezve az első esetben a visszamaradó fluxus $0,2382 \cdot 10^{-6}$ cal/cm² sec, a másodikban pedig $0,4382 \cdot 10^{-6}$ cal/cm² sec értékűnek lenne számítható. Megjegyezzük, hogy a terület számításában megadott értékeket nem tekintjük egyben ilyen tizedes pontosságúaknak a valóságban is. A dolomit-mészkötémegek $8,0 \cdot 10^{-3}$ cal/cm sec °C átlagos hővezetőképessége és a fluxusmaradék figyelembevételével a teljes 4878,8 km² területre egyenletes megoszlást feltételezve a karsztvízáramlási és a föléje eső övre a gg az első esetben 336 m/°C-nak, a másodikban pedig 183 m/°C-nak lenne számítható. Ilyen nagy átlagradiensek azonban az egész területre egyetemleges érvénnyel nem igazolhatók. Vannak ugyan igen nagy, de mellettük aránylag kis földtani geotermikus gradiensű részletek is. Az utóbbi állítás igazolására több, a Dunántúli Középhegység területére eső fúrás gg -értékeit adjuk a X. és XI. táblázatban. Az adatok egy részét WILLEMS T.-nak, HARSÁNYI A.-nak közreműködésével készült egyik tanulmányából vettük [22], egy másik részét pedig KASSAI F. szívességének köszönhetjük. WILLEMS T. a gg -t a 20 m-es mélységben felvett neutrális rétegtől és évi 10,4° C évi középhőmérséklettel, mi — BOLDIZSÁR T. felfogását követve — pedig a felszíntől adódó mélységgel és a fúrás területének évi középhőmérsékletével vettük számításba. A mi felszíntől számított értékeink általában kissé nagyobbak, mintha a neutrális rétegtől kiindulva számítottuk volna. Megjegyezzük, ezt az eltérést bizonyos mértékig kompenzálja azonban az a körülmény, hogy a Kassai-féle adatokban szereplő mélységek nem azonosak a víz fakadási szintjével, amelyben a víz hőmérsékletét mérték s amely szint általában 5—10 m-rel a talp fölé esik. E fúrások vízhozamai, továbbá nem a ténylegesen felhasználásra kerülők, hanem a tisztító szivattyúzásnál elért legnagyobb homokmentes vízhozamok, amelyek mennyisége 224,500 cm³/sec. Minthogy nem tudjuk, mennyi kerül ebből ténylegesen a felszínre, azért e fúrások vízhozamát egyelőre nem vettük számításba. Az ebből eredő hiba azonban aligha haladja meg a Dunántúli Középhegység összkarsztvíz-szolgáltatásának az 1%-át.

A X. és XI. táblázat adatai szerint valóban arra kell következtetnünk, hogy a Dunántúli Középhegységben vannak, mégpedig elég jelentősnek minősíthető olyan területrészek, ahol a visszamaradtnak tekintett fluxusértékből számított 183, illetve 336 m/°C földtani geotermikus gradiensértékek nem igazolhatók.

X. táblázat

Földtani geotermikus gradiens a Dunántúli Középhegység területén
Willems T.—Harsányi A. szerint [22]

Hely	Mérés mélysége (m)	Hőmérséklet (°C)	gg (m)
Környe	86,8	14,0	19
Neszmély	90,0	13,0	27
Vértesszőllős	86,0	13,0	25
Tata	139,8	17,0	18
Leányvár	82,1	13,8	26
Alcsútdoboz	213,8	18,0	26
Bicske	261,0	16,0	42
Balatonederics	108,1	15,0	19
Balatonyörök	79,6	14,0	17
Keszthely	179,0	14,0	44
Sümeg	560,1	32,0	25
Tapolca	75,0	14,0	15
Várpalota	327,0	19,0	36
Dorogi barnakőszénmedence (maximum)	—		65
Tatabányai barnakőszénmedence (maximum) ...	—		119
A Balaton É-i előterét kísérő maximum			40—360

A Dunántúli Középhegységben hogy számos helyen nagy a gg, azt — amint erről már az előzőekben is esett szó — AJTAY Z. alapvető vizsgálatai [2] felsőkréta és alsóeocén barnakőszénmedencéinken mutatták meg. A XII. táblázatban idézzük eredményeit.

AJTAY Z. [2] nyomán WILLEMS T. és HARSÁNYI A. közreműködésével [22] beható vizsgálatok és értékelések alapján elkészítette azután Észak-Dunántúl geológiai geotermikus izogradiens térképét, amelyből jól kitűnik a bányamedencékben fellépő nagy gradiensérték, de egyben az is látszik térképükből, hogy vannak olyan nagy területek is a hegységben még, ahol messze elmarad a gg a 183 vagy még inkább a 336 m/°C érték mögött.

Mindezeket figyelembe véve, csak megerősítve látjuk ama véleményünk helyességét, hogy a hegység karsztos eredetű melegforrásainak még más-honnan is kell szert tenniük hőre, és hogy e plusz hőt azok a környező medencék alááramlásos övéből szerzik meg.

Érdekes továbbá az is, hogy a KESSLER H. meghatározta beszivárgási értékek alapján a felszínre jutó karsztvizek mennyiségi pótlására a hőmérség felállításával kapcsolatosan számított területeknél általában jóval kisebb elegendő. Az I. táblázat utolsó oszlopában a kétféle érték arányát is adjuk

XI. táblázat

Földtani geotermikus gradiensek a Dunántúli Középhegység területén
Kassai F. adataiból számítva

a)

Fúrás helye	Fúrás mélysége (m)	Víz hőmérséklet t_1 (°C)	Évi közép- hőmérséklet t_2 (°C)	$t_1 - t_2$ (°C)	gg (m)
Vértesszőlős	95,1	15	10,4	4,6	21
Tatai téglagyár	124,5	15	9,8	5,2	24
Öskü	136,5	11	9,5	1,5	91
Baj, közkút	302,4	14,5	10,4	4,1	74
Budapest, Budakeszi u. ..	170,0	12	9,9	2,1	81
Tapolca, reptér	106,8	13,5	9,8	3,7	29
Hajmáskér	50,9	16	9,5	6,5	8
Ugod	55,6	12	9,6	2,4	23
Hévíz	53,0	41	10,7	30,3	2
Bicske, MÁV	400,4	25	9,9	15,1	27
Herceghalom, ÁG	390,1	25	9,9	15,1	26
Alcsút, Göbölpuszta	84,0	12	9,9	2,1	40
Alcsút, Hatvanpuszta	235,0	18	9,9	8,1	29
Veszprém, Fémfeld.	150,0	10	9,5	0,5	300

b)

Fúrás helye és száma	Fúrás talpmélység (m)	Talpmérséklet t_1 (°C)	Évi közép- hőmérséklet t_2 (°C)	$t_1 - t_2$ (°C)	gg (m)
Sümeg	560,1	32	9,5	22,5	25
Pusztavám	435,1	15	9,5	5,5	79
Várpalota	327,3	22	9,5	12,5	26
Dorog	367,5	18	9,2—10,4	8,8—7,6	42—48
Nagysáp (44)	742,0	27,5	9,2—10,4	18,3—17,1	41—43
Sárisáp (71)	600,5	21,5	9,2—10,4	12,3—11,1	49—54
Tokod (439)	192,0	19,5	9,2—10,4	10,3—9,1	19—21

XII. táblázat

A Dunántúli Középhegység kréta- és eocénkorú barnakőszénmedencéinek
geológiai geotermikus gradiense (Ajtay Z. szerint [2])

Kőszénmedence	gg (m)
Ajka (kréta)	~800
Dorog (eocén)	~38,1
Pilis (eocén)	~200
Tatabánya (eocén)	~114,5
Dudar (eocén)	~400

víz területére átlagoltan pedig 1:2,90 adódik. Feltűnő, hogy a hegység belsejébe eső s aránylag a legkiemelkedőbb két területrészt: a Veszprém—

bodajki és a Veszprém—nagyvázsonyi esetében áll a teljes fluxus elvezetésével az egyes területrészekre. 1-nek véve minden esetben a szükséges T_3 víztápláló terület nagyságát, amint látható, a $T_3 : T_1$ arány $1 : 1,12 \div 11,04$, a $T_3 : T_2$ pedig $1 : 1,02—10,04$ közt változik. A Dunántúli Középhegység teljes főkarszt számítható terület a vízhozam alapján számíthatóhoz legközelebb, viszont a hegység keleti és nyugati végén, ahol vetődések mentén néhány km távolságon belül számolhatunk a karsztos kőzettömeg nagymértékű mélybesüllyedése (a Városligetben a hegység szegélyétől mintegy 4 km-re a karbonátos alaphegység felszine már 1246,8 m-re esik a felszín alá!), igen erősen megnő a fluxusból számított terület. Elég nagy az arány még a Gerecse—piliszi karsztvidék esetében is, ahol különösen Esztergom környékén lehet hasonló helyzettel számolni. Kedvezőtlenebb az arány már a Zirc—tapolcafi, valamint Tapolcai karsztvidéken. Ennek oka mindkét helyen az lehet, amint erre az irodalom alapján következtethetünk [5, 40], hogy az alááramlási övnek (illetve a karbonátos alaphegységnek) rövid hosszon át való nagyobb mélységű süllyedése nincs meg. Valószínű, hogy az alááramlási mélység és az alááramlási hossz között (azonos egyéb körülményeket feltételezve) bizonyos optimális összefüggés van. Ebben komoly szerepet juttathatunk a már felfelé mozgó melegvíz szállító-vízjáratai ellenállási viszonyainak s a takaró lap ferdeségének is. Például kisebb vízjárat-ellenállás, valamint a fedőlap nagyobb ferdesége elősegíti a melegvíz felszínre jutását és csökkenti útközben való lehülését, viszont ezzel szemben az alááramlási övben történő fluxusfelvétel lesz kedvezőtlenebb stb.

Nagyon érdekes melegforrások fellépési lehetősége szempontjából a Balatonfelvidék, karsztosodott karbonátos kőzetkibúvásokkal is bíró, Litér—aszófi területe. (A 11. ábra térképén 10. számmal jelzett területrészt.) Szegélyének nagy részén nem várható igazi hévforrások fellépte, minthogy alááramlás jelenlegi erózióbázisa, a Balaton felé, szegélyének legnagyobb részén nem lehetséges. A rétegsorok e részen ugyanis általában a Balatontól ellentétes irányban dőlnek, és a helyenként felszínre lépő vagy nem nagy mélységben települő vízrekesztő kőzetek: fillitek, gránitok, meglehetősen vízátthatatlan permii homokkövek s egyes alsótriász vízrekesztő tagok (márga, palás agyagmárga) elzárják a karsztosodott kőzettömegeket a fiatal üledékektől.

A Balatonfelvidéken egyébként ismeretesen csupán kisebb, önálló, egymással nem összefüggő, márgás képződményekkel elválasztott vízeletekről, vízháztartásról lehet szó [36]. A Balatonnak legfeljebb csak a Tihanyi félsziget és Balatonudvari közötti partvonal a táján lehet bizonyos, egyébként csupán jelentéktelennek gyanítható alááramlással számolnunk, amelyet azonban a Balaton takar. A szóban forgó szakaszon ugyanis megyehegyi dolomit érintkezik a dolomitot részben le is fedő pannóniai rétegekkel. Déli irányban a megyehegyi dolomitnak aránylag rövid távolságon belüli megszűnése azonban már várható, a Balaton déli partján Balatonboglárnál a pannóniai kép-

zöldmennyek alatt alig 300—400 m mélyen már a kristályos kőzetekből álló medencealjzatot találjuk, tehát jelentősebb mértékű alááramlásról nem lehet szó. JUHÁSZ J. [41] írja, hogy a Tihanyi félsziget és Akali közt, a Balatonban a parttól beljebb a megyehegyi dolomitból víz tör fel. Hőmérséklet-adatok e vizekről még nincsenek. Ezek lehetnek esetleg kismértékű alááramlásra is átesett, kissé melegebb források.

Végezetül essék még egy-két szó Magyarország földi hőáramáról. A Boldizsár-féle földi hőárammérésekből kiderült, hogy a Kárpát-medencében, melynek hazánk tartozéka, a földi hőáram rendellenesen nagy. Újabban érdekes összefüggésekre, illetve fedésekre mutatott rá SCHEFFER V. [42]. Szerinte a Kárpát-medencében a földköpeny mintegy 10 km-rel magasabban fekszik, mint általában. A kis geológiai geotermikus gradiensek területe megegyezik a gravitációs anomáliák, valamint a mélyszeizmikus és szeizmológia által jelzett, a Magyar Medence alatti, földkéregész-kivékonyodás területével. BOLDIZSÁR T. [43] a radioaktív tartalmú, viszonylag igen vékony (kb. 20 km-es) gránitos kéreg radioaktív anyagtartalmának változására vezeti vissza a Föld felszínén megfigyelt jelentős hőáramváltozásokat s a magyar medence aljzatát képező savanyú eruptív kőzetek átlagosnál nagyobb radioaktív anyagtartalmában látja az itt észlelt nagy pozitív anomália okát.

SZALAI T. [44] szerint a Kárpát-medence normálistól eltérő (kisebb) geotermikus gradiense elsősorban az aljzat gránitjában lefolyó atommaghasadásnak, másodsorban pedig a Kárpátok felgyűrődése során bekövetkezett kéregzsugorodás mechanikai hőjének tulajdonítható.

Van azonban olyan nézet is, hogy az erősebb átmelegedés a Kárpát-medence fiatal vulkánosságával lenne kapcsolatos.

6. Budapesti típusú hévforrás keletkezésének ismert és valószínű feltételei

A következőkben megkíséreljük azokat az ismert és valószínűsíthető feltételeket összefoglalni, amelyek fennálltakor lehetséges budapesti típusú hévforráskeletkezés.

1. A melegforrások egy karsztosodott hegységnek a nála fiatalabb övező üledéktakarójával való érintkezésében, a szegélyi erózióbázis szintjében, az érintkezési vonal mély felszíni pontjain lépnek fel.

2. Szükséges egy lehetőleg minél nagyobb vastagságban és kiterjedésben karsztvizet tároló kőzet (kőzetsorozat), amely állandó karsztvízutánpótlást kap a csapadékból.

3. A karsztosodott kőzettömeg mélykarszt jellegű, s legfeljebb csak részben fedett lehet. Bizonyos letakaratlanság ugyanis kell a csapadékból történő vízutánpótlás biztosítására.

4. Szükséges egy jó vízzáró, minél nagyobb vastagságú üledékes kőzet-sorozat-takaró, mely egyben rosszabb hővezető a karsztosodott kőzetekből és a bennük tárolt karsztvízből álló rendszernél.

5. A karsztvizet tároló kőzettömegeknek a nagy vastagságú, rossz hővezetőképességű fiatalabb üledéktakaró alá kell nagyobb mélységig süllyednie és egyben a felszíni érintkezéstől nagyobb távolságra nyúlnia. Ily módon a karsztosodott idősebb kőzettömeget a benne elhelyezkedő karsztvízzel együtt a nagy vastagságú fiatalabb üledék részben lefedi. A karsztvizet tároló kőzettömeget a fiatal üledéktakaró alá nagyobb mélységre elsősorban vetődések juttathatják, de elképzelhető a vízzáró és rossz hővezető üledéktakarónak egyszerű transzgresszív települése esetén is a karsztosodott tömegnek nagyobb mélységbe való lenyúlása.

6. A részlegesen fedő vízzáró és rossz hővezető fiatalabb üledéktakaró a karsztosodott hegységtől (vagy kibúvástól) nagyobb távolságig (több km-ig) terjed.

7. A hévforrások nagyobb (az évi közép fölé eső) hőmérséklete vizüknek részben a hegységben megtett áramlása, részben pedig az üledéktakaró alatti alááramlás során felvett fluxusból származik. Esetleg kőzetekben tárolt hőnek is lehet szerepe.

A karsztosodott hegység, kőzettömeg és a vízzáró üledéktakaró érintkezésében különböző helyeken fakadó hévforrások hőmérsékletkülönbségeit (egyébként azonos hővezetőképességet és egyéb viszonyokat feltételezve) az előzőekben megadott tényezőkön és az alááramlásból származó meleg és a karsztból közvetlenül érkező legfelső hideg víz részletesen vázolt keveredésén kívül az is okozhatja, hogy a) az üledéktakaró alá merült karsztosodott kőzettömeg rövidesen megszűnik, kiékel, s így benne csak korlátozott távolságú és mélységű keringés lehetséges, ami különösen nagy vízhőmérsékletre nem vezethet, de b) az is előfordulhat, hogy a lesüllyedt és befedett karsztos kőzettömeget aránylag már igen közel a hegység pereméhez egy nagy elvetődési magasságú vetődés úgy szeli, hogy a lezökkent rög a karsztos tömeget vízzáró rétegeivel teljesen lezárja, ami lehetetlenné teszi a karsztvíz távolabbi alááramlását. Ebben az esetben is a visszatérő vízáramlás, illetve forrásai az alááramlás lehetséges hossza és mélysége szerint (egyébként azonos hővezetőképességet és azonos egyéb viszonyokat feltételezve) lehetnek különböző hőmérsékletűek.

8. A karsztvíz megtett útja, az alááramlás hossza, a fedőlap dőlése, a vízjárhatóság, a vízjárat helyzete, az áramló víz mennyisége egyaránt fontos tényező a vízhőmérséklet kialakításában. Az alááramlás hosszát és mélységét addig a helyig képzelhetjük el, ahol a medence fiatal üledéktakarója alján már normális *gg* jelenik meg. Bizonyos esetekben azonban az alááramlási sáv szélességét és mélységét egy nagy elvetési magasságú vető fellépése is meghatározhatja, egy olyan vető, amely a karsztvizet tároló karbonát kőzet-

tömeget úgy szeli, hogy annak teljes vastagságában melléje vízzáró képződményt hoz.

A melegforrások hőmérsékletét befolyásolhatja a fedőkőzetek hővezetőképességében mutatkozó eltérés is. Azonos vastagságú fedősorozatot feltételezve, a rosszabb hővezető alatt várható (egyébként azonos körülmények között) az erősebb felmelegedés.

9. A karsztosodott hegységben előforduló, általában csak kisebb, s rossz hővezető üledékekkel telt medencék kitöltésében, ha vízzáró rétegtag van, akkor a hegység peremi részein fellépő jelenséghez hasonló ott is várható, vagyis alááramlással és ebből eredő vízmelegedéssel ez esetben is számolnunk kell. Az alááramlás a karsztvíztükör általános lejtési irányából várható, az üledéktakaró alatt melegebbé vált víz pedig a vízzáró réteg alján, a medence ellenkező szegélye felé mozog, s halad innen tovább a karsztvíztükör lejtése mentén egyébként elegyedve a felszínről lejutó hidegebb vizekkel. Minthogy azonban a kisebb medencék üledékvastagsága nem nagy, a víznek alááramlásából származó felmelegedése sem lehet nagy.

10. A fedőtakarónak előrehaladó letarolásával és az ezzel együttjáró karsztvíztükör és erózióbázis süllyedésével ismeretesen párhuzamosan eltolódik a medencék belsejének irányában a karsztosodott közettömeg és az üledéktakaró érintkezési vonala, s ezzel egyértelműen mozdulnak el a melegforrás kilépési pontok is. Erre utal ismeretesen a Dunántúli Középhegység melegforrás lerakódásainak a mai kilépési pontok irányában általában fiatalodó volta, valamint az idősebb lerakódásoknak helyenként a jelenlegi forrás-üledékekkel szinte lépésről-lépésre való összefüggése, mint pl. Dunaalmáson [1]. A fedőtakaró erőteljes letarolását a hegység emelkedése vagy a medence süllyedése elősegítheti.

11. Lehetséges melegforrásfellépés akkor is, ha a karbonáthegység és a fiatal medenceüledék érintkezése függőleges töréssel alakul ki. Ez azonban termikusan kedvezőtlenebb annál az általánosabbnak tartható esetnél, amely a fiatal medenceüledékeknek a karsztvizet tároló közettömegekre, akár lépcsős törések mentén is kialakult, de lényegileg ekkor is ferde lapú rátelepedésnek tartható.

12. A kőzetek eltérő hővezetőképességéből származó termikus anomáliának a vízsűrűségkülönbségek kialakításában való szerepe irányította és támogatja a gravitációs térben a nehézségi erő hatására lejátszódó vízmozgást. Minél nagyobb a karsztos víztároló kőzet hővezetőképessége üledéktakarójánál, annál intenzívebbnek ítéhető ez a hatás.

Tanulmányunk megírására az az igyekezet vezetett, kíséreljük meg a Dunántúli Középhegység szegélyén fakadó hévforrásainak eredetét egységes szemléletbe foglalni, már csak azért is, mert a Föld más helyein hasonló geológiai helyzetben fakadó hévforrásokra is átvihetőnek véljük elgondolásainkat. Tudjuk, hogy ez idő szerint minden állításunk közvetlen észlelésekkel

még nem igazolható, örömünkre szolgálna azonban, ha szerény tanulmányunk hidrogeológusaink munkájában ösztönző lenne e melegforrások eredetkérdéseinek minél behatóbb további tanulmányozására.

Úgy érezzük, hogy köszönetet kell mondanunk mindazoknak, akik munkánkban segítségünkre voltak. Igen sok forráshőmérsékletet kaptunk **KESSLER H.**-től, vízfúrásokban nyert vízhozam- és hőmérsékletadatot pedig **KASSAI F.**-től. A bányászat emelte karsztvizek mennyiségéről és hőmérsékletéről **SÓLYOM F.**, **SENTIVÁNYI F.**, **SZABÓ N.**, **BAKK L.**, **CSEH NÉMETH J.** és **WILLEMS T.** tájékoztattak. **BOLDIZSÁR T.** általa meghatározott közethővezetőképességi értékeket bocsátott rendelkezésünkre, **SCHEFFER V.** pedig hasonló irodalmi adatok megszerzésével s dolgozatunk lektorálásával támogatott. Bizonyos termikus kérdések tisztázásában **DÉR. Z.** volt segítségünkre.

Sopron, MTA Geofizikai Kutató Laboratórium Értelmező Csoportja és Bányászati Kutató Intézet Petrográfiai Csoport.

IRODALOM

a tanulmány II. részéhez

21. **WILLEMS T.**—**HARSÁNYI A.**: A geotermikus gradiens alakulása a dorogi barnaköszénmedencében. (Kézirat.)
22. **WILLEMS T.** (**HARSÁNYI A.** közreműködésével): A karsztos alaphegységű területek földhőmérsékleti viszonyainak vizsgálata c. téma 1961. évi kutatási eredményeiről. (Bány. Kut. Int. 1961. 1—27.)
23. **SCHULHOF Ö.**: Magyarország ásvány- és gyógyvizei könyvben.
PAPP F.: Az ásvány- és gyógyvizek hidrogeológiája és fürdőteni leírása. 1957. 17—334.
24. **PÁLFY M.**: A gellérthegy mélyfúrás tanulságai. Földt. Közl. 1928. 58.
25. **BOLDIZSÁR T.**: Geothermic investigation in the Hungarian Plain. Acta Geol. 1958. 5. 245—254.
26. **LANDOLT**—**BÖRNSTEIN**: Astronomie und Geophysik. 1952. 3. 356.
HOWELL, B. F. JR.: Introduction to Geophysics. 1959. 52.
SCHÖSSLER K.—**SCHWARZLOSE, J.**: Geophysikalische Wärmeflussmessungen. Freiburger Forschungshefte, 1959. C 75, 69.
BIRCH, F., **SCHAIRER, J. F.**, **SPICER, H. C.**: Handbook of Physical Constants. 1942.
27. **BOLDIZSÁR T.**: Terrestrial heat flow in the Nagylengyel Oilfield. Publ. of the Facultates of Mining and Geotechnic. 1959. 20. Különlenyomat 1—8.
28. **BOLDIZSÁR T.**: New terrestrial heat flow values from Hungary. Geofiz. pura e applicata. 1958. 39. 120—125.
29. **BOLDIZSÁR T.**: Measurement of terrestrial heat flow in the coal mining district of Komló. Acta technica. 1956. 15. 219—228.
30. **VENDEL M.**: Hozzászólások Vigh Ferenc előadásához. MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl. 1953. I. 301—305.
31. **SARLÓ K.**: Újabb adatok a Margitszigeti hőforrások hévzveinek összetételéhez. Hidr. Közl. 1949. 29. 90—94.
32. **KASSAI F.**: Paleogén szénbányászatunk, a karsztvíz és védekezési módja. Hidr. Közl. 1948. 28. 4—48.
33. **EINCZINGER F.**: Esztergom melegforrásai. Hidr. Közl. 1932. 82—84.
34. **PÁVAI VAJNA F.**: Gondolatok a Hidrológiai Közlöny 1948. évi 1—4. sz.-ával kapcsolatban. Hidr. Közl. 1949. 29. 90—94.
35. **IFJ. MÁDAI L.**: A Császárfürdő monográfiája. Földtani Szemle melléklete. 1927. 1—91.
36. **JASKÓ S.**: A balatonfelvidéki és észak-bakonyi patakok vízhozamának kapcsolata a földtani felépítéssel. Hidr. Közl. 1961. 41. 75—84.
37. **VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS KUTATÓ INTÉZET**: Magyarország vízkészlete. I. Mennyiségi számbavétel. 1954. 89—100. sz. táblázatok.

38. CZIRÁKY J.: A hazai termális vizek. Hidr. Közl. 1960. 40. 507—515.
39. AJTAY Z.: A triász-dolomit hidrológiai viszonyai, különös tekintettel a víznyérésre és vízleadásra. MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl. 1953. 3. 43—50.
40. LÓCZY L. ID.: A Balaton környékének geológiai képződményei. A Balaton tud. tanulm. eredm. 1913. 1. köt. 1. rész.
41. JUHÁSZ J.: A Balatonfelvidék vízbeszerzési lehetőségei. Hidr. Közl. 1960. 40. 404—416.
42. SCHEFFER V.: A geotermikus mélységlépcső regionális értékei a Kárpát-medencék területén. (Kézirat.)
43. BOLDIZSÁR T.: A Föld belső melegének eredete. Nehézipari Műszaki Egyetem Magyar Nyelvű Közl. 1962. 3. 17—25.
44. SZALAI T.: Origin and Heat Content of the „Juvenile” Constituents of Hungarian Thermal Waters. Hidr. Közl. 1949. 29. 73—77.

A SZIKRAFORGÁCSOLÁS TÁRGYALÁSA A HŐVEZETÉSI EGYENLET ALAPJÁN

ÁG ÁRPÁD

HÍRADÁSTECHNIKAI IPARI KUTATÓ INTÉZET, BUDAPEST

[Beérkezett 1963. február 11-én]

Alapul véve a hővezetési egyenletet, leírható fenomenológiukusan a szikraforgácsolási forgácsteljesítmény, mint a betáplált teljesítmény függvénye. A helyes sorrend és a hajlásszög különböző fémek esetén arra mutat, hogy a szikraforgácsolásnál a hatásfoknak hővezetési okai vannak.

I. Bevezetés

A szikraforgácsolás alapelve, hogy a mechanikus munkaszerszám helyett a munkadarab megmunkálására villamos kisülést használunk fel.

A módszer elrendezését, kapcsolását, felhasználásának lehetőségeit a szakirodalom részletesen ismerteti [pl. 1, 2, 3, 4].

Elméleti szempontból számunkra F. LLEWELLYN JONES [5] tárgyalása a legfontosabb.

Kiindulásul a szerző az energiamérleget írta fel: forgácsoláskor a kisülés, energiája felmelegít egy térfogatot, közli vele az olvadás- és párolgáshőt, egy része pedig vezetés és sugárzás útján távozik el. Ebből az alapfeltevésekből kiszámítható a kitermelt térfogat, melyre explicit összefüggést vezet le.

Ebből a nézőpontból kiindulva kérdéses a hővezetési gradiens értéke, melyet a szerző úgy vesz számításba, hogy a hőmérsékleteloszlást lineárisnak tételezi fel. Ez azonban csak első közelítés, hiszen a gradiens nem konstans, sem térben, sem időben.

Az idézett mű szerzője az energiamérleget egy szikraforgácsolási periódusra állítja fel, így nem tűnik ki a jelenség időfüggése.

Kapott eredményei inkább csak relatív összehasonlításokra alkalmasak, de itt sem szolgáltatnak pontos értékeket. Így pl. W-nak a Ni-re vonatkoztatott relatív forgácsteljesítményének egyenlete alapján 0,27 a valóságos 0,75 helyett.

Célunk annak megállapítása volt, hogy a különböző megmunkálendő fémek esetén a forgácsteljesítmény hogyan alakul a betáplált teljesítmény függvényében. Nem törekedtünk arra, hogy teljes képet nyerjünk a folyamatról, tehát magával a szikrával nem foglalkoztunk. Ezt a bizonytalanságot úgy szüntettük meg, hogy egy paramétert szabadon hagytunk, s azt a mérési eredményekkel összhangban állapítottuk meg.

Vizsgálatainkban figyelmen kívül hagyjuk a kisülés elektrodinamikai roncsoló hatását, mely egyes elképzelések szerint döntő jelentőségű (LAZARENKO, más felfogásban WILLIAMS, PFAU és mások [9]).

Nem számolunk azzal, hogy az áramimpulzus alakjától is függ a kitermelt forgácstérfogat, hanem azt tételezzük fel, hogy a betáplált hőáram időben állandó.

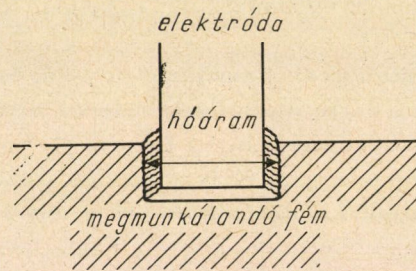
II. Alapfeltevések

Alapfeltevéseinket a következőkben foglaljuk össze.

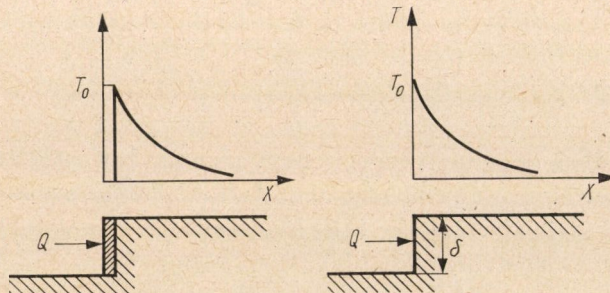
a) Feltesszük, hogy a hasznos és a nem hasznos teljesítmény aránya időben állandó.

b) Feltételezzük, hogy az energiaáram sűrűsége a forgácsolás előrehaladtával fordított arányban csökken. Erre azért van szükség, mert a jelenléget egy síklapon szemlélve, a teljesítmény egy mindig nagyobb kör kerületén támad. Így a probléma tulajdonképpen hengersizmetrikus (l. az 1. ábrát).

c) Elhanyagoljuk a hőszugárzást és a petróleum hővezetését, valamint a tartó hővezetését. Az utóbbi kettő feltétlenül jogos, hiszen a tartó már igen



1. ábra. A szikraforgácsolás hővezetési modellje



2. ábra. A hőmérsékleteloszlás átmeneti zónával és közelítésünkben

messze van a forgácsolási helytől, s a petróleum lényegesen rosszabb hővezető, mint a fém.

d) Elhanyagoljuk a fázisátalakulás térbeli kiterjedtségét, ezt igen nehéz lett volna tárgyalni. (Ezen azt értjük, hogy a fém olvadáspontja elérése után is, míg a látens hő meg nem kapja, még szilárd állapotban van. A hőmérsékleteloszlásra ez a jelenség olyan befolyással van, hogy az olvadási felület mögött kis távolságig konstans hőmérséklet alakul ki, l. 2. ábrát.)

e) A munkaszerszám átmérője általában $> 2-3$ mm, egy impulzus alatt az előrehaladás μ nagyságrendű. Az egyszerűség kedvéért így jogosan használhatunk síkmodellt a hengermodell helyett.

f) A folyamat leírására alapul a hővezetési egyenletet vettük.

III. Határfeltételek

Modellünk tehát olyan, hogy hőáram támad egy δ magasságú sík szélén, és az előrehaladás (ξ) mértékében állandóan csökken.

Ismeretes, hogy a hőegyensúly egy adott térfogatra (V), melynek felülete F , a következő

$$\int_F Q df = \int_V \lambda dv + k \int_F \text{grad } T df - c \int_V \frac{\partial T}{\partial t} dv, \quad (1)$$

ahol λ a látens hő [cal/sec cm³];

k a hővezetőképesség;

c a fajhő.

Határfeltételek:

a) Legyen a hőáram Q [cal/cm²sec], az a hely, ahol az anyag elérte az olvadáspontot ξ , a beeső hőáram így

$$Q = \frac{q}{\xi}. \quad (2)$$

Ha $x = \xi$, $T = T_0$. (3)

b) A végtelenben legyen $T = 0$,

$$x = \infty, T = 0. \quad (4)$$

c) A betáplált hőáram egyrészt a hőgradienst okozza, másrészt a látens hőre fordítódik. Az (1) egyenlet a határfelületen, ahol $\partial T / \partial t = 0$

$$\frac{q}{\xi} = \lambda \frac{d\xi}{dt} + k \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=\xi} \quad (5)$$

itt λ a látens hő [cal/cm³].

IV. A megoldás levezetése

ξ és t között a következő próbakifejezést használjuk

$$\xi = a\sqrt{t}. \quad (6)$$

A megoldást a

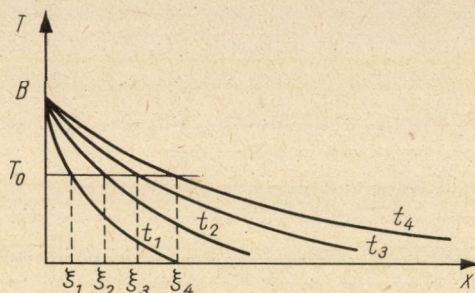
$$T = A + B\psi\left(\frac{x}{2a\sqrt{t}}\right); \quad \psi(u) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^u e^{-v^2} dv \quad (7)$$

alakban keressük.

A (3) és (4) egyenletből látható, hogy az A és B a

$$T = B(1 - \psi) \quad (8)$$

alakban fogható össze.



3. ábra. Vázlatos hőmérsékleteloszlás

Felhasználva az (5) és (6) egyenletet

$$\frac{q}{a\sqrt{t}} = \frac{-kB\psi'\left(\frac{\xi}{2a\sqrt{t}}\right)}{2a\sqrt{t}} + \lambda \frac{d\xi}{dt}, \quad (9)$$

$$\frac{q}{a\sqrt{t}} = \frac{-kB\psi'\left(\frac{\alpha}{2a}\right)}{2a\sqrt{t}} + \lambda \frac{\alpha}{\sqrt{t}}. \quad (10)$$

A (3) alapján

$$T_0 = B\left(1 - \psi\left(\frac{\alpha}{2a}\right)\right); \quad B = \frac{T_0}{\left(1 - \psi\left(\frac{\alpha}{2a}\right)\right)}. \quad (11)$$

Behelyettesítjük ezt (10)-be és egyszerűsítve t -vel, tekintve, hogy t szigorúan pozitív,

$$\frac{q}{a} = -\frac{kT_0\psi'\left(\frac{\alpha}{2a}\right)}{2a\left[1 - \psi\left(\frac{\alpha}{2a}\right)\right]} + \lambda\alpha. \quad (12)$$

Ez transzcendens egyenletet jelent a meghatározására,

$$\alpha = \alpha(q, k, T_0, \lambda, a). \quad (13)$$

Számításainkat réz, alumínium, vas és wolfram esetére végeztük el, az I. táblázatban összefoglalt kiindulási adatok alapján

I. táblázat

Fém	k , [cal/cm sec ²]	T_0 , [C°]	λ , [cal/cm ²]	a , [cm/sec ^{1/2}]	a^2 , [cm ² /sec]
Cu	0,94	1083	435	0,97	0,94
W	0,45	3380	880	0,80	0,64
Fe	0,21	1539	510	0,50	0,25
Al	0,55	658	249	0,92	0,85

A megoldás típusát a 3. ábrán mutatjuk be.

Így például a t_1 időpillanatban a megoldást a t_1 görbén a ξ_1 ponttól jobbra fekvő görberész adja meg, a front helyzete ξ_1 -ben van.

A megoldásnál az olvadáspontot egységesen 23 C°-kal csökkentettük, így a kapott hőmérsékletek kb. szobahőmérsékletre vonatkoznak. Ezt megtehetjük, mert a hővezetési egyenlet homogén.

V. Az α tényező számítása

Lényegesen fontosabb az effektív megoldásoknál az a koefficiens. Mint láthatjuk, a front helyzete, a pillanatnyi előrehaladás

$$\xi = a \sqrt{t}.$$

Az előrehaladási sebesség

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{a}{\sqrt{t}}. \quad (14)$$

Feltéve, hogy a roncsolás egy henger átmérőjét növeli, a kitermelt anyagmennyiség egy δ magasságú henger esetén

$$V = \pi \delta a^2 t - V_0. \quad (15)$$

Ebből látható, hogy a kitermelt anyagmennyiség az idővel egyenesen arányos. Ezt megerősítik a kísérletek [3], ugyanis a forgácsteljesítmény a kondenzátorból kivett villamos munkával arányos.

Megjegyezzük még, hogy a δ , — amely számításainkban, mint paraméter szerepelt, — és a villamos teljesítmény között milyen összefüggés adódik. Ez

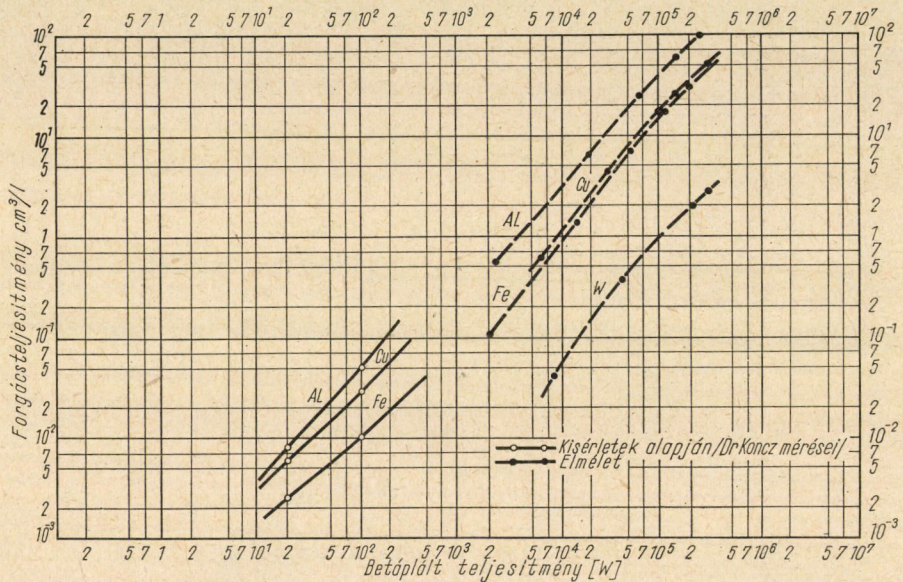
$$q = \frac{\gamma P_{be}}{2\pi \delta}, \quad (16)$$

ahol γ a villamos hőegyenérték;

P_{be} a bemenő teljesítmény;

δ a behatolási mélység, a henger magassága.

Akkor kapunk a kísérleti eredményekkel jó egyezést, ha a δ -t, amely a mérések alapján kb. μ nagyságrendű, 3μ -nak választjuk. Ez önmagában még nem jelent semmit, hiszen a fenomenologikus tárgyalásmódban igen fontos tényezőket számításon kívül hagytunk. (Ezeket a II. fejezetben soroltuk fel.)



4. ábra. A forgácsolóteljesítmény a betáplált energia függvényében, a számítás és a mérési adatok alapján

A 4. ábrán tüntettük fel a mérések eredményeit [3], és a számított értékeket.

Mint az ábrából látható, a mérésekkel a számítások összhangban vannak. A kisebb teljesítmények tartományára a rendelkezésünkre álló táblázatok pontatlanok voltak, így ezeket nem tüntettük fel [6].

A módszer helyesen adja ki a hajlásszöget és a különböző fémek egymásutániságát, valamint elég jó közelítéssel a relatív hatásfokokat.

Mindezek azt mutatják, hogy a modell használható, és a különböző relatív hatásfokoknak és az egy wattrá eső forgácsolóteljesítménynek hővezetési okaik vannak.

*

Köszönettel tartozom KONCZ ISTVÁNNAK a műszaki tudományok kandidátusának, aki a problémára figyelmemet felhívta, a modell megalkotásánál segítségemre volt, rendelkezésemre bocsátotta mérési eredményeit, s tanácsaival támogatta munkámat.

IRODALOM

1. VASZILJEV: Fémek megmunkálása villamos szikrával. *Magyar Technika* (1947), XI—XII.
2. VASZILJEV: Elektroncső vezérlés alkalmazása elektromos szikrával történő megmunkálásnál. *Magyar Nehézipar* (1948).
3. Dr. KONCZ ISTVÁN: A villamos szikraforgácsolás. Műszaki Doktori Értekezés, 1949. *Engineers, Digest II* (1950), 108—111, 165—168.
4. GERMER, L. H.—HAWORTH, F. E.: Erosion of Electrical Contacts on Make. *Journ. Appl. Phys.* 20 (1949), 1085—1108.
5. LLEWELLYN JONES, F.: Electrode Erosion by Spark Discharge. *Brit. Journ. Appl. Phys.* 1 (1950), 60—65.
6. ТИХОНОВ—САМАРСКИЙ: A matematikai fizika differenciálegyenletei. Akadémiai Kiadó, Budapest 1956.
7. FRANK—MISES: Die Differential- und Integralgleichungen der Math. Physik.
8. ЯАНКЕ—ЕМДЕ: Tafeln Höherer Funktionen. Teubner, Leipzig 1952.
9. ЛАЗАРЕНКО, Б. Р. — Н. И.: Электродинамическая теория искрой электрической эрозии металлов. Изд. Акад. Наук С. С. С. Р. 1962.

FORGÁSPARABOLOID ALAKÚ HÉJ KÜLPONTOS ELHELYEZKEDÉSŰ KÖRALAPRAJZÚ NYÍLÁSSAL

CSONKA PÁL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

AZ MTA ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI MUNKAKÖZÖSSÉGE, BUDAPEST

[Beérkezett 1962. február 14-én]

A dolgozat köralaprajz fölé szerkesztett forgásparaboloid alakú oly héjra vonatkozik, melyen külpontos elhelyezkedésű köralaprajzú felülvilágító nyílás van. A héj falazaton nyugvó talpgyűrűre támaszkodik, a héjon levő felülvilágító nyílás peremét szegélygerenda határolja. Ennek tengelyvonala síkgörbe. A számításba vett terhelő erők oly megoszló erőrendszert alkotnak, melynek a héj alaprajzi vetületi területére vonatkoztatott fajlagos értéke állandó.

A dolgozat feltételezi, hogy a héj és annak talpgyűrűje, valamint a nyílást szegélyező peremgerenda semmiféle hajlító, illetve csavaró ellenállással sem bír. Ezért a héj talpgyűrűjében, valamint a nyílás szegélygerendájában csak axiális erőhatások ébredhetnek.

Ilyen esetekben, mint ismeretes, a héj Pucher-féle feszültségfüggvény értékének a külső peremvonal mentén állandónak, vagy sík szerint változónak kell lennie. Ugyanez írható elő a nyílás szegélygerendáját illetően is. Itt azonban még a peremgerenda síkjára merőleges erőkomponensekre vonatkozó egyensúlyi feltételt is teljesíteni kell. E feltétellel a szerző külön tanulmányban fog foglalkozni.

A dolgozat a feladat feszültségfüggvényét sorozatos lépésekben, relaxációval állítja elő. Kezdő függvényként a feszültségfüggvény differenciálegyenletének olyan F_0 megoldásából indul ki, mely a belső kerületre vonatkozó kerületi feltételt eleve teljesíti. Ez az F_0 függvény a külső kerületre vonatkozó kerületi feltételnek nem tesz eleget. Az eltérés megszüntetésére az F_0 függvényt egy alkalmasan választott olyan F_1 potenciálfüggvénnyel egészíti ki, mely a külső kerületen belül harmonikus. Az így nyert $F_0 + F_1$ együttes a külső kerületen pontosan megfelel ugyan a kerületi feltételnek, a belső kerületen azonban nem. Ezért a dolgozat az $F_0 + F_1$ együtteshez olyan F_2 potenciálfüggvényt iktat hozzá, mely a belső peremvonalon kívül fekvő tartományban harmonikus. Az így nyert $F_0 + F_1 + F_2$ függvényegyüttes a külső kerületen a kerületi feltételnek általában nem felel meg. Ez szükségessé teszi, hogy az $F_0 + F_1 + F_2$ függvényegyütteshez egy alkalmasan választott F_3 potenciálfüggvényt iktatassék hozzá, mely a külső peremvonalon belül harmonikus. Az eljárást így módon továbbfolytatva, felváltva hol a külső, hol a belső peremvonal mentén kell illesztést végezni. Ezáltal kellő számú lépés után elérhető, hogy az előírt kerületi feltételtől való eltérés mindkét kerületen elhanyagolhatóan kicsinnyé váljék.

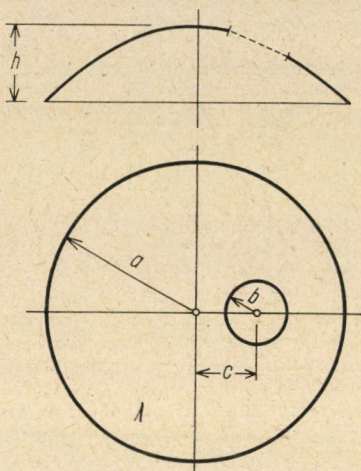
A gyakorlatban előforduló esetekben a környílás átmérője a héj átmérőjéhez képest rendszerint kicsiny, illetve elhelyezkedése általában csak kevéssé külpontos. Ilyenkor közelítő F függvényként elégséges magát az F_0 függvényt használni, s felesleges a kerületeken illesztéseket végezni.

Az ismertetett számítási elvek némi módosítással több környílással bíró forgásparaboloid héj, valamint egyéb kupolaszerű héjak esetében is célszerűen használhatók.

1. Bevezetés

A magasépítészetben gyakran alkalmaznak köralaprajzú csarnokterek lefedésére forgásparaboloid alakú oly héjat, melyen köralaprajzú szelőlőző vagy világító nyílás (opeion) van. A szóban forgó nyílás alaprajzi vetülete a teremalaprajzhoz képest központosan vagy külpontosan helyezkedhetik el.

Az alábbiak *külpontosan* elhelyezkedő, köralaprajzú nyílással bíró, köralaprajzú forgásparaboloidhéjak (1. ábra) számításával foglalkoznak. Az ismertető számító eljárás egy vagy több köralaprajzú felülvilágító nyílással bíró süveghéjak esetében is célszerűen alkalmazható.



1. ábra. Forgásparaboloidhég külpontos elhelyezkedésű köralaprajzú nyílással

2. Feltevések

A vizsgálandó forgásparaboloidhég forgástengelye függélyes. A forgástengely a köralaprajz középpontján megy át.

A hég külső pereme falazaton nyugvó talpgyűrűre támaszkodik. A héjon levő nyílás szélét — a hég belső peremét — szegélygerenda határolja. Ennek tengelyvonala síkgörbe.

A hégat függélyes, megoszló oly erőrendszer terheli, melynek a hég alaprajzi vetületi területére vonatkoztatott fajlagos értéke

$$Z_0 = \text{konst.}$$

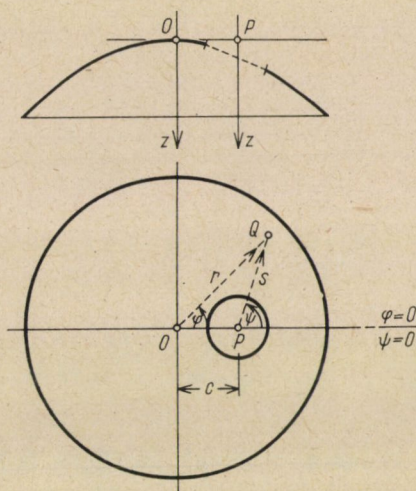
A nyílás szegélygerendájára függőleges megoszló erők hatnak. Ezek megoszlastörvényét — ha szükséges — statikai tömegkiegyenlítéssel (változó keresztmetszetű peremgerenda alkalmazásával) lehet szabályozni.

Vizsgálataink során feltesszük, hogy a hég, a talpgyűrű, valamint a nyílást szegélyező peremgerenda hajlító, illetve csavaró igénybevétellel szemben semmiféle ellenállást sem fejt ki. A hég és peremtartók csatlakozásánál az alakváltozási kényszerektől eltekintünk és feltesszük, hogy a talpgyűrű az alatta levő falazatra csak függőleges erőket gyakorol.

3. Alapismeretek

Vizsgálataink céljaira a 2. ábrán feltüntetett $O(r, \varphi, z)$, illetve $P(s, \psi, z)$ henger-koordinátarendszert használjuk. E kétféle rendszerbeli koordináták közt a 2. ábrából leolvashatóan az

$$\begin{aligned} r^2 &= c^2 + s^2 + 2cs \cos \psi, \\ \cos \varphi &= \frac{1}{r} (c + s \cos \psi), \end{aligned} \quad (1a)$$



2. ábra. Az $O(r, \varphi, z)$, illetve $P(s, \psi, z)$ koordinátarendszerek

illetve az

$$\begin{aligned} s^2 &= c^2 + r^2 - 2cr \cos \varphi, \\ \cos \psi &= \frac{1}{s} (-c + r \cos \varphi) \end{aligned} \quad (1b)$$

összefüggések állanak fenn.

A hég középfelületének egyenlete az $O(r, \varphi, z)$ koordinátarendszerben

$$z = \frac{h}{a^2} r^2, \quad (2a)$$

a $P(s, \psi, z)$ koordinátarendszerben pedig

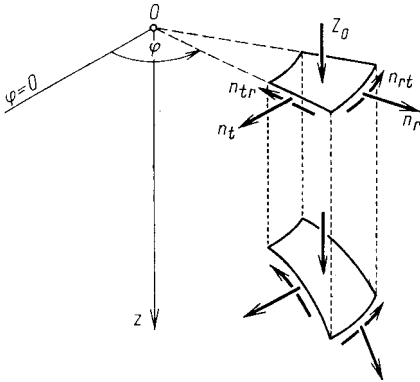
$$z = \frac{h}{a^2} (s^2 + 2cs \cos \psi + c^2). \quad (2b)$$

A hég feszültségi állapotát a Pucher-féle feszültségfüggvénnyel jellemezzük. Ennek differenciálegyenlete az $O(r, \varphi, z)$ koordinátarendszerben

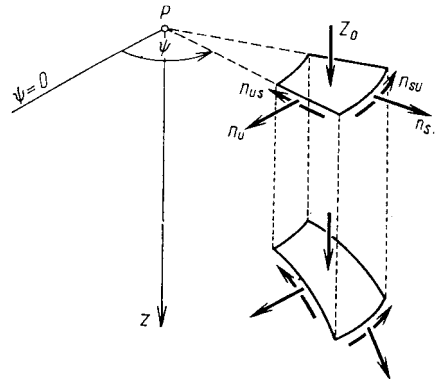
$$\frac{\partial^2 F}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2} + \frac{Z_0 a^2}{2h} = 0, \quad (3a)$$

a $P(s, \psi, z)$ koordinátarendszerben pedig

$$\frac{\partial^2 F}{\partial s^2} + \frac{1}{s} \frac{\partial F}{\partial s} + \frac{1}{s^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \psi^2} + \frac{Z_0 a^2}{2h} = 0. \quad (3b)$$



3. ábra. Az n_r , n_{rt} , n_{tr} és n_t vetületi feszítő erők



4. ábra. Az n_s , n_{su} , n_{us} és n_u vetületi feszítő erők

A feszültségfüggvényt ismerve, a héjnak az $O(r, \varphi, z)$ koordinátarendszerbeli sugár-, illetve írvirányú vetületi feszítő erőit (3. ábra) az

$$\begin{aligned} n_r &= \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2}, \\ n_{rt} &= n_{tr} = - \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial \varphi} \right), \\ n_t &= \frac{\partial^2 F}{\partial r^2} \end{aligned} \quad (4a)$$

képletekkel számíthatjuk, s hasonló módon határozhatjuk meg a $P(s, \psi, z)$ rendszerben is a sugár-, illetve írvirányú vetületi feszítő erőket (4. ábra):

$$\begin{aligned} n_s &= \frac{1}{s} \frac{\partial F}{\partial s} + \frac{1}{s^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \psi^2}, \\ n_{su} &= n_{us} = - \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{s} \frac{\partial F}{\partial \psi} \right), \\ n_u &= \frac{\partial^2 F}{\partial s^2}. \end{aligned} \quad (4b)$$

4. A kerületi feltételek

A 2. alatti kikötések a héj talpgyűrűjére, illetve nyílást szegélyező peremgerendájára nézve feltételeket állapítanak meg.

A talpgyűrű feltevésünk szerint hajlító és csavaró igénybevétellel szemben semmiféle ellenállást sem fejt ki, tehát kötélyszerű feszültségi állapotban van. Ez más szóval azt jelenti, hogy a talpgyűrű tengelyvonala a talpgyűrűt terhelő erők kötélgörbéje. Ilyen esetekben — mint ismeretes [1] — a feszültségi felületnek és a peremvonalon átfektetett függőleges tengelyű hengernek a metszsvonala síkgörbe. Esetünkben e görbevonal síkja — szimmetria-okokból — a $\psi = 0$ síkra merőleges, tehát a feszültségfüggvénynek a külső peremvonal menti $[F]_e$ értékeire azt írhatjuk elő, hogy

$$[F]_e = c_0 + c_1 \cos \varphi \quad (5)$$

legyen. Itt a c_0 és c_1 állandók.

A nyílás szegélygerendája kikötésünk szerint hajlító és csavaró igénybevétellel szemben szintén nem ellenálló, tehát kell hogy tengelyvonala szintén a terhelő erők kötélgörbéje legyen. Ezért a feszültségi felületnek és a szegélygerenda tengelyvonalán átfektetett függőleges tengelyű hengernek a metszsvonala síkgörbe tartozik lenni. Így a feszültségfüggvénynek a belső peremvonal menti $[F]_i$ értékeire az

$$[F]_i = d_0 + d_1 \cos \psi \quad (6)$$

feltétel írható fel, ahol d_0 és d_1 állandók.

A (6) egyenlet teljesítése — bár szükséges — nem elegendő ahhoz, hogy a nyílás szegélygerendájának tengelyvonala a terhelő erők kötélgörbéje legyen. Ehhez még az is kell, hogy a szegélygerendát terhelő erők sehol se lépjenek ki a szegélygerenda tengelyvonalának síkjából. Az utóbbi követelmény akkor teljesül, ha a tengelyvonal síkjára merőleges erőalkotók összege a tengelyvonal minden pontjában zérus.

A nyílás peremgerendájára vonatkozó ezen második feltétellel külön tanulmányban óhajtunk foglalkozni. Mint az ott előadandók igazolni fogják, a gyakorlati esetekben, tehát olyankor, amidőn a nyílás átmérője a héj átmérőjéhez képest kicsiny, illetve a nyílás elhelyezkedése csak kevésbé különleges, a $g = g(\psi)$ függvény csak jelentéktelenül tér el a $g_0 = \text{konst}$ értéktől. Ilyen esetekben tehát a nyílás peremgerendájára vonatkozó második feltételtől eltekinthetünk, s feleslegessé válik a nyílás peremgerendájának fajlagos terhét mesterséges beavatkozással — statikai tömegkiegyenlítéssel — szabályozni.

5. A feladat elvi megoldása

Feladatunk feszültségfüggvénye az általunk vizsgált $c \neq 0$ esetben zárt alakban általában nem állítható elő, miért is a megoldást

$$F = F_0 + F_1 + F_2 + F_3 + \dots \quad (7)$$

alakban fogjuk megszerkeszteni. E függvényt sorban szereplő függvények közül F_0 az inhomogén differenciálegyenlet egyik partikuláris megoldását jelenti, az F_1, F_2, F_3, \dots függvények pedig a homogén differenciálegyenlet megoldásai, s mint ilyenek, potenciálfüggvények.

Esetünkben F_0 függvényként az inhomogén differenciálegyenlet következő partikuláris megoldását választjuk:

$$F_0 = \frac{Z_0 a^4}{8h} \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right] + \frac{a^2 b^2}{4h} \left(\frac{Z_0}{2} - \frac{g_0}{b} \right) \ln \left(\frac{s}{b} \right)^2. \quad (8)$$

A fenti képletben g_0 a nyílás szegélygerendájára ható terhek átlagos értékét jelenti.

A (7) képletben szereplő F_1, F_2, F_3, \dots potenciálfüggvények közül F_1, F_3, F_5, \dots a héjalaprajz külső peremvonalán belül, az F_2, F_4, F_6, \dots potenciálfüggvények viszont a belső peremvonalán kívül harmonikusak. Az említett függvényeket egymást követő lépésekben oly módon határozzuk meg, hogy felváltva hol a külső, hol a belső peremvonalon végzünk a kerületi feltételek kielégítésére illesztést. Persze, minden egyes ilyen illesztés során a másik kerületen az előzőleg már végrehajtott illesztés tökéletlenné válik. Ezért újabb meg újabb illesztések szükségesek, s ezt az illesztő eljárást addig folytatjuk, amíg a kerületi feltételektől való eltérés mindkét peremvonal mentén elhanyagolhatóan kicsinnyé nem válik.

Az *első illesztést* a külső peremvonalon hajtjuk végre. Ennek érdekében az F_0 függvénynek a külső peremvonal mentén vett értékeit Fourier-sorba fejtjük. Ily módon valamely

$$[F_0]_e = A_0^* + A_1^* \cos \varphi + A_2^* \cos 2\varphi + A_3^* \cos 3\varphi + \dots \quad (9)$$

alakú kifejezéshez jutunk. E kifejezés jobboldalán az első két tag eleve megfelel az (5) kerületi feltételnek, tehát az előírt kerületi feltételtől való eltérés:

$$R^* = A_2^* \cos 2\varphi + A_3^* \cos 3\varphi + \dots \quad (10)$$

A fenti eltérést azáltal szüntetjük meg, hogy az F_0 függvényhez a következő potenciálfüggvényt iktatjuk hozzá:

$$F_1 = -A_2^* \left(\frac{r}{a} \right)^2 \cos 2\varphi - A_3^* \left(\frac{r}{a} \right)^3 \cos 3\varphi - \dots \quad (11)$$

A második illesztést az teszi szükségessé, hogy az $F_0 + F_1$ együttes a belső peremvonal mentén nem elégíti ki a (6) kerületi feltételt. Minthogy itt az F_0 függvény önmagában véve megfelel a (6) kerületi feltételnek, az előírt kerületi értékektől való eltérés az F_1 függvényből származik. Az F_1 függvény értéke a belső kerület mentén ilyen alakú Fourier-sorba fejthető:

$$[F_1]_i = A_0^{**} + A_1^{**} \cos \psi + A_2^{**} \cos 2\psi + A_3^{**} \cos 3\psi + \dots \quad (12)$$

A fenti kifejezésben az első két tag eleve eleget tesz a (6) kerületi feltételnek, úgyhogy a (6) feltételtől való eltérés csupán az

$$R^{**} = A_2^{**} \cos 2\psi + A_3^{**} \cos 3\psi + \dots \quad (13)$$

tagokból származik. A mutatkozó eltérést azáltal szüntethetjük meg, hogy az $F_0 + F_1$ együttest a következő potenciálfüggvénnyel egészítjük ki:

$$F_2 = -A_2^{**} \left(\frac{b}{s}\right)^2 \cos 2\psi - A_3^{**} \left(\frac{b}{s}\right)^3 \cos 3\psi - \dots \quad (14)$$

A harmadik illesztés azért szükséges, mert az $F_0 + F_1 + F_2$ együttesből az F_2 függvény a külső peremvonal mentén nem elégíti ki az (5) kerületi feltételt. Itt az F_2 függvény értéke

$$[F_2]_e = A_0^{***} + A_1^{***} \cos \varphi + A_2^{***} \cos 2\varphi + A_3^{***} \cos 3\varphi + \dots \quad (15)$$

alakú Fourier-sorba fejthető, melyből az (5) kerületi feltételtől eltérést előidéző részlet:

$$R^{***} = A_2^{***} \cos 2\varphi + A_3^{***} \cos 3\varphi + \dots \quad (16)$$

Ezen eltérés kiküszöbölésére az $F_0 + F_1 + F_2$ együtteshez az alábbi F_3 potenciálfüggvényt iktatjuk hozzá:

$$F_3 = -A_2^{***} \left(\frac{r}{a}\right)^2 \cos 2\varphi - A_3^{***} \left(\frac{r}{a}\right)^3 \cos 3\varphi - \dots \quad (17)$$

A további illesztések során az előzőekhez hasonlóan járunk el: minden illesztés alkalmával egy-egy újabb taggal egészítvén ki a már előzőleg megállapított együttest. Ezt az eljárást tovább folytatva, a feladat keresett feszültségfüggvényét végül is

$$F = F_0 + F_1 + F_2 + F_3 + \dots \quad (18)$$

alakban kapjuk meg.

6. A feladat gyakorlati megoldása

A feszültségfüggvény meghatározására bemutatott eljárásunk a peremvonalak teljes hosszában végrehajtott sorozatos illesztést tett szükségessé. A gyakorlatban a peremvonalak teljes hosszában végrehajtandó illesztés

helyett megelégedhetünk azzal, hogy az illesztést a peremvonalak csupán egyes kijelölt pontjaiban hajtjuk végre.

Az illesztés céljaira a külső és belső peremvonalon a $\varphi = 0$, illetve $\psi = 0$ helytől kiindulva, egyenletes kiosztásban $2n$ pontot jelölünk ki. Ezeket 0 -tól $2n$ -ig, illetve $0'$ -tól $2n'$ -ig terjedő sorszámokkal látjuk el. Ha, mint esetünkben is, az illesztendő függvények a $\varphi = 0$ síkra nézve szimmetrikusak, e $2n$ pont helyett elégséges csak a $0, 1, 2, \dots, n$, illetve $0', 1', 2', \dots, n'$ pontokkal dolgoznunk. Ez esetben a Fourier-féle sorfejtést helyettesítő véges trigonometriai sor együtthatói igen egyszerűen az ismert Bessel-féle képletekkel határozhatók meg.

Az alkalmazandó eljárás pl. az első illesztés esetében a következő. Először is megállapítjuk a külső peremvonal $0, 1, 2, \dots, n$ pontjaiban az F_0 függvény értékét, vagyis az

$$y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$$

értékeket. Ezen értékek birtokában az F_0 függvény kerületi értékeit az

$$[F_0]_\varphi \simeq A_0^* + A_1^* \cos \varphi + A_2^* \cos 2\varphi + \dots + A_n^* \cos n\varphi$$

véges trigonometriai sorral közelítjük meg. Utóbbinak $A_0^*, A_1^*, A_2^*, \dots, A_n^*$ együtthatóit úgy határozzuk meg, hogy a szóban forgó sor értéke a $0, 1, 2, \dots, n$ pontokban pontosan egyezzen az $y_0, y_1, y_2, \dots, y_n$ függvényértékekkel. Az egyezés akkor következik be, ha

$$A_0^* = \frac{2}{n} \left[\frac{y_0}{4} + \frac{y_1}{2} + \frac{y_2}{2} + \dots + \frac{y_{n-1}}{2} + \frac{y_n}{4} \right],$$

$$A_k^* = \frac{2}{n} \left[\frac{y_0}{2} + y_1 \cos \frac{k\pi}{n} + y_2 \cos \frac{2k\pi}{n} + \dots + y_{n-1} \cos \frac{(n-1)k\pi}{n} + \frac{y_n}{2} \cos k\pi \right]; \quad (k = 1, 2, \dots, n-1)$$

$$A_n^* = \frac{2}{n} \left[\frac{y_0}{4} - \frac{y_1}{2} + \frac{y_2}{2} - \dots + (-1)^{n-1} \frac{y_{n-1}}{2} + (-1)^n \frac{y_n}{4} \right].$$

A fenti trigonometriai sor $(n+1)$ tagot tartalmaz. Ha a számítás egyszerűsítésére a sor utolsó tagjait elhagyjuk, a maradék sor értéke az illesztési helyeken általában nem fog pontosan megegyezni az y_0, y_1, \dots, y_n értékekkel, de a közepes négyzetes hiba minimális lesz.

7. Számpélda

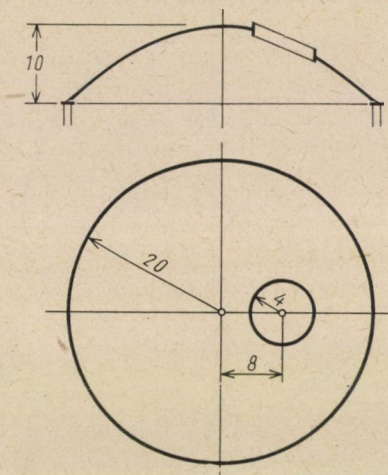
Alkalmazzuk az előzőekben ismertetett eljárást az 5. ábrán feltüntetett héjra. A szóban forgó példában

$$a = 20,0 \text{ m,}$$

$$b = 4,0 \text{ m,}$$

$$c = 8,0 \text{ m,}$$

$$h = 10,0 \text{ m.}$$



5. ábra. Számpélda

A héj vetületi terhelése

$$Z_0 = 250 \text{ kp/m}^2,$$

a nyílás szegélygerendájának átlagos terhe pedig

$$g_0 = 200 \text{ kp/m.}$$

Az alábbiakban a feladat megoldását két változatban mutatjuk be. Az *a)* változatban a feladat közelítő feszültségfüggvényül magát az F_0 függvényt választjuk, a *b)* változatban feszültségfüggvényül az $F_0 + F_1 + F_2 + F_3$ együttest vezetjük be. A két változat közül természetesen a *b)* alatti a pontosabb.

$$a) \text{ változat } F \simeq F_0.$$

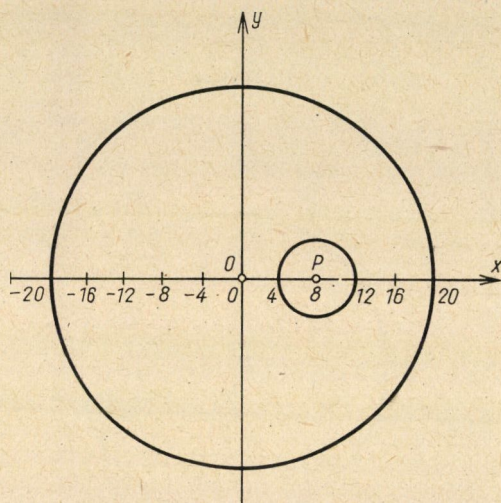
Ebben az esetben a (9) képlet szerint

$$F = \frac{Z_0 a^4}{8h} \left[1 - \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right] + \frac{a^2 b^2}{4h} \left(\frac{Z_0}{2} - \frac{g_0}{b} \right) \ln \left(\frac{s}{b} \right)^2,$$

illetve a számértékek behelyettesítésével

$$F = 500\,000 \left[1 - \left(\frac{r}{20} \right)^2 \right] + 12\,000 \ln \left(\frac{s}{4} \right)^2.$$

A fenti képlettel számítva, az x, y irányú vetületi feszítő erők (n_x, n_y) értéke a 6. ábrán feltüntetett szimmetriatengely különböző pontjaiban az 1. táblázat szerint alakul.



6. ábra. Az $O(x, y)$ koordinátarendszer

1. táblázat

Az n_x és n_y vetületi feszítő erők értéke

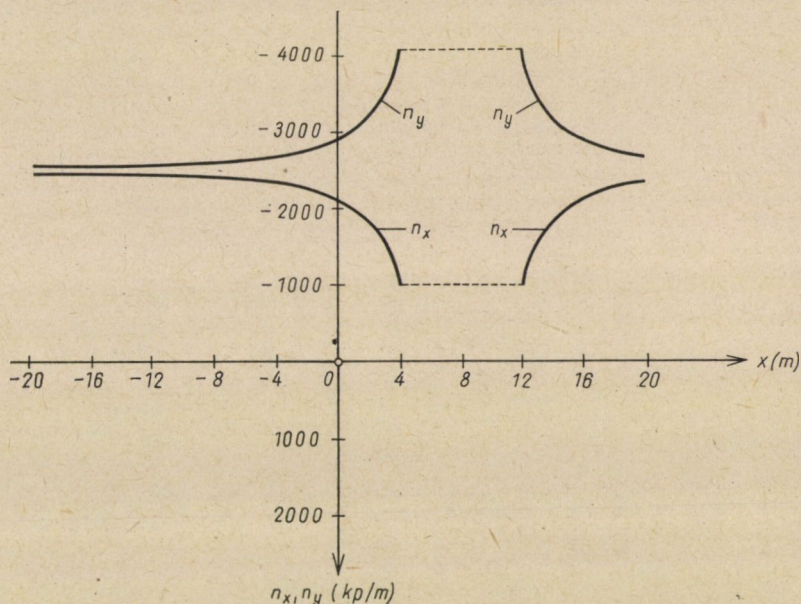
x [m]	n_x [kp/m]	n_y [kp/m]
-20,0	-2479	-2540
-16,0	-2468	-2551
-12,0	-2450	-2570
- 8,0	-2416	-2603
- 4,0	-2343	-2676
0,0	-2135	-2885
+ 4,0	-1010	-4010
+12,0	-1010	-4010
+16,0	-2135	-2885
+20,0	-2343	-2676

Mint a fenti táblázatból, valamint a 7. ábrán bemutatott diagramból látható, az n_x és n_y vetületi feszítő erők a nyílástól kellő távolságban nagyjából állandó értékűek. Ezen értékhez képest az n_x erők a nyílás közelében jelentősen le-

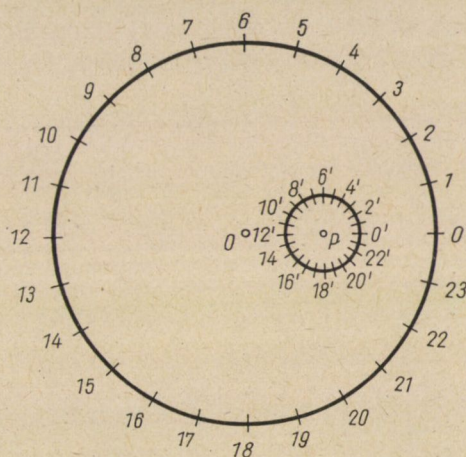
csökkennek, az n_y vetületi feszítő erők viszont a nyílás felé közeledve, számottevően megnövekednek.

b) változat $F \cong F_0 + F_1 + F_2 + F_3$.

Míg az a) változat szerinti számításban a kerületeken semmiféle illesztés^t sem végeztünk, a jelen változat esetében a kerületeken három ízben fogunk illesztést végezni. Az illesztési művelethez a 8. ábrán feltüntetett pontokat fogjuk felhasználni. Ezeket az ábrán látható sorszámozással látjuk el.



7. ábra. Az n_x és n_y vetületi feszítő erők értéke az x tengely mentén



8. ábra. Az illesztési pontok és számozásuk

2. táblázat

A külső peremvonalon kijelölt pontok koordinátái

N_0	r [m]	φ°	s [m]	φ°
0	20,000	0,000	12,000	0,000
1	20,000	15,000	12,446	24,576
2	20,000	30,000	13,670	47,014
3	20,000	45,000	15,418	66,524
4	20,000	60,000	17,436	83,413
5	20,000	75,000	19,524	98,316
6	20,000	90,000	21,541	111,801
7	20,000	105,000	23,384	124,296
8	20,000	120,000	24,980	136,102
9	20,000	135,000	26,273	147,434
10	20,000	150,000	27,224	158,455
11	20,000	165,000	27,805	169,271
12	20,000	180,000	28,000	180,000

3. táblázat

A belső peremvonalon kijelölt pontok koordinátái

N_0	s [m]	φ°	r [m]	φ°
0'	4,000	0,000	12,000	0,000
1'	4,000	15,000	11,909	4,987
2'	4,000	30,000	11,637	9,896
3'	4,000	45,000	11,192	14,639
4'	4,000	60,000	10,583	19,107
5'	4,000	75,000	9,827	23,153
6'	4,000	90,000	8,944	26,565
7'	4,000	105,000	7,965	29,019
8'	4,000	120,000	6,928	30,000
9'	4,000	135,000	5,895	28,675
10'	4,000	150,000	4,957	23,794
11'	4,000	165,000	4,264	14,052
12'	4,000	180,000	4,000	0,000

A számítás bevezető lépéseként először a kijelölt kerületi pontok koordinátáit állapítjuk meg az $O(r, \varphi)$ és $P(s, \psi)$ koordinátarendszerekben. A számítást elvégezve, eredményül a 2., illetve 3. táblázatba foglalt értékeket kapjuk.

Ezen előkészítés után az a) alatti számítási változatból már ismert F_0 függvény értékeit határozzuk meg a *külső* kerületen kijelölt pontokban. Az ide vonatkozó számítás eredménye a 4. táblázatból vehető ki.

4. táblázat

Az F_0 függvény értéke a külső kerületen kijelölt pontokban

N_0	$[F_0]_e$
0	28 413,0
1	29 288,9
2	31 540,4
3	34 428,7
4	37 379,6
5	40 094,3
6	42 453,9
7	44 424,8
8	46 009,1
9	47 220,3
10	48 073,4
11	48 580,1
12	48 748,2

A fenti függvényértékeket a következő véges trigonometriai sorral közelítjük meg:

$$\begin{aligned}
 [F_0]_e \cong & 40\,672,84 - 9\,600,01 \cos \varphi - 1\,919,97 \cos 2\varphi - \\
 & - 511,97 \cos 3\varphi - 153,62 \cos 4\varphi - 49,19 \cos 5\varphi - \\
 & - 16,38 \cos 6\varphi - 5,58 \cos 7\varphi - 1,95 \cos 8\varphi.
 \end{aligned}$$

Ez esetben az (5) kerületi feltételtől való eltérés megszüntetésére az alábbi potenciálfüggvényt vezetjük be:

$$\begin{aligned}
 F_1 = & 1\,919,97 \left(\frac{r}{20}\right)^2 \cos 2\varphi + 511,97 \left(\frac{r}{20}\right)^3 \cos 3\varphi + 153,62 \left(\frac{r}{20}\right)^4 \cos 4\varphi + \\
 & + 49,19 \left(\frac{r}{20}\right)^5 \cos 5\varphi + 16,38 \left(\frac{r}{20}\right)^6 \cos 6\varphi + 5,58 \left(\frac{r}{20}\right)^7 \cos 7\varphi + \\
 & + 1,95 \left(\frac{r}{20}\right)^8 \cos 8\varphi.
 \end{aligned}$$

Ezután a belső kerületre térünk vissza, s ott végzünk illesztést. Evégett meg kell határoznunk az F_1 függvény értékét a belső kerület kijelölt pontjaiban. A számítás eredményét az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat

Az F_1 függvény értéke a belső kerület kijelölt pontjaiban

No	$[F_1]_i$
0'	826,5
1'	797,1
2'	715,3
3'	597,7
4'	465,8
5'	340,3
6'	236,1
7'	160,7
8'	113,8
9'	90,3
10'	82,0
11'	80,8
12'	81,2

A fenti függvényértékeket a következő véges trigonometriai sorral közelítjük meg:

$$[F_1]_i \cong 344,47 + 365,71 \cos \psi + 108,84 \cos 2\psi + 6,91 \cos 3\psi + \\ + 0,49 \cos 4\psi + 0,03 \cos 5\psi + 0,00 \cos 6\psi + 0,00 \cos 7\psi + 0,00 \cos 8\psi.$$

A (6) kerületi feltételtől való eltérés kiküszöbölésére a megoldást az alábbi potenciálfüggvénnyel kell kiegészítenünk:

$$F_2 = - 108,84 \left(\frac{4}{s}\right)^2 \cos 2\psi - 6,91 \left(\frac{4}{s}\right)^3 \cos 3\psi - \\ - 0,49 \left(\frac{4}{s}\right)^4 \cos 4\psi - 0,03 \left(\frac{4}{s}\right)^5 \cos 5\psi.$$

Természetesen, az F_2 függvény nem teljesíti a külső kerületre vonatkozó (5) kerületi feltételt. A fennforgó eltérés megállapítására képeznünk kell F_2 értékeit a külső kerület kijelölt pontjaiban. A számítás eredménye a 6. táblázatból vehető ki.

6. táblázat

Az F_2 függvény értéke a külső kerületen kijelölt pontokban

No	$[F_2]_e$
0	-12,4
1	- 7,4
2	+ 0,8
3	+ 5,1
4	+ 5,6
5	+ 4,4
6	+ 2,7
7	+ 1,1
8	- 0,1
9	- 1,1
10	- 1,7
11	- 2,1
12	- 2,2

A fenti függvényértékeket a következő trigonometriai sorral közelítjük meg:

$$[F_2]_e \cong 0,00 - 0,00 \cos \varphi - 4,36 \cos 2\varphi - 3,54 \cos 3\varphi - 2,16 \cos 4\varphi - \\ - 1,17 \cos 5\varphi - 0,59 \cos 6\varphi - 0,29 \cos 7\varphi - 0,14 \cos 8\varphi.$$

Igy az (5) kerületi feltételtől való eltérés kiküszöbölésére az alábbi potenciál-függvényt kell bevezetnünk:

$$F_3 = 4,35 \left(\frac{r}{20} \right)^2 \cos 2\varphi + 3,54 \left(\frac{r}{20} \right)^3 \cos 3\varphi + 2,16 \left(\frac{r}{20} \right)^4 \cos 4\varphi + \\ + 1,17 \left(\frac{r}{20} \right)^5 \cos 5\varphi + 0,59 \left(\frac{r}{20} \right)^6 \cos 6\varphi + \\ + 0,29 \left(\frac{r}{20} \right)^7 \cos 7\varphi + 0,14 \left(\frac{s}{20} \right)^8 \cos 8\varphi.$$

Mint látható, az F_3 függvény az F_1 függvényhez képest már alig jelent változást, miért is a további igazításoktól eltekintünk.

Számításunk eredményeként a feladat keresett feszültségfüggvényét az F_0 , F_1 , F_2 és F_3 függvények összegeként kapjuk meg. A számítások során az F_1 és F_3 függvények helyett azok összegével célszerű dolgozni:

$$\begin{aligned}
 F_1 + F_3 = & + 1924,32 \left(\frac{r}{20}\right)^2 \cos 2\varphi + 515,51 \left(\frac{r}{20}\right)^3 \cos 3\varphi + \\
 & + 155,78 \left(\frac{r}{20}\right)^4 \cos 4\varphi + 50,36 \left(\frac{r}{20}\right)^5 \cos 5\varphi + \\
 & + 16,97 \left(\frac{r}{20}\right)^6 \cos 6\varphi + 5,87 \left(\frac{r}{20}\right)^7 \cos 7\varphi + \\
 & + 2,09 \left(\frac{r}{20}\right)^8 \cos 8\varphi.
 \end{aligned}$$

Ismervén az F függvényt, a vetületi feszítő erők értékét bármely pontban kiszámíthatjuk. A számítást a 6. ábrán feltüntetett x tengely különböző pontjain elvégezve, eredményül a 7. táblázatban feltüntetett értékekhez jutunk. Az n_x és n_y vetületi feszítő erők diagramja a 7. ábrán látható.

7. táblázat

Az n_x és n_y vetületi feszítő erők értéke az x tengely különböző pontjaiban

x [m]	n_x [kp/m]	n_y [kp/m]
-20,0	-2474	-2545
-16,0	-2464	-2555
-12,0	-2446	-2573
- 8,0	-2413	-2606
- 4,0	-2341	-2678
0,0	-2132	-2887
+ 4,0	- 975	-4044
+12,0	- 970	-4049
+16,0	-2143	-2876
+20,0	-2360	-2660

8. Megjegyzések

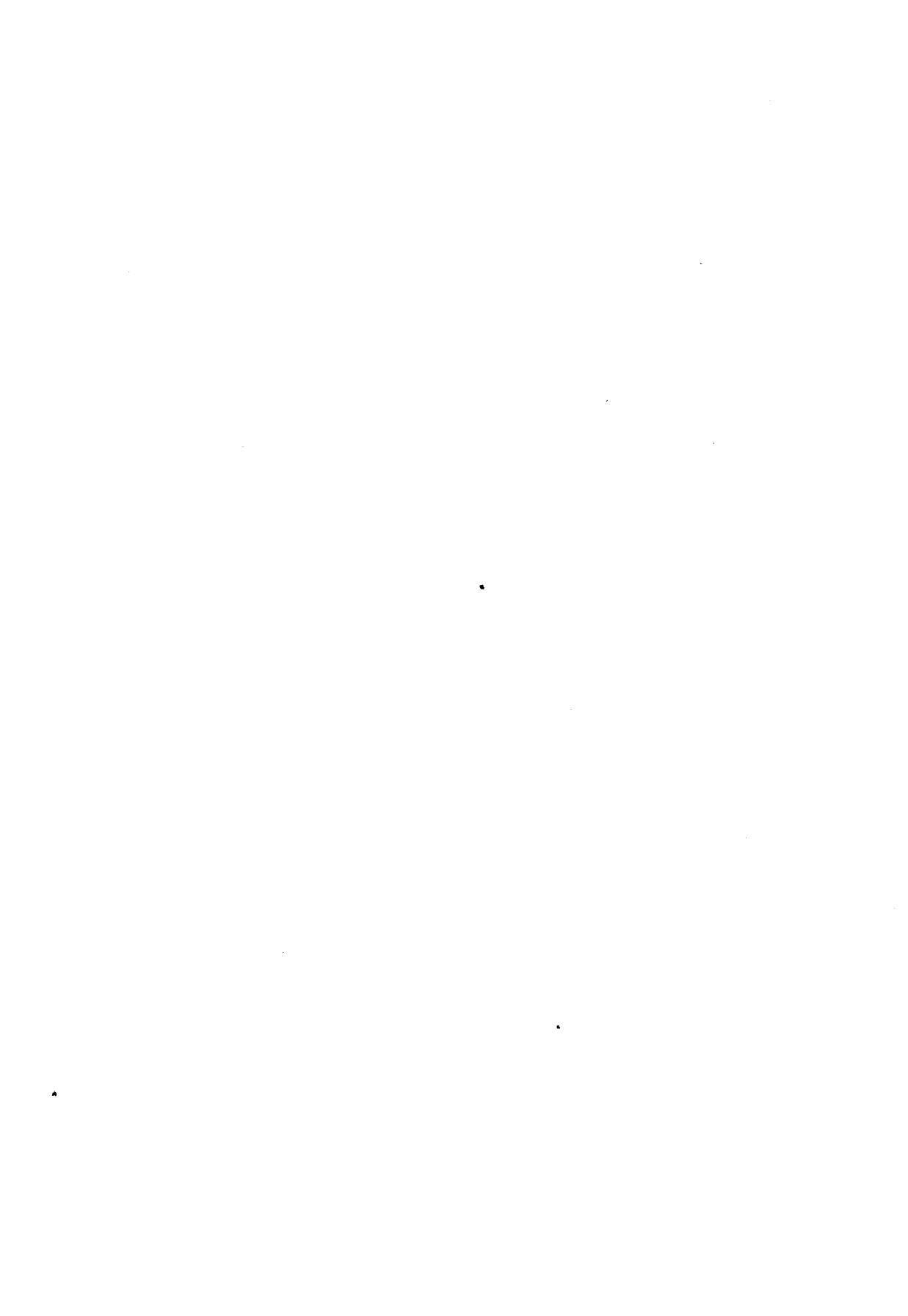
Érdekes megállapítást tehetünk, ha a 7. alatt bemutatott számpéldában az a) és b) változat szerint számított vetületi feszítő erőket, vagyis az 1. és 7. táblázat számértékeit egymással egybevetjük. Az összehasonlítás azt mutatja, hogy a kétféle módon számított vetületi feszítő erők csak lényegtelenül térnek el egymástól.

Ezek szerint a tárgyalt számpéldához hasonló esetekben, vagyis olyankor, amidőn a nyílás átmérője a héj átmérőjéhez képest kicsiny, illetve a nyílás helyzete csak kevéssé külpontos, mindenféle kerületi illesztés mellőzhető. Ily esetekben már akkor is kellő pontosságú eredményt kapunk, ha feszültségfüggvényül — közelítésként magát az F_0 függvényt használjuk.

Ha a héjon levő nyílás központos elhelyezkedésű, vagyis $c = 0$, a héj feszültségfüggvénye pontosan egyezik a (8) alatti F_0 függvénnyel, függetlenül attól, hogy a nyílás sugara miként viszonylik a héj alapkörének sugarához.

IRODALOM

1. CSONKA, P.: On the Annular Edge Beam of Membran Shells. *Acta Techn. Hung.* **33** (1961), pp. 413—430.
2. CSONKA, P.: Membran Shells with Vertically Supported Edge Beam. Simplified Calculation Methods of Shell Structures. *Proceedings of the Colloquium on Simplified Calculation Methods*, Brussels, September 4—6, 1961 North-Holland Publishing Company-Amsterdam. Interscience Publishers, Inc.-New York, 1962, 219—234.
3. CSONKA, P.: Membran Shells with perfectly Free Edges. *Acta Techn. Hung.* **40** (1962), pp. 151—167.
4. CSONKA, P.: Paraboloid Shell of Revolution with an Eccentric Skyliht Opening. *Proceedings of the World Conference on Shell Structures*, San Francisco, California, September 30—October 4, 1962. (In print).



SZIMMETRIKUSAN, ILLETVE ANTIMETRIKUSAN TERHELT SZIMMETRIKUS ÉS ANTIMETRIKUS HÉJAK

CSONKA PÁL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

AZ MTA ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI MUNKAKÖZÖSSÉGE, BUDAPEST

[Béérkezett 1963. február 25-én]

A dolgozat szimmetrikus, illetve antimetrikus elrendezésű oly héjakkal foglalkozik, melyek terhelése a szimmetria, illetve antimetria síkjára nézve szimmetrikus vagy antimetrikus. Megállapítja, hogy az efféle héjakon a szimmetria, illetve antimetria síkjában a belső erők, illetve alakváltozások minő különleges feltételeknek tartoznak megfelelni, majd megvizsgálja, hogy az általános esetre érvényes összefüggések membránhéjak esetében minő különleges alakban jelentkeznek. Végül három konkrét példán bemutatja a levezetett összefüggések gyakorlati alkalmazását.

1. Bevezetés

Az alábbiakban oly héjakról lesz szó, melyek középfelülete szimmetrikus vagy antimetrikus, terhelése pedig a szimmetria, illetve antimetria síkjára nézve szimmetrikus vagy antimetrikus elrendezésű. A támaszerőket a héj terhelésével megegyezően szimmetrikus, illetve antimetrikus elrendezésűnek feltételezzük.

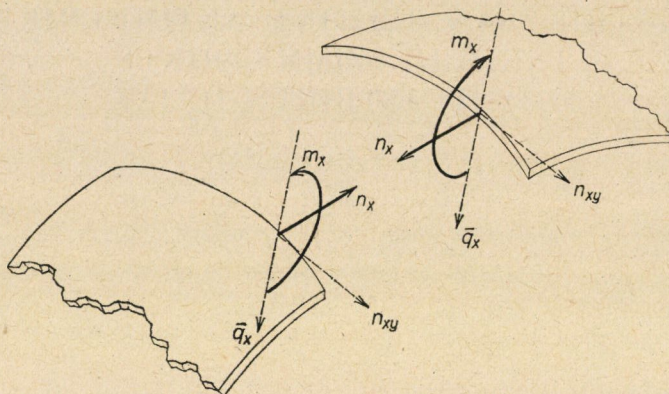
Dolgozatunk 2—6. fejezeteiben a héj szimmetria-, illetve antimetria-síkját függőleges helyzetűnek képzeljük, s a szimmetria, illetve antimetria síkjára merőleges irányt x iránynak nevezzük. A héj középfelületének a szimmetria, illetve antimetria síkjával való metszészvonalán az érintő irányát y betűvel, a fő normális irányát pedig z betűvel jelöljük. A feszültségi és alakváltozási állapot jellemzésére a Girkmann-féle betűjeleket, az x, y, z irányú elmozdulások megjelölésére pedig az u, v, w betűjeleket használjuk.

A dolgozat 7. fejezetében (az alkalmazási példákban) célszerűségi okokból a fentiekől eltérő más jelölést fogunk alkalmazni.

2. Szimmetrikus héj szimmetrikus teherrel

Ebben az esetben a szimmetriasík két oldalán levő két félhéjnak azonos feszültségi állapotban kell lennie. Másrészt viszont a két félhéj csatlakozásánál a metszeterőknek, mint egymás reakcióinak, egymással ellentétesnek kell lenniök. Mindebből következik, hogy az $x = 0$ helyen az 1. ábrán tele vonallal kihúzott feszítőerők működhetnek csak, vagyis ott

$$n_{xy} = 0, \quad \bar{q}_x = 0.$$



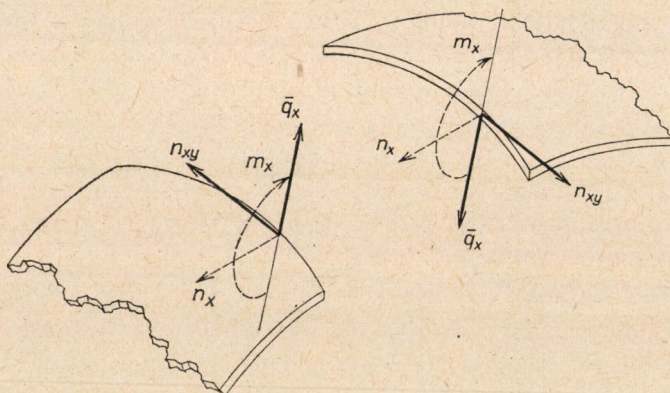
1. ábra. Szimmetrikusan terhelt szimmetrikus héj metszeterői az $x = 0$ helyen

Természetesen, a két félhéjon a terhelés okozta elmozdulásoknak szimmetrikusan kell kialakulniuk, s így az $x = 0$ helyen a két félhéj csak akkor illeszthető össze hézagmentesen, ha ott

$$u = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial x} = 0.$$

3. Szimmetrikus héj antimetrikus teherrel

Most a szimmetriasík két oldalán levő két félhéjnak antimetrikus elrendezésű feszültségi állapotban kell lennie. Másrészt viszont a metszeterőknek a két félhéj csatlakozásánál egymás reakcióit kell alkotniuk. E két körülményből következik, hogy a két félhéj csatlakozásánál a 2. ábrán tele vonással ábrá-



2. ábra. Antimetrikusan terhelt szimmetrikus héj metszeterői az $x = 0$ helyen

zolt feszítőerők keletkezhetnek csak, vagyis az $x = 0$ helyen

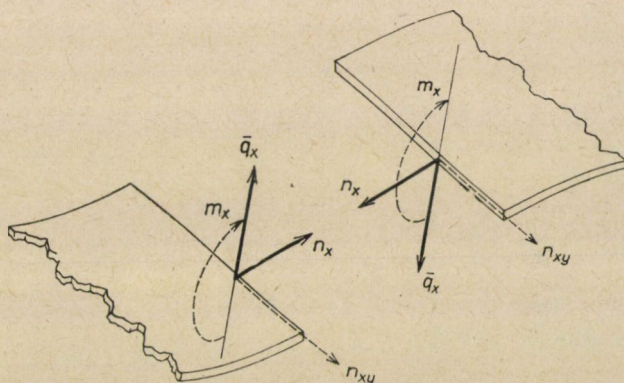
$$n_x = 0, \quad m_x = 0.$$

Minthogy a két félháj antimetrikus feszültségi állapotban van, az alakváltozások is antimetrikusak. Ily körülmények közt a két félháj csak akkor csatlakozhatik hézagmentesen egymáshoz, ha az $x = 0$ helyen

$$\varepsilon_y = 0, \quad w = 0.$$

4. Antimetrikus háj antimetrikus teherrel

A most tárgyalandó esetben az antimetriásik két oldalán levő két félhájnak azonos feszültségi állapotban kell lennie. Ha az egyik félháj feszítőerőit ismerjük, a másik félháj feszítőerőit úgy kapjuk meg, hogy az előbbi



3. ábra. Antimetrikusán terhelt antimetrikus háj metszeterői az $x = 0$ helyen

félhajat a feszítőerőkkel együtt az y tengely körül 180° -kal elforgatjuk. Ezt tudva, és figyelembe véve, hogy a két félháj csatlakozásánál a metszeterőknek egymás reakcióit kell alkotniok, nyilvánvaló, hogy a csatlakozás helyén a 3. ábrán televonallal ábrázolt feszítőerők keletkezhetnek csak, vagyis az $x = 0$ helyen

$$n_{xy} = 0, \quad m_x = 0$$

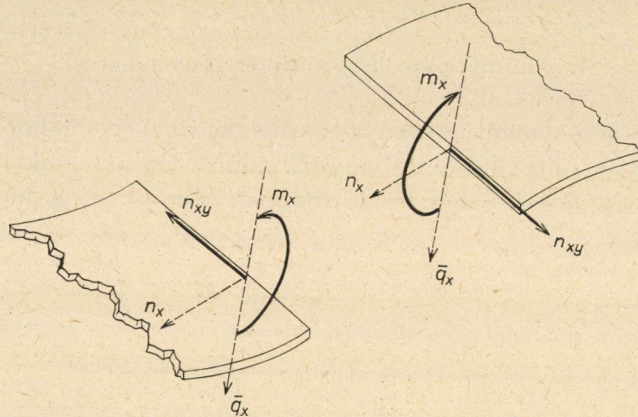
tartozik lenni.

A teljes antimetriából az is következik, hogy a két félháj elmozdulásalkotóinak szintén antimetrikusoknak kell lenniök. Emiatt az $x = 0$ helyen a két félháj csak akkor illeszthető össze hézagmentesen, ha ott

$$u = 0, \quad w = 0.$$

5. Antimetrikus héj szimmetrikus teherrel

Ilyenkor az antimetriásík két oldalán levő két félhéjnak antimetrikus feszültségi állapotban kell lennie. Ha tehát az egyik félhéj feszítőerőit ismerjük, a másik félhéj feszítőerőit úgy kapjuk meg, hogy az előbbi félhéjat a feszítőerőkkel együtt az y tengely körül 180° -kal elforgatjuk, és a feszítőerők előjelét ellentéteztetjük. Ebből a tényből, valamint abból, hogy a két félhéj csatlakozásánál a feszítőerők egymás reakciói tartoznak lenni, következik,



4. ábra. Szimmetrikusan terhelt antimetrikus héj metszeterői az $x = 0$ helyen

hogy a két félhéj csatlakozásánál a 4. ábrán tele vonással kihúzott feszítőerők keletkezhetnek csak, vagyis ott

$$n_x = 0, \quad \bar{q}_x = 0.$$

Minthogy a két félhéj antimetrikus feszültségi állapotban van, a két félhéj elmozdulásalkotói is antimetrikusak. Így aztán a két félhéj csak akkor csatlakozhatik hézagmentesen egymáshoz, ha az $x = 0$ helyen

$$\varepsilon_y = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial x} = 0.$$

6. Alkalmazás membránhéjakra

A 2—5. alatt előadottak hajlítóellenállással is bíró héjakra vonatkoztak, de megfelelő módosításokkal hajlító ellenállással nem rendelkező ún. *membránhéjak* esetében is alkalmazhatók.

Membránhéjak esetében a héj metszetén csak húzó-, nyomó-, nyíróerők keletkezhetnek, tehát a két félhéj csatlakozásánál nem jöhetnek létre sem m_x

hajlítónyomatékok, sem \bar{q}_x nyíróerők. Így aztán az $x = 0$ helyen a két félhézagmentes összeillesztéséhez szükséges két illesztési feltétel teljesítésére az előzőekkel szemben most csak egy erőalkotóval rendelkezünk, miért is általában csak tökéletlen illesztést tudunk biztosítani. Tökéletes illesztés csak az elhanyagolt hajlítóhatások figyelembevételével volna elérhető.

Az a körülmény, hogy az antimetrikusan terhelt szimmetrikus membránhéjakon, valamint a szimmetrikusan terhelt antimetrikus héjakon az $x = 0$ metszeten n_x metszeterők nem keletkezhetnek, érdekes megállapításra nyújt lehetőséget. Ez a körülmény ui. azt jelenti, hogy ily esetekben *a két félhéz mindegyike önálló oly héjként kezelhető, mely az $x = 0$ peremen oldalnyomással szemben nem ellenálló peremtartóval van megtámasztva.*

A fenti szabályt négyszög alaprajz fölé szerkesztett elliptikus paraboloidhéjak antimetrikus terhelési eseteire először KLIMOV B. [1] alkalmazta, de ez a szabály antimetrikusan terhelt egyéb szimmetrikus membránhéjak esetében is hasznosítható.

7. Alkalmazási példák

Az 5. alatt ismertetett szabály alkalmazására az alábbiakban három példát mutatunk be. E példákban az előzőektől eltérően a héj feszültségi állapotát a tényleges feszítőerők helyett az ún. vetületi feszítőerőkkel fogjuk jellemezni. A koordinátairányokat ξ , η , ζ betűvel, a vetületi feszítőerőket pedig n_ξ , $n_{\xi\eta}$, n_η betűkkel fogjuk jelölni.

a) *Kör alaprajz fölé szerkesztett forgásparaboloidhéj az egyik átmérősíkra nézve antimetrikusan terhelve* (5. ábra).

A vizsgálandó membránhéj falazattal aláfogott kör alakú peremabroncsra támaszkodik.

A héj középfelületének egyenlete

$$\zeta = \frac{h}{r^2} (\xi^2 + \eta^2),$$

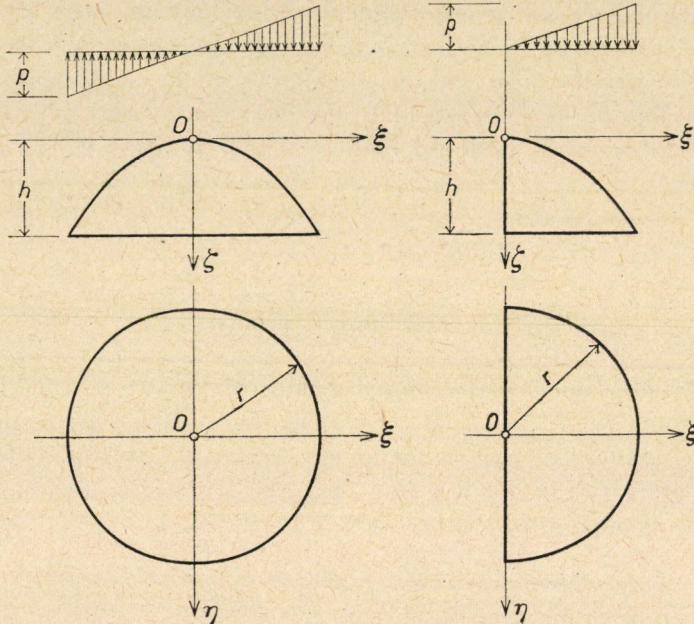
a héjra ható függőleges terhelésnek az alaprajzi vetületi területre vonatkoztatott fajlagos értéke pedig

$$Z = \frac{P}{r} \xi.$$

Mint hogy a héj szimmetrikus, terhelése pedig antimetrikus, a héjat a $\xi = 0$ síkkal két önálló félhéjra metsszük szét. E félhéjakat a $\xi = 0$ peremükön oldalnyomással szemben nem ellenálló peremtartókkal képzeljük alá-támasztottaknak.

A 6. ábra a $\xi \geq 0$ félhéjat ábrázolja. Minthogy a félhéj a $\xi = 0$ peremtartóra nem adhat át oldaleroőt, minthogy továbbá a héj, valamint terhelése az $\eta = 0$ síkra szimmetrikus, a héj feszültségfüggvénye a $\xi = 0$ peremvonal mentén állandónak vehető. Maga a feszültségfüggvény egyszerű számításal igazolhatóan ekként fejezhető ki:

$$F = \frac{p\xi}{8r} (\xi^2 + \eta^2 - r^2).$$



5. ábra. Kőralaprajz fölé szerkesztett forgásparaboloidhéj
6. ábra. Félkőralaprajz fölé szerkesztett forgásparaboloidhéj

Ennek megfelelően a feszítőerők képletei:

$$n_{\xi} = \frac{\partial^2 F}{\partial \eta^2} = \frac{p\xi}{4r},$$

$$n_{\xi\eta} = -\frac{\partial^2 F}{\partial \xi \cdot \partial \eta} = -\frac{p\eta}{4r},$$

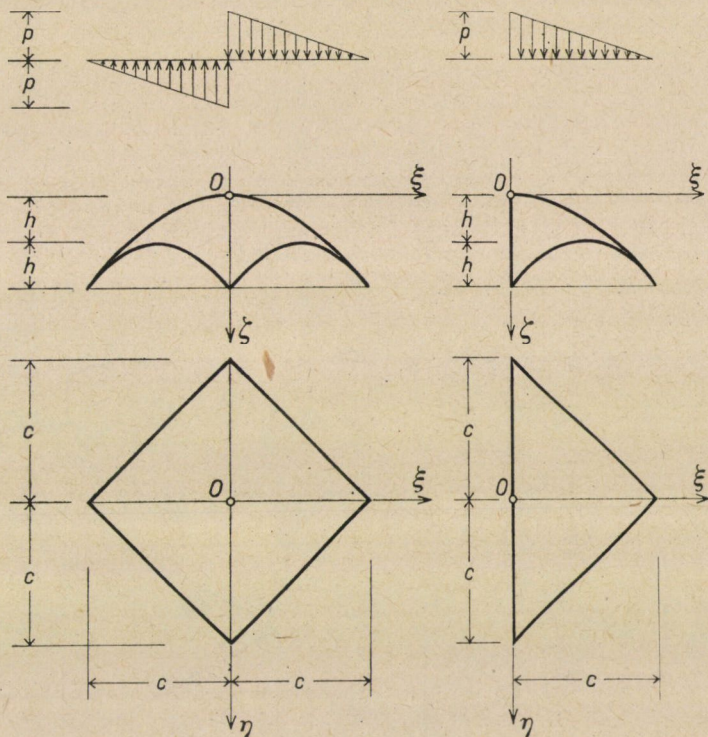
$$n_{\eta} = \frac{\partial^2 F}{\partial \xi^2} = \frac{p\xi}{4r}.$$

Megjegyzendő, hogy a jelen feladat esetében a terhelésfüggvény folytonos volta miatt a fenti képletek a $\xi \leq 0$ félhéjra is érvényesek, s így most — kivételesen — az átmetszés helyén tökéletes illesztés hozható létre.

b) *Négyzetalaprajz fölé szerkesztett forgásparaboloidhéj az egyik átlóistkra nézve antimetrikusan terhelve (7. ábra).*

A vizsgálandó membránhéj azonos ívmagasságú négy olyan peremíven nyugszik, melyek oldalnyomással szemben nem ellenállók. A héj közép-felületének egyenlete

$$\zeta = \frac{2h}{c^2} (\xi^2 + \eta^2).$$



7. ábra. Négyzetalaprajz fölé szerkesztett elliptikus paraboloidhéj

8. ábra. Egyenlőszárú derékszögű háromszögalaprajz fölé szerkesztett forgásparaboloidhéj

A héj feszítőerőinek meghatározásához a héjat a $\xi = 0$ síkkal kettévágjuk. A két félhéj mindegyikét a metszési sík mentén egy-egy olyan peremívvel támasztjuk alá, mely oldalnyomással szemben nem ellenáll.

A 8. ábra a $\xi \geq 0$ félhéjat ábrázolja. E félhéjra a terhelés fajlagos értéke

$$Z = \frac{P}{c} (c - \xi).$$

Mint hogy valamennyi peremív oldalnyomásmentes, s az elrendezés az $\eta = 0$ síkra szimmetrikus, a feszültségfüggvény valamennyi peremvonal mentén

állandó értékűnek vehető. Ez a függvény esetünkben ilyen alakú

$$F = \frac{pc}{16h} \xi [\eta^2 - (c - \xi)^2].$$

A vetületi feszítőerők értékei pedig:

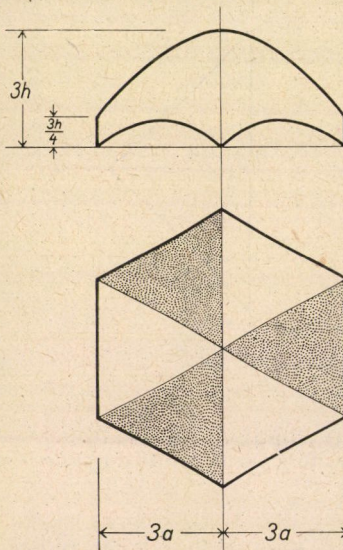
$$n_\xi = \frac{\partial^2 F}{\partial \eta^2} = \frac{pc}{8h} \xi,$$

$$n_{\xi\eta} = -\frac{\partial^2 F}{\partial \xi \cdot \partial \eta} = -\frac{pc}{8h} \eta,$$

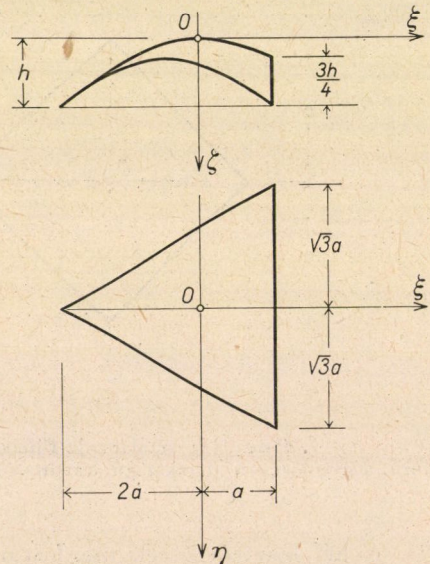
$$n_\eta = \frac{\partial^2 F}{\partial \xi^2} = -\frac{pc}{8h} (2c - 3\xi).$$

Hasonló képletek érvényesek természetesen a $\xi \leq 0$ félhég esetében is.

c) Szabályos hatszögalaprajz fölé szerkesztett forgásparaboloidhég cikkelyenként változó terheléssel (9. ábra).



9. ábra. Szabályos hatszögalaprajz fölé szerkesztett forgásparaboloidhég



10. ábra. A hég egyik cikkelye affin transzformáció után

A vizsgálandó hatszögalaprajzú membránhég oldalnyomással szemben ellenállást nem tanúsító hat peremíven nyugszik. Terhelése az alaprajz pontozottan jelölt cikkelyeiben felülről lefelé ható egyenletesen megoszló p teher, a többi részen ugyanilyen megoszlású alulról felfelé ható p teher.

Mínt hogy a héj szimmetrikus, terhelése pedig antimetrikus, a héjat az antimetriasíkokkal hat önálló cikkelyre bontjuk, s a metszések helyén oldalnyomásra nem ellenálló peremívekkel támasztjuk alá.

A 10. ábra a hat cikkely egyikét ábrázolja. E cikkely sarokpontjait affin transzformáció segítségével azonos magassági helyzetbe hoztuk. A szóban forgó cikkelyen a terhelés értéke

$$Z = p = \text{konst.},$$

a feszültségfüggvény képlete pedig

$$F = -\frac{pa^2}{2h} \left(\xi^2 + \eta^2 + \frac{\xi^3}{3a} - \frac{\xi\eta^2}{a} \right).$$

Ennek megfelelőleg a vetületi feszítőerők a következő képletekkel számíthatók:

$$n_\xi = \frac{\partial^2 F}{\partial \eta^2} = -\frac{pa}{h} (a - \xi),$$

$$n_{\xi\eta} = -\frac{\partial^2 F}{\partial \xi \cdot \partial \eta} = -\frac{pa}{h} \eta,$$

$$n_\eta = \frac{\partial^2 F}{\partial \xi^2} = -\frac{pa}{h} (a + \xi)$$

Természetesen hasonló képletekkel fejezhetők ki a feszültségek a többi héj-cikkelyen is.

IRODALOM

1. KLIMOV B.: A kettős görbületű héjak számítása antimetrikus és egyoldalú teherre. Kandidátusi értekezés, 1960. Kézirat.
2. CSONKA, P.: Symmetrisch bzw. antimetrisch belastete symmetrische und antimetrische Schalen. *Die Bautechnik* 38 (1961), 413–415.
3. KLIMOV (CLIMOW), B.: Zur Berechnung von doppelt gekrümmten Schalen bei antimetrischer und einseitiger Belastung. *Bauplanung—Bautechnik* 16 (1962), 556–558, 607–609.

A BEÖMLÉSI TÉNYEZŐ MEGHATÁROZÁSA AXIÁLIS BELÉPÉSŰ ÖRVÉNYSZIVATTYÚK TERVEZÉSÉHEZ

HAJDU SÁNDOR

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA
GANZ-MÁVAG KÖZPONTI VÍZGÉPTERVEZŐ IRODA

[Beérkezett 1963. január 16-án]

A legkisebb hidraulikai veszteséghez és legkisebb depresszióhoz tartozó ϵ beömlési tényező meghatározása olyan örvényszivattyú-járókerek tervezéséhez, melyeknek lapátózása közé a szállított közeg axiális irányban lép be. Néhány adat a gyakorlati alkalmazásra vonatkozóan.

I. Bevezetés

Örvényszivattyúk tervezésénél — egyebek között — a lehető legjobb hatások és szívóképesség elérésére törekszünk. RÁKOSY Béla kimutatta [1], hogy ezek a jellemzők a beömlési tényező által összefüggésbe hozhatók a jellemző fordulatszámmal és radiális belépés esetére a hatások- és szívóképesség-optimumot adó függvényeket meg is határozta. Eredményei az adott területen jól használhatónak bizonyultak.

A térgörbe-lapátózás térhódítása azonban, különösen pedig a félaxiális járókerek kifejlesztése magával hozta a belépő lapátél egyre nagyobb mértékű előrehúzását a szívótérbe. Így az utóbbi időben tervezett szivattyúk többségénél már axiális vagy közel axiális belépést találunk még radiális, illetve félaxiális — és természetesen axiális — kiömlés esetén is. Szükségessé vált tehát a legjobb hatásfokot és szívóképességet lehetővé tevő beömlési tényező meghatározása *axiális* beömlés esetére, mivel RÁKOSY — radiális belépésre vonatkozó — formulái itt nem adnak (nem is adhatnak) használható eredményt.

Ezzel a feladattal foglalkozunk a következőkben.

II. Jelölések

- $D_0 = 2R$ a járókerék beömlési átmérője, m;
- F keresztmetszet, m^2 ;
- G időegység alatt szállított folyadék-súly, kp/s;
- H szállítómagasság, m;
- $N = Q \gamma H$ hasznos teljesítmény, mkp/s;
- N' teljesítményvesztés, mkp/s;
- Q időegység alatt szállított folyadéktérfogat, m^3/s ;
- R a belépő lapátélek külső kerületének sugara, m;
- S Pfleiderer-féle szívásszám, $S = (n/100)^2 Q/k_0 \Delta h^{3/2}$;
- c_b abszolút sebesség közvetlenül a belépőél előtt, m/s;

- c_1 abszolút sebesség közvetlenül a belépőél után, m/s;
 $g = 9,81$ a nehézségi gyorsulás, m/s²;
 h' a szállított közeg súlyegységére vonatkozó veszteség, m;
 Δh depresszió a lapátózás belépésénél, m;
 $k_0 = 1 - (r/R)^2$ agyszűkítési tényező;
 $k_1 = c_b/c_1$ lapátszűkítési tényező, ($k_1 < 1$);
 n fordulatszám, min⁻¹;
 $n_q = nQ^{1/2} H^{-3/4}$ jellemző fordulatszám, m^{3/4} s^{-1/2} min⁻¹;
 r a belépő lapátélek belső kerületének sugara, m;
 $u_1 = \rho\omega$ kerületi sebesség a belépőélen, m/s;
 w_1 relatív sebesség közvetlenül a belépőél után, m/s;
 γ a szállított folyadék fajsúlya, kp/m³;
 $\varepsilon = c_b/\sqrt{2gH}$ beömlési tényező;
 ε_η a legjobb hatásfokhoz tartozó beömlési tényező;
 ε_σ a legjobb szívóképeséghez tartozó beömlési tényező;
 ζ veszteségtényező;
 η hatásfok, %;
 $\theta = N'/N$ fajlagos teljesítményvesztés;
 λ_1, λ_2 arányossági tényezők;
 $\pi = 3,14 \dots$;
 ρ forgástengelytől mért sugár, m;
 σ Thoma-féle kavitációs szám;
 ω szögsebesség, s⁻¹.

III. Megállapodások

1. Beömlési tényezőnek a c_b beömlési sebesség fajlagos értékét nevezzük:

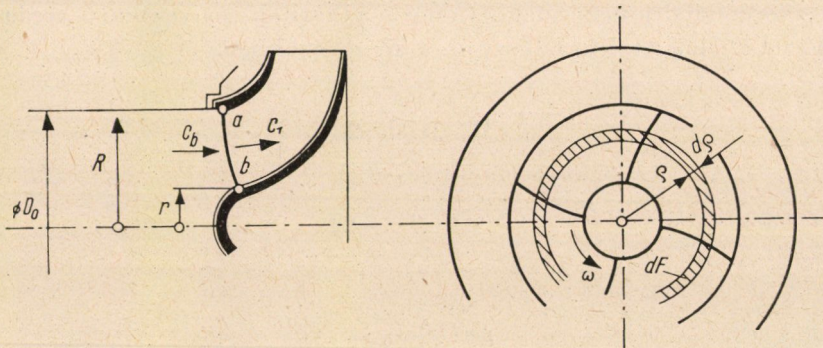
$$\varepsilon = \frac{c_b}{\sqrt{2gH}} \quad (1)$$

2. A c_b beömlési sebességet — a szakirodalommal [2] egybehangzóan — az agyszűkítés figyelembevételével számítjuk (1. ábra) és a belépőél mentén állandónak vesszük.

$$c_b = \frac{Q}{(R^2 - r^2)\pi} \quad (2)$$

3. A (2) nevezőjét R^2 -tel szorozva és osztva lesz $c_b = Q/R^2\pi(1 - r^2/R^2)$. Itt az $R^2\pi$ mellett kapott kifejezést nevezzük agyszűkítési tényezőnek:

$$k_0 = 1 - (r/R)^2 \quad (3)$$



1. ábra

Ezzel a beömlő sebesség (2)-ből

$$c_b = \frac{Q}{k_0 \pi R^2} \quad (4)$$

4. Vizsgálatainkat a perdületmentes belépés esetére végezzük. Ekkor — axiális belépés esetén — a lapátózás közé belépő közeg c_1 sebessége csak a k_1 lapátszűkítési tényezőnek megfelelően különbözik a c_b beömlő sebességtől:

$$c_1 = c_b/k_1 \quad (5)$$

5. A k_1 tényező értékét egy adott gépnél állandónak tekintjük, bár az általában változik a belépőél mentén. Így c_1 is állandónak adódik.

6. Feltételezzük, hogy az áramlás a járókerékben leválásmentes.

7. A sebességeknek a megfelelő tartományra (kör, felület) vonatkoztatott átlagértékeivel számolunk.

IV. Az ε_η meghatározása

A III. 6. alatti feltételünk értelmében a járókerék hidraulikai veszteségei főleg súrlódásból eredhetnek. Ezt a súrlódási veszteséget kell első lépésként meghatározni.

Az áramló közeg súlyegységére vonatkoztatott súrlódási veszteség arányos a belépő w_1 relatív sebesség négyzetével [3]

$$h' = \zeta \frac{w_1^2}{2g} \quad (6)$$

A III.2. szerint c_b és a III.5. alapján c_1 is állandó, és a III.4.-nek megfelelően c_1 merőleges u_1 -re. Tehát a 2. ábrán a tengelyre merőleges síkba beforgatott (vonalkázott) sebességi háromszög: derékszögű háromszög, melynek egyik befogója c_1 állandó. Ebből következik, hogy mivel a másik befogó: u_1 pontról pontra változik a sugár függvényében, a háromszög w_1 átfogója is függvénye lesz a sugárnak. Ezért a folyadék bármely súlyegységnyi részének w_1 relatív sebessége általában nem lesz egymással azonos, hanem csak egy-egy ρ sugarú kör mentén (1. ábra) belépő vízcseppké energiavesztését számíthatjuk ugyanazon w_1 sebesség négyzetéből.

Ha a veszteséget nem a súlyegységre vonatkoztatjuk, hanem a $d\rho$ szélességű gyűrűfelületen az időegység alatt átáramló dG súlyra, akkor — visszanyúlva a h' eredeti, energetikai értelmezéséhez — a (6) egyenlet figyelembevételével a következő, időegységre vonatkoztatott elemi energiavesztést — azaz elemi teljesítményvesztést — kapjuk:

$$dN' = dGh' = \zeta \frac{w_1^2}{2g} dG \quad (7)$$

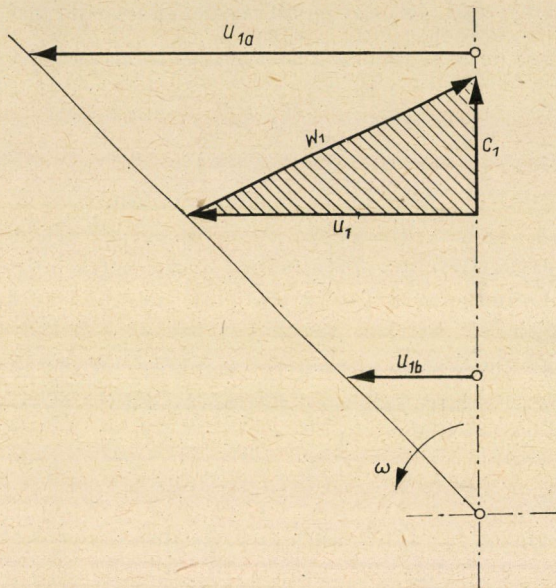
A (7) kifejezést integrálva a sugár szerint, megkapjuk a teljes N' veszteséget. Ehhez előbb kifejezzük a w_1 és G változókat a ρ sugár függvényében.

A belépő sebességi háromszög (2. ábra) és a közismert $u_1 = \varrho\omega$ összefüggés alapján a relatív sebesség négyzete:

$$w_1^2 = c_1^2 + u_1^2 = c_1^2 + \omega^2 \varrho^2. \quad (8)$$

Az időegységént átáramló dG elemi súlyt az 1. ábra és (5) összefüggés alapján a következőképpen fejezhetjük ki:

$$dG = \gamma dQ = \gamma c_b dF = \gamma k_1 c_1 dF = \gamma k_1 c_1 2\pi \varrho d\varrho. \quad (9)$$



2. ábra

A (8) és (9) egyenletet helyettesítve a (7) kifejezésbe, rendezve és integrálva:

$$\int_b^a dN' = \zeta \frac{\gamma}{g} k_1 c_1 \pi \int_r^R (c_1^2 \varrho + \omega^2 \varrho^3) d\varrho;$$

$$N' = \zeta \frac{\gamma}{g} k_1 c_1 \pi \left(c_1^2 \frac{R^2 - r^2}{2} + \omega^2 \frac{R^4 - r^4}{4} \right). \quad (10)$$

A veszteségnek ezt a kifejezését még átalakítjuk, hogy célunknak megfelelő formát nyerjen. Az első tag $k_1 c_1 \pi (R^2 - r^2)$ szorzatába előbb az (5), majd a (2) egyenletet, c_1^2 tényezőjébe pedig — k_1^2 -tel való szorzás és osztás után — előbb szintén az (5) egyenletet, majd az (1) egyenlet négyzetét helyettesítjük. A harmadik tag számlálóját a (3) egyenletből kapott $r^4 = R^4(1 - k_0)^2$ kifejezés segítségével alakítjuk át. A helyettesítéseket elvégezve és rendezve az egyenletet, a következő kifejezést kapjuk:

$$N' = \zeta \left[\left(\frac{\varepsilon}{k_1} \right)^2 Q \gamma H + \frac{\gamma}{g} R^4 \pi c_b \omega^2 \frac{1 - (1 - k_0)^2}{4} \right]. \quad (10a)$$

A második tagot tovább alakítjuk. Előbb szorozzuk és osztjuk $k_0^2 c_b \pi H$ -val, majd az így előálló $k_0^2 \pi^2 R^4 c_b^2$ szorzatba helyettesítjük a (4) egyenlet négyzetét. A nevezőben megmaradó c_b értékét az (1) egyenletből fejezzük ki. Felhasználjuk a szögsebesség négyzetének ismert kifejezését is:

$$\omega^2 = \frac{4\pi^2 n^2}{60^2}. \quad (11)$$

A (10a) második tagjában kijelölt négyzetremelést elvégezve, a fenti helyettesítéseket végrehajtva és rendezve lesz:

$$N' = \zeta \left[Q \gamma H \left(\frac{\varepsilon}{k_1} \right)^2 + Q \gamma H \frac{\pi}{60^2 g} \frac{n^2 Q}{H \varepsilon \sqrt{2 g H}} \frac{2 - k_0}{k_0} \right]. \quad (10b)$$

Könnyen kezelhető és általános érvényű eredményre törekszünk. Ezért nem magával a (10b)-ben kifejezett N' hidraulikus veszteséggel, hanem annak az $N = Q \gamma H$ hasznos teljesítményre vonatkoztatott ϑ fajlagos értékével dolgozunk tovább:

$$\vartheta = \frac{N'}{N} = \zeta \left[\left(\frac{\varepsilon}{k_1} \right)^2 + \frac{\pi}{60^2 g} \frac{n^2 Q}{H \varepsilon \sqrt{2 g H}} \frac{2 - k_0}{k_0} \right]. \quad (12)$$

Az n_q jellemző fordulatszám (definícióját l. a jelölésekben) négyzetéből kifejezhető az $n^2 Q$ szorzat

$$n^2 Q = n_q^2 H^{3/2}. \quad (13)$$

Helyettesítsük a (13)-at a (12)-be és rendezzük:

$$\vartheta = \zeta \left[\left(\frac{\varepsilon}{k_1} \right)^2 + \frac{\pi}{g^{3/2} 60^2 \sqrt{2}} \frac{n_q^2}{\varepsilon} \frac{2 - k_0}{k_0} \right]. \quad (14)$$

Mint a (14) alapján látható, a fajlagos veszteség ε -tól függően változik. A 3. ábrán megrajoltuk a ϑ/ζ változását $0 < \varepsilon < 1$ tartományban $k_0 = k_1 = 0,85$ esetén, $n_q = 20, 50, 80$ és 100 jellemző fordulatszám mellett. (A $k_0 = k_1$ érték választására még visszatérünk.) A görbék világosan mutatják, hogy a veszteség bármelyik n_q esetén erősen változik és adott ε érték-nél minimuma van. A 3. ábrába szaggatott vonallal berajoltuk a minimumok helyét kijelölő $(\vartheta/\zeta)_{\min}$ görbét is.

A legjobb hatásfok elérésének érdekében úgy kell megválasztanunk az ε beömlési tényezőt, hogy ϑ éppen az adott n_q -hoz tartozó legkisebb értékét vegye fel. Tehát a (14) kifejezés szélsőértékét kell keresnünk ε függvényében.

Differenciáljuk ϑ (14) függvényét ε szerint.

$$\frac{d\vartheta}{d\varepsilon} = \zeta \left(\frac{2\varepsilon}{k_1^2} - \frac{\pi}{g^{3/2} 60^2 \sqrt{2}} \frac{n_q^2}{\varepsilon^2} \frac{2 - k_0}{k_0} \right). \quad (15)$$

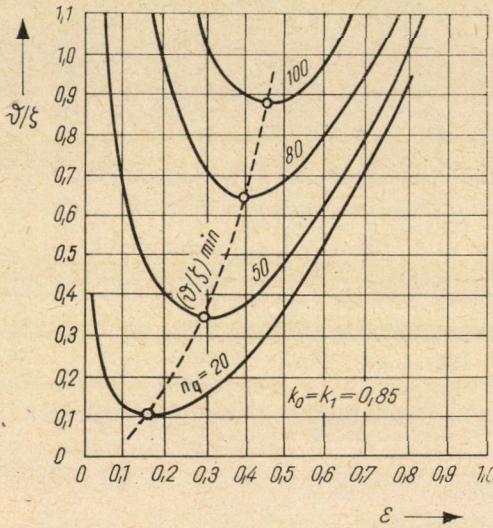
Ahol a (15) differenciálhányados nullával egyenlő, ott van a fajlagos veszteségnek szélső értéke, mely ez esetben — mint láttuk a 3. ábrán —

minimum lesz. Ennek a feltételnek alapján a legjobb hatásfokot adó ε_η beömlésű tényező kiszámítható:

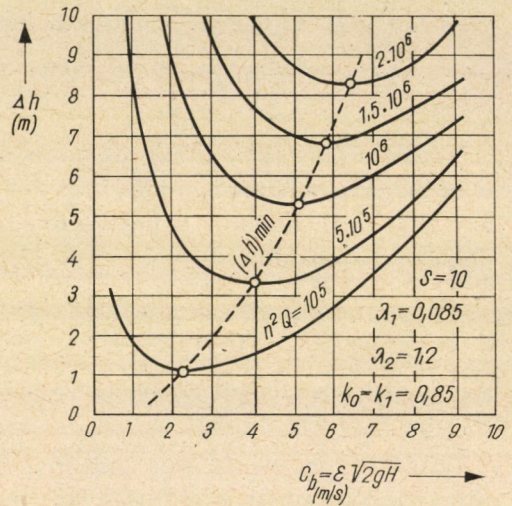
$$\varepsilon_\eta = \left(\frac{k_1^2}{2} \frac{\pi}{g^{3/2} 60^2 \sqrt{2}} n_q^2 \frac{2 - k_0}{k_0} \right)^{1/3} \quad (16)$$

Az állandókat egy tényezőbe foglalva és számításra alkalmasabb formába átrendezve:

$$\varepsilon_\eta = \frac{1}{37} \left[\left(1 - \frac{k_0}{2} \right) \frac{k_1^2}{k_0} n_q^2 \right]^{1/3} \quad (17)$$



3. ábra



4. ábra

Ha összehasonlítjuk a RÁKOSY által radiális beömlésre levezetett

$$\varepsilon = \frac{1}{37} \left(\frac{k_1^2}{k_0} n_q^2 \right)^{1/3}$$

formulával, azt látjuk, hogy eredményünk az $(1 - k_0/2)^{1/3}$ szorzóval különbözik attól. Ez azt jelenti, hogy pl. $k_0 = 1$ esetében kereken 20%-kal kisebb beömlő sebességgel kell számolnunk axiális beömlés esetén a radiális belépéshez képest, ha optimális hatásfokot akarunk elérni.

V. Az ε_σ meghatározása

Az örvényszivattyúknak — a hatásfok mellett — másik legfontosabb üzemi jellemzője a szívókéesség. A szívókéességnek — a fizikai adottságokon (pl. légnyomás, közeghőmérséklet stb.) kívül — a lapát belépőélének külső,

kerületi pontján (1. ábra, *a*) fellépő Δh depresszió szab határt. Ha ez olyan mértékű, hogy következtében az *a* pontnál az abszolút nyomás az adott hőmérséklethez tartozó telített gőznyomás körüli értékre száll alá, akkor a lapáton kavitáció alakul ki. A depresszió ezen üzemállapothoz tartozó értékének a *H* szállítómagassághoz való viszonyát nevezzük Thoma-féle $\sigma = \Delta h/H$ kavitációs számnak. A lehető legnagyobb szívóképességre törekszünk, anélkül, hogy a kavitációt megengednénk. Ezért a σ kavitációs számot és a vele arányos Δh nyomásesést a lehető legkisebb értéken kell tartanunk.

Ezt a nyomásesést PFLEIDERER [4] szerint a következő kapcsolatba lehet hozni a belépő relatív és abszolút sebességgel:

$$\Delta h = \lambda_1 \frac{w_1^2}{2g} + \lambda_2 \frac{c_b^2}{2g}. \quad (18)$$

Perdületmentes belépés esetén (2. ábra) a w_1 relatív sebesség (8) szerint kifejezhető a c_1 abszolút és u_1 kerületi sebességgel. Figyelembe véve még az (5) összefüggést is, a (18) egyenletet átalakítjuk és rendezzük:

$$2g\Delta h = \lambda_1 u_1^2 + \left(\frac{\lambda_1}{k_1^2} + \lambda_2 \right) c_b^2. \quad (19)$$

A kerületi sebesség $u_1 = 2R\pi n/60$ alakú formulájába helyettesítjük (4)-ből az $R^2 = Q/k_0\pi c_b$ értéket, akkor

$$u_1^2 = \frac{4\pi}{60^2 k_0} \frac{n^2 Q}{c_b}. \quad (20)$$

Helyettesítve (20)-at a (19)-be, kapjuk, hogy

$$2g\Delta h = \lambda_1 \frac{4\pi}{60^2} \frac{n^2 Q}{k_0 c_b} + \left(\frac{\lambda_1}{k_1^2} + \lambda_2 \right) c_b^2. \quad (21)$$

A (21) egyenlet alapján kiszámítottuk és a 4. ábrán megrajzoltuk Δh értékeit a gyakorlatilag szóba jöhető c_b belépősebességek és $n^2 Q$ szorzatok tartományában, $k_0 = k_1 = 0,85$, továbbá $\lambda_1 = 0,085$ és $\lambda_2 = 1,2$ értékek esetére. A $c_b = \varepsilon \sqrt{2gH}$ összefüggés alapján — *H* állandó mellett — a kapott diagram ε függvényében is jellemzi a depresszió változását.

A nyomásesést éppen olyan jellegű, minimummal bíró görbék ábrázolják, mint a fajlagos veszteséget (vö. a 3. ábrával). A $(\Delta h)_{\min}$ helyeket szakadozott vonallal össze is kötöttük a 4. ábrán. A legjobb szívóképességet itt, a legkisebb depresszió helyén kapjuk, ezt pedig általában — és nemcsak a felrajzolt néhány görbe esetében — szélsőértékszámítással határozzuk meg. A (21) egyenletet differenciáljuk c_b szerint és nullával tesszük egyenlővé:

$$2g \frac{d\Delta h}{dc_b} = -\lambda_1 \frac{4\pi}{60^2} \frac{n^2 Q}{k_0 c_b^2} + 2 \left(\frac{\lambda_1}{k_1^2} + \lambda_2 \right) c_b = 0. \quad (22)$$

Ebből a legjobb szívóképességhez tartozó belépő sebesség:

$$c_b = \left[\frac{2\pi}{60^2} \frac{n^2 Q}{k_0 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} + \frac{1}{k_1^2} \right)} \right]^{1/3}. \quad (23)$$

A (23) egyenletet összevetve az (1)-gyel, tekintetbe véve, hogy $n^2 Q/H^{3/2} = n_q^2$ és kifejezve a szívóképesség szempontjából optimális beömlési tényezőt, a következő eredményt kapjuk:

$$\varepsilon_\sigma = \frac{1}{37} \left[\frac{1}{k_0 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} + \frac{1}{k_1^2} \right)} \right]^{1/3} n_q^{2/3}. \quad (24)$$

A (24) formula teljesen megegyezik a radiális beömlésre vonatkozó képlettel. Ez természetes, mivel a depresszióknak kavitációra kritikus értékét most is egyetlen — a legkülső — belépő átmérőhöz tartozó adatok alapján határoztuk meg, éppen úgy, mint radiális belépésű kerék esetében.

VI. Alkalmazás

Mind az ε_η , mind ε_σ értékét $n_q^{2/3}$ függvényében kaptuk meg, az összefüggések azonban tartalmazzák a k_0 , k_1 , λ_1 , λ_2 tényezőket is. Foglalkoznunk kell tehát ezek megválasztásával.

A k_0 agyszűkítési és k_1 lapátszűkítési tényező adott gépnél a geometriai adatokból számítható. Tervezéskor azonban ezeket a tényezőket fel kell venni a számítás olyan szakaszában, amikor a konstrukció még nem alakult ki. Célszerű, ha már ez az előzetes felvétel megközelíti a később kiszámítható pontos eredményt, ezért közlünk néhány tájékoztató értéket.

RÜTSCHE [5] szerint k_0 nagysága 0,5—0,9 között lehet, átlagosan $k_0 = 0,75$ -tel számol. Saját tapasztalataink csak részben egyeznek ezzel. Az 1. táblázatban összeállítottuk a Ganz-MÁVAG legújabb tervezésű szivattyúinak néhány adatát. Ezek a gépek kitűnő hatásfokkal és jó vagy kiváló szívóképességgel rendelkeznek, tehát jellemzőiket érdemes tekintetbe venni. Ha megnézzük a táblázat k_0 és k_1 rovatát, azt látjuk, hogy ez a két tényező mindegyik jellemző fordulatszámnál egymással közel megegyező értékű és nagysága 0,8 és 0,9 között változik. Ennek alapján előzetes számításokhoz a közepes

$$k_0 = k_1 = 0,85$$

érték használatát javasoljuk.

A λ_1 és λ_2 tényezők becslésénél a Pfleiderer-féle S szívásszám optimális értékére megadott [6]

$$S_{\text{opt}} = \frac{0,96}{\lambda_1 \sqrt{\lambda_1 + \lambda_2}} \quad (25)$$

összefüggésből indulunk ki. A PFLEIDERER által ezzel kapcsolatban javasolt $\lambda_2 = 1,2$ értéket elfogadva, S felvételével (25)-ből λ_1 számítható. Az S szívásszám az örvényszivattyúk szívóképességének — típustól független — jellemzője, és legnagyobb értéke PFLEIDERER szerint: $S = 2,61$. Ezzel $\lambda_1 = 0,3$ adódik.

A szakirodalom közlései és a Ganz-MÁVAG Vízgéplaboratóriumában végzett mérések alapján azonban úgy tűnik, hogy az $S = 2,61$ érték, mint maximum, ma már nem tartható. Az utóbbi években a szívóképesség — éppen a lapátélek előrehúzása, továbbá kedvezőbb meridiáncsatorna alakok és kedvezőbb lapátterhelésmegoszlások alkalmazása következtében — lényegesen megnövekedett. Így KRISAM [7] például olyan szivattyúról közölt adatokat, melynél a szívásszám $S = 22,8$ és $\lambda_1 = 0,055$ volt. RÜTSCHI már említett [5] dolgozatában ismerteti a Fiscalin-járókerék jellemzőit, melyek szintén rendkívül jók: $S = 22,2$ és $\lambda_1 = 0,046$. Ezek ugyan különlegesen nagy szívóképességek, melyeket általában elérni ma még nem tudunk; de mutatják, hogy van fejlődési lehetőség, és az $S = 10$ értéket RÜTSCHI már most is mindenképpen elérendőnek tartja. Az általa vezetett Pumpenbau Brugg cég egyik NCP 12 1/2—200 típusú — előbb közepes szívóképességű — szivattyúján végrehajtott kis átalakítással pl. elértek $S = 8$ és $\lambda_1 = 0,109$ értékeket.

1. táblázat

A Ganz-MÁVAG néhány szivattyújának jellemzői

Sorszám	Típus	n_q , $m^3/s^{-1/2} \min^{-1}$	Q , m^3/s	H , m	k_0	k_1	ε	η , %	S
1	DN 8	25,3	0,103	30,8	0,800	0,80	0,160	84,8	2,50
2	F 65	39,7	0,140	32,7	0,894	0,85	0,194	86,0	6,25
3	DST 50	50	0,185	18,3	0,815	0,85	0,250	88,5	2,56
4	ST 52	54	0,140	21,2	0,887	0,86	0,231	87,2	11,4
5	Cs 22/A	90	0,146	11,4	0,932	0,90	0,286	88,0	—
6	TOS 300	100	0,320	16,4	0,940	0,90	0,325	87,2	12,4

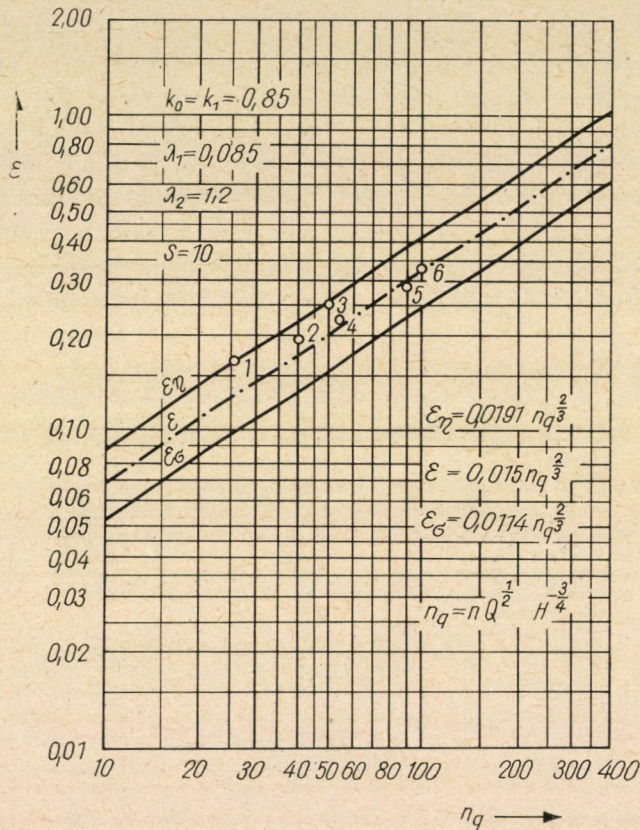
RÜTSCHI álláspontját hazai eredményeink is alátámasztják. Az 1. táblázat adatai szerint a TOS 300 és ST 52 típusú szivattyúk szívásszáma 10-nél nagyobb, és az F 65-é is majdnem háromszorosa a Pfleiderer-féle optimumnak.

Mindezek alapján új konstrukciójú szivattyúknál elérendőnek tartjuk általában az $S = 10$ szívásszámot ahhoz, hogy a gépet jó szívóképességűnek minősíthessük. Ezzel a (25) egyenletből $\lambda_1 = 0,085$ adódik.

Az előbbieken indokolt $k_0 = k_1 = 0,85$, valamint $\lambda_1 = 0,085$ és $\lambda_2 = 1,2$ állandókkal rajzoltuk meg már a 3. és 4. ábra görbéit is, és ezekkel ábrázoljuk most az 5. ábrán a legjobb hatásfokhoz, illetve legjobb szívóképességhez tartozó ε_η és ε_σ változását az n_q jellemző fordulatszám függvényében. Az így

nyert két egyenes egymás alatt helyezkedik el, és szemléltetővé teszi, hogy optimális hatásfok eléréséhez nagyobb beömlési sebesség szükséges, mint a legjobb szívóképesség megvalósításához.

Az 5. ábrába berajzoltuk a táblázatban szereplő szivattyúk beömlési tényezőinek megfelelő pontokat is. A pontok mellé írt számok a táblázat sor-számaira utalnak. Tanulságos megvizsgálni ezeknek a pontoknak az elhelyez-



5. ábra

kedését az ábrán. Feltűnő, hogy az összes pont az ε_η és ε_σ egyenesi közé esik. Mivel — mint már rámutattunk — a legjobb hatásfok, illetve legjobb szívóképesség feltétele más-más követelményt szab az ε értékére, a tervezők nyilván a kétféle érdek összehangolására törekedtek. Lássuk, hogyan sikerült ez.

Az 1 és 3 jelű pont van legközelebb az ε_η -hoz és legtávolabb az ε_σ -tól. A táblázatból kitűnik, hogy ezeknek valóban kiváló a hatásfokuk, szívás-számaik azonban a legszerényebbek: $S = 2,5$ és $2,56$. A 2-es szivattyúnál

— ε_η -től már távolabb — jó hatásfok mellett javul a szívóképesség. A sáv közepén elhelyezkedő 4 és 6 sorszámú gépek hatásfoka még mindig a legjobbak között van, és szívóképességük is kitűnő: $S = 11,4$ és $12,4$. Az 5-ös gép hatásfoka is kiváló, ha az ilyen szivattyúknál általában várható hatásfokhoz [8] viszonyítjuk. Szívásszáma nem áll rendelkezésünkre, de üzemével kapcsolatos tapasztalatokból tudjuk, hogy szívóképessége jó.

A kiviteli példákból arra következtethetünk, hogy az optimális η -nak, illetve σ -nak megfelelő vonalak által határolt terület rész közepe táján elhelyezkedő ε értékek használata esetén mind a hatásfok, mind a szívóképesség kedvező lesz. Ez a beömlési tényezőnek kb. 20%-os eltérését jelenti az egyik optimumtól lefelé, a másiktól felfelé.

A 3. és 4. ábra görbéin azt láthatjuk, hogy 20%-os ε (vagy ezzel arányos c_b) változás esetén a fajlagos veszteségnek, ill. a lapátdepresszióknak a változása még csak 1...2% a minimumhoz képest. Ezért kaphatunk kedvező értéket mindkét jellemzőre. Ha azonban 40...50%-kal növeljük az ε -t, viszonyítva az ε_σ -hoz — ahogy ez az 1 és 3 gépnél történt —, akkor a 4. ábra depressziógörbéinek már meredekebb szakaszára érkezünk, ahol a nyomásesés 10...15%-kal nagyobb az optimálisnál, és ez lerontja a szívóképességet.

Az elmondottak alapján indokoltnak látszik, hogy a beömlési tényezőt a legkisebb fajlagos veszteségnek és a legkisebb depresszióknak megfelelő értékei között, például azok középarányosaként válasszuk:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_\eta + \varepsilon_\sigma}{2} \quad (26)$$

Ennek felel meg az 5. ábrán eredményvonallal rajzolt egyenes, mely az

$$\varepsilon = 0,015 n_q^{2/3} \quad (27)$$

összefüggést ábrázolja. Tervezéskor célszerű ebből kiindulni, még a nagyobb agyviszonyú szárnylapátos szivattyúknál is. — A továbbiakban a kiválasztott ε beömlési tényezővel az (1) egyenletből meghatározzuk a c_b sebességet, azzal pedig a (4) alapján ki tudjuk fejezni a $D_0 = 2R$ beömlő átmérőt:

$$D_0 = 1,125 \left(\frac{Q}{k_0 c_b} \right)^{1/2} \quad (28)$$

A D_0 ismeretében mód nyílik a k_0 tényező pontosabb meghatározására. A pontosabb értékkel azután visszatérhetünk ε helyesbítésére a (17), (24) és (26) egyenletek alapján. A (28)-ból újra kiszámítva D_0 értékét, az eljárást tetszés szerinti számú lépésben megismételhetjük. Tapasztalat szerint azonban az első korrekciós lépésben kapott eredmény már nem szorul további igazításra.

IRODALOM

1. RÁKOSY B.: Fejezetek a szivattyúk egyes jellemzőiről. Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Budapest 1954, 17—27.
2. FÜZY O.: Vízgépek. Második kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest 1957, 223.
3. GRUBER: Szellőzők és gázsűrítők. (Kézirat.) Közoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Budapest 1952, 10.
4. PFLEIDERER, C.: Die Kavitationsgrenze bei Pumpen und Turbinen. *VDI-Z.* (1950), augusztus 11.
5. RÜTSCHI, K.: Die Pfeleiderer Saugzahl als Gütegrad der Saugfähigkeit von Kreiselpumpen. *SBZ* (1960), 199—203.
6. PFLEIDERER, C.: Strömungsmaschinen. Zweite Aufl. Springer, Berlin 1957, 71—77.
7. KRISAM, F.: Neue Erkenntnisse im Kreiselpumpenbau, *VDI-Z.* 15. April 1953.
8. FÁY Cs.—SZABÓ Á.: Egylépcsős, csigaházás centrifugálszivattyúkvárható hatásfoka. *Gép* (1959), 276—278.

NÉHÁNY SZÉNFLOTÁLÁSI KÍSÉRLET KINETIKAI VIZSGÁLATA

PETHŐ SZILVESZTER

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA
NEHÉZIPARI MŰSZAKI EGYETEM, MISKOLC

[Beérkezett 1963. március 14-én]

A flotálási folyamatok sebességére a binomiális eloszlásból lezármaztatható $(1 - P)^t$, illetve a radioaktív bomlásjelenségek pontos megoldásaként ismeretes e^{-Kt} Poisson-függvényt írják fel. A függvények logaritmizált alakjából következik, hogy a flotálási idő szerinti kihozatalok logaritmikus ordinátájú diagramon egyeneseket adnak. A flotálási eredmények azonban legtöbbször ezeket a függvényeket nem követik.

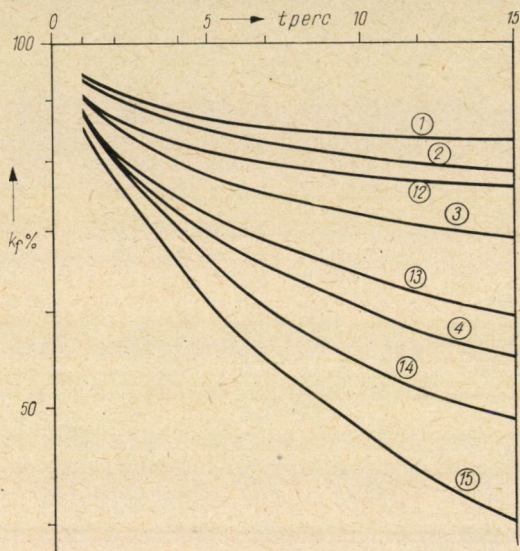
A szerző 15 laboratóriumi és 7 félüzemi cellában elvégzett szénflotálási kísérletek eredményeit vizsgálta meg. Mivel a kihozatalok logaritmusai egy esetben sem határoztak meg egyenest, de a kísérletek eredményei szabályosságot mutattak, ezért a jelenségek leírása más matematikai függvényekkel elvégezhető. Egyenlettel meghatározható kapcsolat volt található a gyorsulás és a flotálási sebesség, illetve a sebesség és a flotálási idő között. A laboratóriumi és félüzemi kísérletekre egyaránt fennáll, hogy a flotálási sebességek a normális eloszlás-függvényt követik, tehát a kihozatalok valószínűségi beosztású diagramon egyenest írnak le.

A flotálási folyamatok sebességére az ércek flotálásánál az elsőrendű kémiai reakciókra és a radioaktív bomlási folyamatokra érvényes $-dC/dt = KC$ összefüggést, más szerzők e differenciálegyenletet $W = W_0(1 - P)^t$ formában írják fel, ahol C és W a flotáló cellában maradt hasznos ásvány mennyiségét jelenti, W_0 a feladásban levő hasznos ásvány súlya, t a flotálási időt vagy a sorbakapcsolt flotáló cellák számát jelöli, K és P a flotálás idejétől, illetve a cellák számától független állandók. A differenciálegyenlet megoldásával, illetőleg a másik egyenlet átalakításával a meddőkihozatalt $k_f = e^{-Kt}$ és $k_f = (1 - P)^t$ függvényekkel jellemezhetjük. Az egyenletek logaritmizált alakjából következik, hogy t függvényében k_f logaritmusai egyenest határoznak meg.

A szerző néhány szénflotálási kísérlet súlykihozatalának alakulását vizsgálja meg a flotálási idő függvényében. 15 laboratóriumi, kétliteres flotáló cellában elvégzett kísérletnél a reagensfeladás a flotálás beindítása előtt történt, a másik 7 kísérletet félüzemű méretű, 80 literes cellával végeztük, s a reagensadagolás folyamatos volt. A flotálási idő és a kihozatalok logaritmusai egyik kísérletnél sem estek egyenesre. A kísérletek eredményei azonban szabályosságot mutatnak, s ezért a jelenségek leírása más matematikai függvényekkel elvégezhető. A laboratóriumi kísérleteknél egyenlettel meghatározott kapcsolat volt található a percenként kiflotált mennyiségek különbsége (tehát a gyorsulás) és a percenként kiflotált mennyiségek (tehát a sebesség, $a = a(v)$), s a flotálási sebesség és az idő között ($v = v_1(t)$); a 80

literes cellában elvégzett kísérleteknél pedig a flotálási sebesség és az idő között ($v = v_2(t)$).

A laboratóriumi flotálási kísérletek eredményeit az I. táblázat mutatja. A kísérletsorozathoz négy kísérletcsoport tartozik; az egyes kísérletcsoportoknál a habképző %-os mennyisége 5, 10, 15 és 20%; a kísérletek reagensfelhasználása a csoportokon belül 400, 600 1000 és 1400 g/t. (A 10% — 400 g/t reagensadagolású kísérlet a sorozatból hiányzik.) A kísérleteknél a zagyot a



I. ábra

teljes reagensmennyiséggel 3 percig agitáltuk, a 12 perces flotálási idő alatt 5 habterméket nyertünk az 1., 2., 4., 7. és a 12. perc végén. Az I. táblázatban megtaláljuk a súlykihozatalok (4), valamint az átlagos flotálási sebességek (6) és gyorsulások (8) értékeit. Az első és utolsó kísérletcsoport (1—4., 12—14. és 15. kísérletek) súlykihozatalait logaritmusos léptékben mutatja az idő függvényében az I. ábra.

1. $a = a(v)$ függvény szerinti vizsgálat. Ha az átlagos gyorsulásokat és sebességeket az idő függvényében ábrázoljuk (2. ábrán az 5., 6. és a 7. kísérlet eredményei szerepelnek), akkor azt találjuk, hogy a gyorsulás a sebességgel arányos és ellentétes. A vizsgálatokat a legkisebb négyzetek elve alapján az $a = -cv$ és $a = -c_1v^n$ összefüggésekre végeztük el. A számítások eredményeit a II. táblázatban tüntettük fel.

Az $a = -c_1v^n$ függvény szerinti vizsgálatokat az egyenlet logaritmizált alakjával pozitív előjellel végeztük el, és így logaritmusos koordinátarendszerben minden kísérletre a legjobban illeszkedő egyenes egyenletéhez jutot-

I. táblázat

Laboratóriumi flotálási kísérletek

A kísérlet sorszáma	Reagensfelhasználás	A habbeszedés időközei, perc	Súly, %	Kum. súly, %	v , %/P	Sebességkülönbség	u , %/P ²
1	2	3	4	5	6	7	8
1	400 g/t, 5% amid-alkohol + 95% lovászi nyersolaj	1	5,82	5,82	5,82	—	—
		1	3,19	9,01	3,19	2,63	2,630
		2	3,16	12,17	1,58	1,61	0,805
		3	2,88	15,05	0,96	0,62	0,207
		5	1,93	16,98	0,39	0,57	0,114
		—	16,98	—	—	—	—
2	600 g/t, 5% amid-alkohol + 95% lovászi nyersolaj	1	7,20	7,20	7,20	—	—
		1	3,43	10,63	3,43	3,77	3,770
		2	3,60	14,23	1,80	1,63	0,815
		3	2,96	17,19	0,99	0,81	0,270
		5	3,70	20,89	0,74	0,25	0,050
		—	20,89	—	—	—	—
3	1000 g/t, 5% amid-alkohol + 95% lovászi nyersolaj	1	10,35	10,35	10,35	—	—
		1	4,97	15,32	4,97	5,38	5,380
		2	5,35	20,67	2,68	2,29	1,145
		3	4,54	25,21	1,51	1,17	0,390
		5	4,49	29,70	0,90	0,61	0,122
		—	29,70	—	—	—	—
4	1400 g/t, 5% amid-alkohol + 95% lovászi nyersolaj	1	11,53	11,53	11,53	—	—
		1	7,43	18,96	7,43	4,10	4,100
		2	9,04	28,00	4,52	2,91	1,435
		3	6,64	34,64	2,21	2,31	0,770
		5	8,09	42,73	1,62	0,59	0,118
		—	42,73	—	—	—	—
5	600 g/t, 10% amid-alkohol + 90% lovászi nyersolaj	1	11,19	11,19	11,19	—	—
		1	5,72	16,91	5,72	5,47	5,470
		2	5,08	21,99	2,54	3,18	1,590
		3	3,15	25,14	1,05	1,49	0,497
		5	3,52	28,66	0,70	0,35	0,070
		—	28,66	—	—	—	—
6	1000 g/t, 10% amidalkohol + 90% lovászi nyersolaj	1	8,24	8,24	8,24	—	—
		1	5,76	14,00	5,76	2,48	2,480
		2	6,07	20,07	3,04	2,72	1,360
		3	5,60	25,67	1,87	1,17	0,390
		5	5,54	31,21	1,11	0,76	0,152
		—	31,21	—	—	—	—

I. táblázat folytatása

A kísérlet sorszáma	Reagensfelhasználás	A habbeszedés időközei, perc	Súly, %	Kum. súly, %	v, %/p	Sebeesség-különbség	a, %/p ²
1	2	3	4	5	6	7	8
7	1400 g/t, 10% amidalkohol + 90% lovászi nyersolaj	1	9,82	9,82	9,82	—	—
		1	7,17	16,99	7,17	2,65	2,650
		2	9,30	26,29	4,65	2,52	1,260
		3	6,09	32,38	2,03	2,62	0,873
		5	5,55	37,93	1,11	0,92	0,184
		—	37,93	—	—	—	—
8	400 g/t, 15% amidalkohol + 85% lovászi nyersolaj	1	8,94	8,94	8,94	—	—
		1	3,11	12,05	3,11	5,83	5,830
		2	3,76	15,81	1,88	1,23	0,615
		3	3,02	18,83	1,01	0,87	0,290
		5	3,29	22,12	0,66	0,35	0,070
		—	22,12	—	—	—	—
9	600 g/t, 15% amidalkohol + 85% lovászi nyersolaj	1	9,45	9,45	9,45	—	—
		1	5,12	14,57	5,12	4,33	4,330
		2	4,75	19,32	2,38	2,74	1,370
		3	3,73	23,05	1,27	1,11	0,370
		5	4,78	27,83	0,96	0,31	0,062
		—	27,83	—	—	—	—
10	1000 g/t, 15% amidalkohol + 85% lovászi nyersolaj	1	12,26	12,26	12,26	—	—
		1	6,88	19,14	6,88	5,38	5,380
		2	8,28	27,42	4,14	2,74	1,370
		3	7,71	35,13	2,57	1,57	0,523
		5	6,77	41,90	1,35	1,22	0,244
		—	41,90	—	—	—	—
11	1400 g/t, 15% amidalkohol + 85% lovászi nyersolaj	1	12,11	12,11	12,11	—	—
		1	9,05	21,16	9,05	3,06	3,060
		2	15,65	36,81	7,83	1,22	0,610
		3	12,25	49,06	4,08	3,75	1,250
		5	7,64	56,70	1,53	2,55	0,510
		—	56,70	—	—	—	—
12	400 g/t, 20% amidalkohol + 80% lovászi nyersolaj	1	10,17	10,17	10,17	—	—
		1	3,47	13,64	3,47	6,70	6,700
		2	3,72	17,36	1,86	1,61	0,805
		3	3,52	20,88	1,17	0,69	0,230
		5	2,93	23,81	0,59	0,58	0,116
		—	23,81	—	—	—	—

I. táblázat folytatása

A kísérlet sorszáma	Reagensfelhasználás	A hableszedés időközzei, perc	Súly, %	Kum. súly, %	v , %/p	Sebességkülönbség	a , %/p ²
1	2	3	4	5	6	7	8
13	600 g/t, 20% amilalkohol + 80% lovászi nyersolaj	1	13,19	13,19	13,19	—	—
		1	6,24	19,43	6,24	6,95	6,950
		2	6,33	25,76	3,17	3,07	1,535
		3	6,02	31,78	2,01	1,16	0,387
		5	6,54	38,32	1,31	0,70	0,140
		—	38,32	—	—	—	
14	1000 g/t, 20% amilalkohol + 80% lovászi nyersolaj	1	12,00	12,00	12,00	—	—
		1	8,10	20,10	8,10	3,90	3,900
		2	9,96	30,06	4,98	3,12	1,560
		3	11,99	42,05	4,00	0,98	0,327
		5	5,26	47,31	1,05	2,95	0,590
		—	47,31	—	—	—	
15	1400 g/t, 20% amilalkohol + 80% lovászi nyersolaj	1	15,49	15,49	15,49	—	—
		1	7,07	22,56	7,07	8,42	8,420
		2	12,72	35,28	6,36	0,71	0,355
		3	10,86	46,14	3,62	2,74	0,913
		5	10,27	56,41	2,05	1,57	0,314
		—	56,41	—	—	—	

II. táblázat

Állandók és eltérések $a = cv$ és $a = c_1v^n$ összefüggésekre

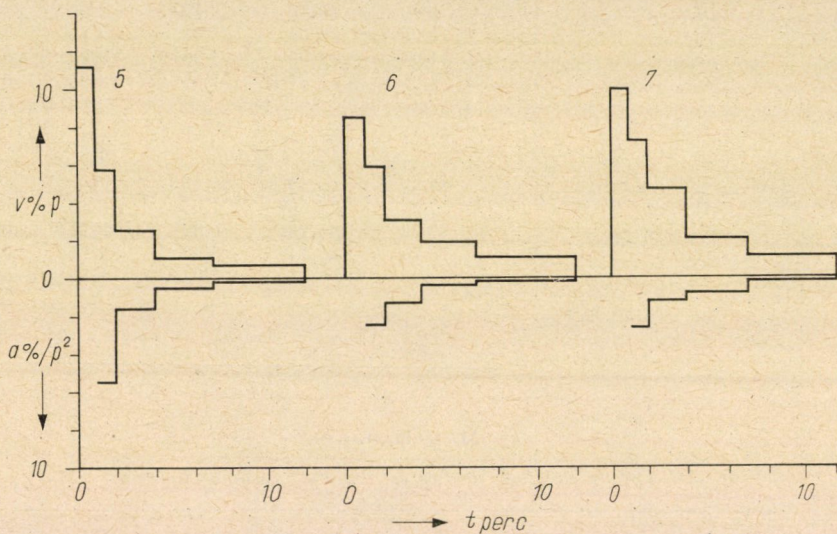
A kísérlet sorszáma	cv			c_1v^n			
	c	$\Sigma(\alpha - a')^2$	μ	c_1	n	$\Sigma(\alpha - a')^2$	μ
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,721	0,47	0,39	0,370	1,540	0,20	0,26
2	0,891	1,86	0,79	0,163	2,702	0,59	0,44
3	0,872	3,63	1,10	0,151	2,184	0,18	0,24
4	0,468	1,43	0,69	0,076	2,029	0,28	0,31
5	0,882	1,09	0,60	0,241	1,902	1,46	0,70
6	0,410	0,26	0,29	0,138	1,755	1,43	0,69
7	0,343	0,21	0,26	0,215	1,279	0,19	0,25
8	1,335	8,15	1,64	0,337	2,663	2,67	0,94
9	0,753	1,19	0,63	0,125	2,346	2,22	0,86
10	0,611	4,18	1,18	0,113	1,888	1,37	0,67
11	0,236	2,48	0,91	0,410	0,614	2,96	0,99
12	1,455	9,02	1,73	0,261	2,298	4,75	1,25
13	0,898	6,59	1,48	0,071	2,537	0,30	0,31
14	0,383	2,22	0,86	0,384	0,776	4,49	1,22
15	0,611	31,72	3,24	0,100	1,561	42,10	3,74

tunk. Az 1-es számú kísérletre vonatkozó számításainkat a III. táblázatban foglaltuk össze.

III. táblázat

Az 1. kísérletre vonatkozó számítások összefoglalása
 $a = cv$ és $a = c_1 v^n$ függvények szerint

a	v	v^2	av	$\log a$	$\log v$	$(\log v)^2$	$\log a \cdot \log v$
1	2	3	4	5	6	7	8
2,630	3,19	10,176	8,390	0,4200	0,5038	0,2538	0,2116
0,805	1,58	2,496	1,272	0,0942	0,1987	0,0395	-0,0187
0,207	0,96	0,922	0,199	-0,6840	-0,0177	0,0003	0,0121
0,114	0,39	0,152	0,044	-0,9431	-0,4089	0,1672	0,3856
—	—	13,746	9,905	-1,3013	0,2759	0,4608	0,5906



2. ábra

$a = cv$ függvényben:

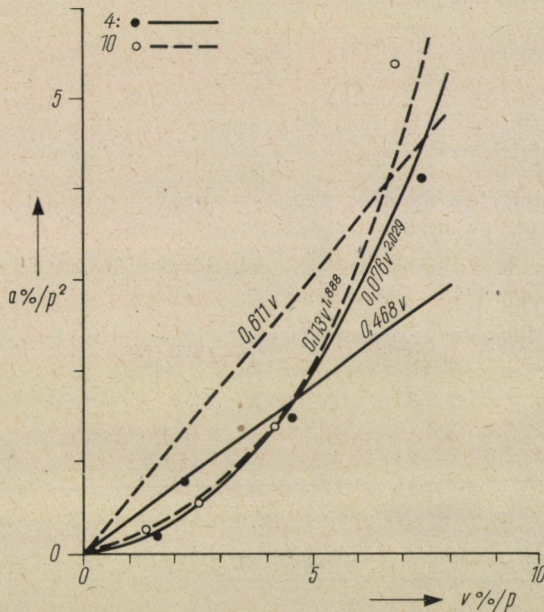
$$c = \frac{\sum av}{\sum v^2} = \frac{9,905}{13,746} = 0,721.$$

$a = c_1 v^n$ függvényben:

$$\begin{aligned} c_1 &= \text{num log} \frac{\sum \log a \sum (\log v)^2 - \sum \log v \sum \log a \cdot \log v}{m \sum (\log v)^2 - (\sum \log v)^2} = \\ &= \text{num log} \frac{-1,3013 \cdot 0,4608 - 0,2759 \cdot 0,5906}{4 \cdot 0,4608 - 0,2759^2} = 0,370; \\ n &= \frac{m \sum \log a \log v - \sum \log a \sum \log v}{m \sum (\log v)^2 - (\sum \log v)^2} = \\ &= \frac{4 \cdot 0,5906 - (-1,3013) \cdot 0,2759}{4 \cdot 0,4608 - 0,2759^2} = 1,540; \end{aligned}$$

m az összetartozó értékpárok száma.

Visszatérve a II. táblázathoz azt találjuk, hogy kísérleti és a számítással meghatározott gyorsulások értékei közötti eltérések négyzetének összege a $-c_1 v^n$ egyenletre általában kisebbek, kivéve a 6., 9., 11., 14. és 15. kísérleteket; a 7. kísérletnél mindkét függvénynél az eltérések azonosak. Kiugróan nagy az eltérés mindkét esetre az utolsó kísérletnél. Magyarázata az I. táblázat adatai segítségével egyszerű: ennél a kísérletnél olyan nagy mennyiségű gyűjtőt és habképzőt adagoltunk, hogy a flotálás 2. és 4. perce között közel azonos volt a flotálási sebesség, így ezen időközben nagyobb sebességhez kisebb gyorsulás



3. ábra

tartozik, a további szakaszban pedig a gyorsulás nagyobb lett. A táblázat adatai alapján stochasztikus kapcsolat van az egyes kísérletsorozatokon belül a reagens mennyisége és c érték között: nagyobb reagensmennyiségnél c kisebb.

A 4. és 10. kísérletre vonatkozóan a 3. ábrán megjelöltük a kísérleti eredmények értékeit, s megrajzoltuk az ezekhez legjobban simuló egyeneseket, illetve görbéket. A jelölések az ábrán megtalálhatók.

Az $a = -cv$ összefüggés alapján a flotálási sebességek a következők:

$$a = dv/dt = -cv \quad \text{és} \quad dv/v = -c dt;$$

$$\int_{v_0}^v dv/v = -c \int_0^t dt, \quad \ln v - \ln v_0 = -ct; \quad (1)$$

$$v = v_0 e^{-ct};$$

$$v = dk/dt, \quad dk = v_0 e^{-ct} dt;$$

$$k = v_0 \int_0^t e^{-c'} dt = v_0/c (1 - e^{-ct}) \quad (3)$$

Az $a = -c_1 v^n$ egyenlettel:

$$a = dv/dt = -c_1 v^n \quad \text{és} \quad \int_{v_0}^v v^{-n} dv = -c_1 \int_0^t dt;$$

$$v = [v_0^{1-n} - c_1(1-n)t]^{1/(1-n)}; \quad (3)$$

$$k = \int_{v_0}^v [v_0^{1-n} - c_1(1-n)t]^{1/(1-n)} dt = \\ = \frac{1}{c_1(n-2)} [v_0^{1-n} - c_1(1-n)t]^{2-n}$$

A képletekkel v és k értékét határozhatjuk meg a gyorsulás ismerete nélkül; v_0 a flotálás kezdősebességét jelenti, értéke leolvasható az idő függvényében megrajzolt kihazatali görbe kezdőpontjához húzott érintő hajlásszögének tangenseként.

2. $v = v_1(t)$ függvény szerinti vizsgálat. A flotálási sebességeknek az idő függvényében megrajzolt histogramjaiból (2. ábra) arra következtethetünk, hogy a sebességek a Gauss-féle eloszlásfüggvényt követik. Első megközelítésként az ordinátát a $t = 0$ időpontban vettük fel, s a számítást az 5. kísérletre

IV. táblázat

Az 5. kísérletre vonatkozó számítások összefoglalása $v = v_1(t)$ függvény szerinti

t_k	t_k^2	v	vt_k^2	v'	$v - v'$	$(v - v')^2$
1	2	3	4	5	7	8
0,5	0,25	11,90	2,798	5,57	+6,33	40,07
1,5	2,25	5,72	12,870	5,21	+0,51	0,26
2,5	6,25	2,54	15,875	4,27	-1,73	2,99
3,5	12,25	2,54	31,115			
4,5	20,25	1,05	21,262			
5,5	30,25	1,05	31,763	2,27	-1,22	1,49
6,5	42,25	1,05	44,362			
7,5	56,25	0,70	39,375			
8,5	72,25	0,70	50,575			
9,5	90,25	0,70	63,175	0,38	+0,32	0,10
10,5	110,25	0,70	77,175			
11,5	132,25	0,70	92,575			
-	-	+28,66	+482,920	-	-	+44,91

$$v = \frac{V}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} = y_0 e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} \text{ függvényben:}$$

$$V = 2 \Sigma v = 2k = 2 \cdot 28,66 = 57,32;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{2 \sum vt_i^2}{V}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 482,92}{57,32}} = 4,105 ;$$

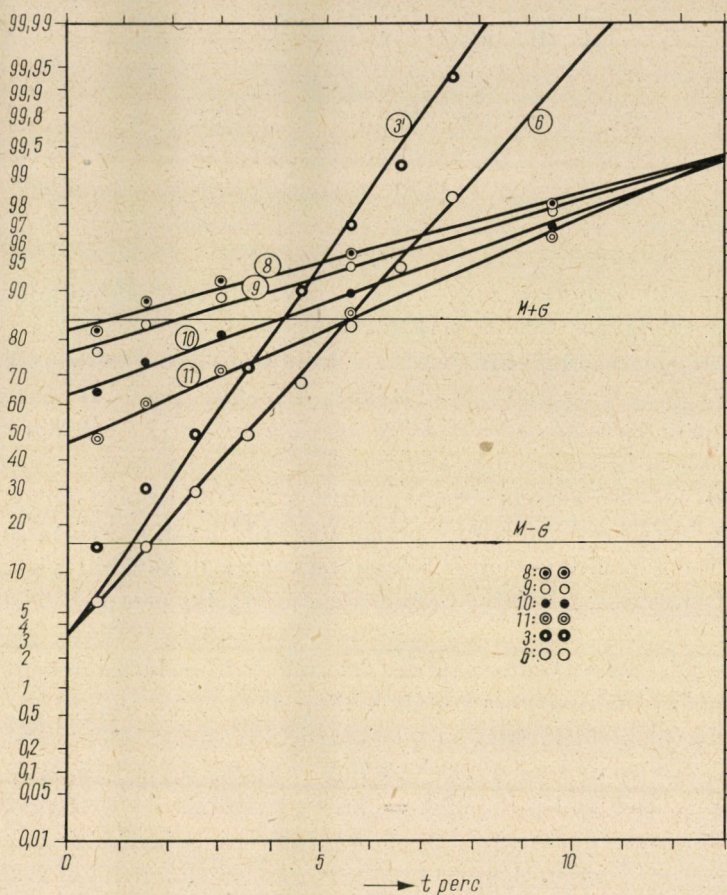
$$y = 5,572 e^{-\frac{t^2}{33,70}} ;$$

$$\mu = \text{közéhiba} = \sqrt{\frac{(v - v')^2}{m - 1}} = \sqrt{\frac{44,91}{5 - 1}} = 3,35.$$

vonatkozóan a IV. táblázatban találjuk meg. A táblázat jobboldalán a Gauss-függvény, s a függvény állandóinak számítása szerepel, továbbá az empirikus eloszlás és az eloszlásfüggvény értékeinek különbségéből képzett középhiba. A levezetett függvény csak kismértékben közelíti meg a tapasztalati eloszlást, különösen nagy eltérések mutatkoznak az első percben kiflotált mennyiségekben. Mivel a többi kísérletnél is hasonlóan nagy és szabályszerű — a flotálási idő első percében nagy pozitív, a 2. percben kis pozitív, a 2. és 4. perc között és a következő három percben kisebb negatív, a flotálás utolsó öt percében kisebb pozitív — eltérések mutatkoztak, a további vizsgálatoknál a tapasztalati sebességeloszláshoz az ordinátatengelyt nem $t = 0$ időpontban vettük fel.

A vizsgálatokhoz Gauss-papirozt használtunk, melyen bármely normális eloszlásfüggvény képe egyenes vonal. A kiflotált szén ún. csoportközéértékeinek pontjait (pl. a 8. kísérlet csoportközépei: 0,5-nél $8,94/2 = 4,47$; 1,5-nél $8,94 + 3,11/2 = 10,5$; 3-nál $12,05 + 3,76/2 = 13,93$; 5,5-nél $15,81 + 3,02/2 = 17,32$ és 9,5-nél $18,83 + 3,29/2 = 20,48$) a flotálási idő függvényében a Gauss-papíron úgy igyekeztünk elhelyezni, hogy a pontokat összekötő vonal lehetőleg egyenes legyen. A következő szerkesztési eljárás bizonyult hasznosnak: a valószínűségi skála legnagyobb értékéből, 99,99%-ból kivonjuk a kihozatal értékét (pl. a 8. kísérletnél: $99,99 - 22,12 = 77,87\%$), és az így kapott értékhez egymás után hozzáadjuk a csoport közéértékeket ($77,87 + 4,47 = 82,34$ stb.) és ezeket az anamorfogramra felrakjuk. A pontokhoz megrajzolt egyenes a flotálási idő 12. percében 99,99%-nál kisebb értéket ad, ezért ebből az új értékéből ismét levonjuk a kihozatal értékét, melyhez sorban ismét hozzáadjuk a csoportközépeket. Az eljárás másodszori megismétlésével rendszerint jól simuló egyeneshez jutunk.

A 8, 9, 10. és 11. kísérleteknek megfelelő egyeneseket a 4. ábrán találjuk meg. A Gauss-féle függvényben szereplő σ -t a valószínűségi skála 84,13%-os értékénél lehet leolvasni. A skála 50%-os értékéhez húzott vízszintesnek a megszerkesztett egyenessel való metszéspontjának távolsága az első csoportközéptől adja az eltolás mértékét a flotálási idő mértékegységében kifejezve (Δt). A tapasztalati eredmények és a simuló egyenes megfelelő értékei közötti különbségek ($f - f'$) az ábrából közvetlenül leolvashatók. A felsorolt értékeket és a μ középhibát találjuk meg minden kísérletünkre az V. táblázatban.



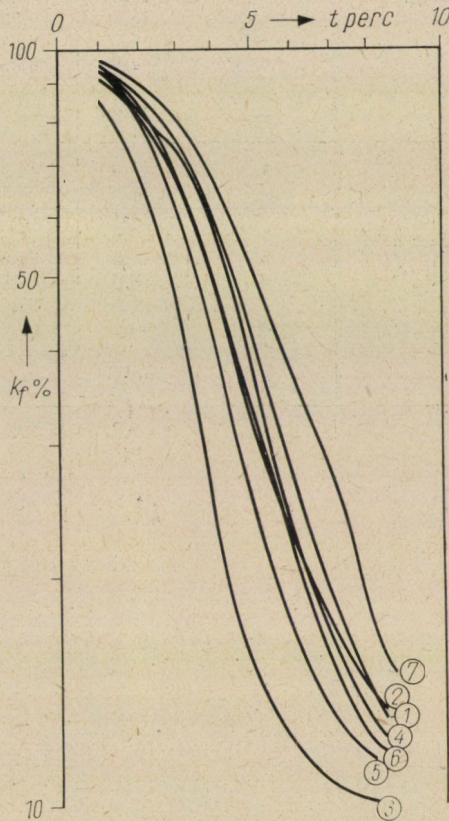
4. ábra

(Sztocasztikus kapcsolat van az egyes kísérletcsoportokon belül a reagens mennyisége, valamint σ és Δt között; ezen értékek nagyobb reagensmennyiség-nél kisebbek.)

A kísérleti eredményeknek Gauss-függvénnyel való közelítésen a 15. kísérlet kivételével valamivel nagyobb középhibát eredményez, mint az $\alpha = -cv$ -vel való közelítés. Ha azonban a 4. ábrát megvizsgáljuk, akkor azt tapasztaljuk, hogy csak az 1,5, 3, 5,5 és 9,5 flotálási időkhöz tartozó pontokhoz húzhatók; sokkal jobban illeszkedő egyenesek ezen pontok által meghatározott egyenes alatt marad a 0,5-ös flotálási idő kihozatala. A 3 perces agitálási idő alatt a felszínen keresztül a zagyba bejutott légbuborékokhoz szénszemek tapadtak, és mikor a flotálást a levegőbevezető nyílás szabaddátételével megkezdtük, nagyobb mennyiségű ásványos habot tudtunk leszedni, s az így leszedett hab az első edénybe került; ezért ad a Gauss-függvénnyel

V. táblázat
Állandók és eltérések a Gauss-integrálgörbére

A kísérlet sorszáma	σ	Δt	$\Sigma(f-f)^2$	μ
1	2	3	4	5
1	7,01	5,89	1,52	0,62
2	6,31	5,04	8,93	1,49
3	5,89	2,93	12,09	1,73
4	4,84	0,37	14,46	1,93
5	5,21	2,97	9,08	1,51
6	5,70	2,55	9,02	1,50
7	4,99	1,24	8,86	1,48
8	7,66	7,66	6,25	1,25
9	7,03	5,56	7,69	1,38
10	5,97	2,44	8,77	1,48
11	4,93	0,08	9,44	1,65
12	7,43	7,43	9,34	1,63
13	6,68	3,65	11,24	1,67
14	5,30	1,39	5,67	1,19
15	5,33	0,36	10,15	1,59



5. ábra

VI. táblázat

Félüzemű flotálási kísérletek eredményei

A kísérlet sorszáma	Reagensfelhasználás	A hableszedés időpontjai, perc	Súly, %	Kum. súly, %	v, %/P	a, %/P ²
1	2	3	4	5	6	7
1	1300 g/t, 10% amid-alkohol + 70% lovászi nyersolaj + 20% petróleum	1	5,2	5,2	5,2	—
		2	9,6	14,8	9,6	+ 4,4
		3	11,3	26,1	11,3	+ 1,7
		4	14,6	40,7	14,6	+ 3,3
		5	16,6	57,3	16,6	+ 2,0
		6	15,5	72,8	15,5	— 1,1
		7	7,5	80,3	7,5	— 8,0
		8	5,3	85,6	5,3	— 2,2
		—	85,6	—	10,70	—
2	1300 g/t, 10% oktil-alkohol + 70% lovászi nyersolaj + 20% petróleum	1	4,6	4,6	4,6	—
		2	8,4	13,0	8,4	+ 3,8
		3	10,8	23,8	10,8	+ 2,4
		4	16,6	40,4	16,6	+ 5,8
		5	20,4	60,8	20,4	+ 3,8
		6	16,4	77,2	16,4	— 4,0
		7	5,7	82,9	5,7	— 10,7
		8	2,9	85,8	2,9	— 2,8
		—	85,8	—	10,73	—
3	1400 g/t, 10% Frother 63 + 70% gázolaj + 20% petróleum	1	14,6	14,6	14,6	—
		2	17,8	32,4	17,8	+ 3,2
		3	19,1	51,5	19,1	+ 1,3
		4	22,8	74,3	22,8	+ 3,7
		5	10,5	84,8	10,5	— 12,3
		6	3,0	87,8	3,0	— 7,5
		7	1,6	89,4	1,6	— 1,4
		8	0,4	89,8	0,4	— 1,2
		—	89,8	—	11,23	—
4	800 g/t, 10% Frother 63 + 70% gázolaj + 20% petróleum	1	9,3	9,3	9,3	—
		2	9,8	19,1	9,8	+ 0,5
		3	12,1	31,2	12,1	+ 2,3
		4	18,5	49,7	18,5	+ 6,4
		5	14,9	64,6	14,9	— 3,6
		6	12,5	77,1	12,5	— 2,4
		7	5,8	82,9	5,8	— 6,7
		8	4,3	87,2	4,3	— 1,5
		—	87,2	—	10,90	—

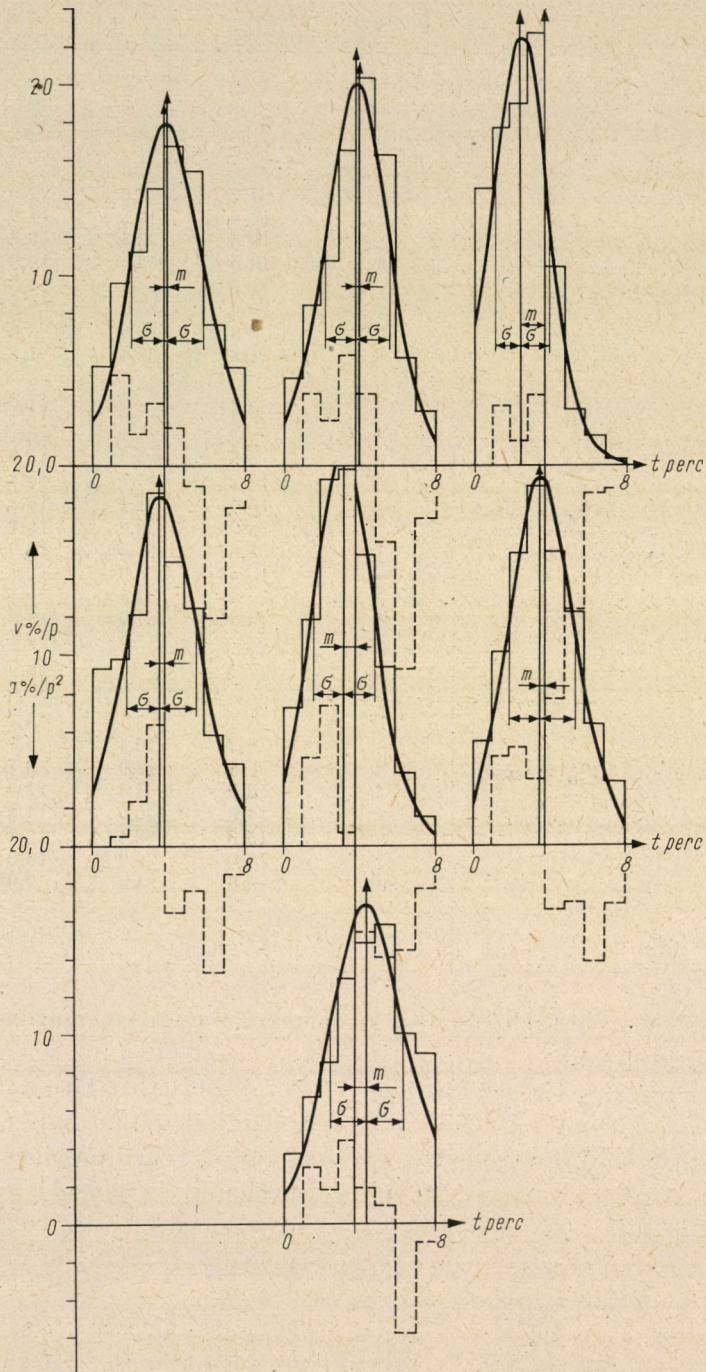
VI. táblázat folytatása

A kísérlet sorszáma	Reagensfelhasználás	A hableszedés időpontjai, perc	Súly, %	Kum. súly, %	v , %/p	a , %/p ²
1	2	3	4	5	6	7
5	1400 g/t, 10% krezilsav + 70% gázolaj + 20% petróleum	1	7,3	7,3	7,3	—
		2	11,9	19,2	11,9	+ 4,6
		3	19,3	38,5	19,3	+ 7,4
		4	19,9	58,4	19,9	+ 0,6
		5	15,3	73,7	15,3	— 4,6
		6	9,4	83,1	9,4	— 5,9
		7	3,8	86,9	3,8	— 5,6
		8	1,5	88,4	1,5	— 2,3
		—	88,4	—	11,05	—
6	1300 g/t, 10% krezilsav + 70% gázolaj + 20% petróleum	1	5,5	5,5	5,5	—
		2	10,2	15,7	10,2	+ 4,7
		3	15,4	31,1	15,4	+ 5,2
		4	18,9	50,0	18,9	+ 3,5
		5	15,5	65,5	15,5	— 3,4
		6	12,5	78,0	12,5	— 3,0
		7	6,4	84,4	6,4	— 6,1
		8	3,3	87,7	3,3	— 3,1
		—	87,7	—	10,96	—
7	1000 g/t, 10% krezilsav + 70% gázolaj + 20% petróleum	1	3,7	3,7	3,7	—
		2	6,7	10,4	6,7	+ 3,0
		3	8,5	18,9	8,5	+ 1,8
		4	12,9	31,8	12,9	+ 4,4
		5	14,8	46,6	14,8	+ 1,9
		6	15,8	62,4	15,8	+ 1,0
		7	10,0	72,4	10,0	— 5,8
		8	9,0	81,4	9,0	— 1,0
		—	81,4	—	10,18	—

való közelítés nagyobb eltérést. (A kísérleteket nem a kinematikai vizsgálat céljából végeztük el.)

3. A félüzemi kísérletek eredményei a VI. táblázatban láthatók (5. ábra). A táblázatban 7 flotálási kísérlet eredményei találhatók: a habképzők amilalkohol, oktilalkohol, Frother 63 és krezilsav voltak, a gyűjtőreagensok lovászi nyersolaj és petróleum, illetve gázolaj és petróleum. Az adagolás szakaszosan történt: az agitálás előtt feladtuk a teljes reagensmennyiség 16%-át, a két perces agitálási idő elteltével percenként adagoltunk 12—12%-ot, tehát a flotálási idő utolsó két percében reagenshozzáadás nem volt.

A kísérletek eredményei — a percenként kiflotált mennyiségek (v) és az ezek közötti különbségek (a) — megtalálhatók a 6. ábrán is. Az ábráról azonnal nyilvánvaló, hogy a v értékek jól megközelítik a Gauss-féle szabályos eloszlás képét. Minden egyes kísérletre kiszámítottuk a haranggörbe állandóit (k , σ



6. ábra

és y_0) — az alkalmazott vizsgálati módszert a VII. táblázat tartalmazza az 1. kísérletre —, valamint a kísérleti és az egyenlettel számítható értékek közötti különbségeket ($v - v'$) és a középhibákat (μ); ez utóbbi értékek a VIII. táblázatban szerepelnek.

VII. táblázat

A II. kísérletsorozat 1. kísérletére vonatkozó számítások összefoglalása a $v = v_2(t)$ függvény szerint

t_k	v	vt_k	ξ	$v \xi^2$	v'	$v - v'$	$(v - v')^2$
1	2	3	4	5	6	7	8
0,5	5,2	2,60	+3,528	64,7234	3,14	+2,06	4,2436
1,5	9,6	14,40	+2,528	61,3517	7,36	+2,24	5,0176
2,5	11,3	28,25	+1,528	26,3832	13,03	-1,73	2,9929
3,5	14,6	51,10	+0,528	4,0705	17,42	-2,82	7,9524
4,5	16,6	74,70	-0,472	3,6985	17,53	-0,93	0,8649
5,5	15,5	85,25	-1,472	33,5854	13,34	+2,16	4,6656
6,5	7,5	48,75	-2,472	45,8310	7,65	-0,15	0,0225
7,5	5,3	39,75	-3,472	63,8899	3,31	+1,99	3,9601
—	85,6	344,80	—	303,5336	—	—	29,7196

$$v = \frac{k}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} = y_0 e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \text{ függvényben:}$$

$$k = \Sigma v = 85,6;$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma v \xi^2}{k}} = \sqrt{\frac{303,5336}{85,6}} = 1,883;$$

$$\xi = M - t_k, M = \frac{\Sigma vt_k}{k} = \frac{344,80}{85,6} = 4,028;$$

$$\xi_1 = M - t_{k_1} = 4,028 - 0,5 = 3,528;$$

$$v = 18,14 e^{-\frac{t^2}{7,091}}.$$

A 6. ábrán az egyes sebességdiagramokban a medián és a számtani átlag értékekhez húztunk függőlegeseket. Ugyanezen az ábrán az egyes kísérletek szabályos eloszlásának képét is megtaláljuk. A VII. és a VIII. táblázatban a számtani átlagot M -mel jelöltük, a számtani átlag és az egyes t_k idők közötti különbségek a ξ eltéréseket adják.

A kis eltérést adó 6'-os és a legnagyobb középhibájú 3'-as kísérlet eredményeit a Gauss-féle valószínűségi skálán is ábráztuk a 4. ábrán. A helyettesítő egyeneseket egyszerűen úgy rajzoltuk meg, hogy a számtani átlag és a valószínűségi skála 50%-os értéke által meghatározott pontokat összekötöttük a $\pm \sigma$ -hoz tartozó $50 \pm 34,13$ valószínűségi értékekkel. Az ábráról is látható, hogy a legnagyobb eltérések itt is a 0,5 perces flotálási időknél vannak.

A szabályos gyakorisági görbe egyenlete MacLaurin szerint sorbafejtett alakjának integrálásával a kihozatalt számíthatjuk:

VIII. táblázat

Állandók és eltérések a szabályos eloszlási függvényre
(II. kísérletsorozat)

A kísérlet sorszáma	k	M	σ	y_0	$(v - v')^2$	μ
1	2	3	4	5	6	3
1	85,6	4,028	1,883	18,14	29,72	2,06
2	85,8	3,949	1,708	20,04	36,01	2,27
3	89,8	2,658	1,513	23,68	56,16	2,83
4	87,2	3,705	1,911	18,21	39,05	2,36
5	88,4	3,347	1,653	21,34	11,02	1,28
6	87,7	3,735	1,776	19,70	13,24	1,37
7	81,4	4,475	1,930	16,83	14,29	1,43

$$k = \int_{t_1}^{t_2} v dt = y_0 \int_{t_1}^{t_2} \left[1 - \left(\frac{t}{\sigma \sqrt{2}} \right)^2 + \frac{1}{2!} \left(\frac{t}{\sigma \sqrt{2}} \right)^4 - \frac{1}{3!} \left(\frac{t}{\sigma \sqrt{2}} \right)^6 + \dots \right] dt, \quad (5)$$

ahol t_1 és t_2 integrálási határok között eltelt idő a flotálás időtartamát jelenti. Az időegységben kiflotált mennyiségek közötti különbség:

$$a = \frac{dv}{dt} = - \frac{t}{\sigma^2} y_0 e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} = - \frac{t}{\sigma^2} v. \quad (6)$$

Összefoglalólag megállapíthatjuk, hogy Gauss-papíron a flotálási eredmények sokkal inkább adnak egyeneseket, mint logaritmusos ordinátájú diagramon. A $k_f = (1 - P)^t$ függvény leszarmaztatható a $W_k = \binom{n}{k} P^k \cdot (1 - P)^{n-k}$ binominális eloszlásból $k = 0$, $n = t$ behelyettesítésével; az egyenlet feltételezi, hogy az összes kiflotálandó szemek a légbuborékhoz P -vel arányos, azonos tapadóképességgel bírnak, tehát az időegységnyi flotátumok aránya a cellában maradt kiflotálható ásványmennyiséghez a flotálás tartama alatt azonos marad. A radioaktív bomlásjelenségek pontos megoldásaként ismeretes e^{-Kt} Poisson-eloszlást azon tapasztalat alapján vezették le, hogy egy radioaktív elem atomja elbomlásának valószínűsége kizárólag az időtartamtól függ. E feltevések flotáláskor akkor teljesülnek, ha közel azonos szemnagyságú és határszögű ásványokat flotálunk úgy, hogy a flotálás tartama alatt időegységenként azonos mennyiségű és eloszlású légbuborékokat vezetünk a zagyhoz, és a zagy felületi feszültsége, tehát a képződött hab tartóssága is azonos marad.

IRODALOM

1. KELSALL, D. F.: Application of probability in the assesment of flotation systems. *Bull. Inst. Min. Metall.*, London (1961), No. 650.
2. CSIN JUNG-SZIEN: A gyöngyösoroszi galenit flotálási sebességének vizsgálata. *Bányászati Lapok*.

A KIÖRLÉSI FINOMSÁG HATÁSA SZÉNPORTÜZELÉSŰ KAZÁNOK TŰZTERÉNEK SALAKOSODÁSÁRA

BASSA GÁBOR

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA
HŐTECHNIKAI KUTATÓ INTÉZET, BUDAPEST

[Beérkezett 1963. március 19-én]

Kísérleti tapasztalatok alapján megállapítható volt, hogy szénportüzelésű kazánoknál a salakosodás szempontjából a legfinomabb frakciók a legveszélyesebbek, mert itt koncentrálnak az alacsony ragadóssági pontú, legnagyobb fajsúlyú ásványi anyag komponensek. Ez a tényező döntő módon elősegíti a lerakódások képződését. A hőfejlődés szempontjából figyelembe kell vennünk, hogy egyes nagy ásványi anyag tartalmú szeneinknél a tüzelés-technikai szempontból legértékesebbnek tartott legfinomabb frakciók fűtőértéke kisebb lehet a kiindulási szén fűtőértékénél. Megítélésünk szerint a tüzelőberendezés kialakítása (égők elosztása a tüztérben, levegővel való keveredés biztosítása), továbbá az őrlési rendszer beállítása (ventilláció, kiörlési finomság) döntő szerepet játszanak olyan vegyi reakciók képződési feltételeinek megteremtésében, amelyek már a szénhamu lágyláspontjánál alacsonyabb hőmérsékleten is megindíthatják a salakosodási folyamatot.

Korábbi vizsgálatainkban [1, 2] a szénportüzelésű kazánokban eltüzelésre kerülő őrlemények égési folyamatát befolyásoló tényezőket mérlegeltük. A tüzelőanyagból az idő függvényében elméletileg felszabadítható hőmennyiség számításánál az égést felületi reakciónak tekintettük, amely a tüzelőanyag felületén meghatározott sebességgel megy végbe. Meghatároztuk azokat az őrleményjellemzőket, amelyek az egyes szemcsék éghető anyag tulajdonságainak figyelembevételével lehetővé teszik az őrlemény égés okozta relatív súlycsökkenésének ábrázolását az idő függvényében.

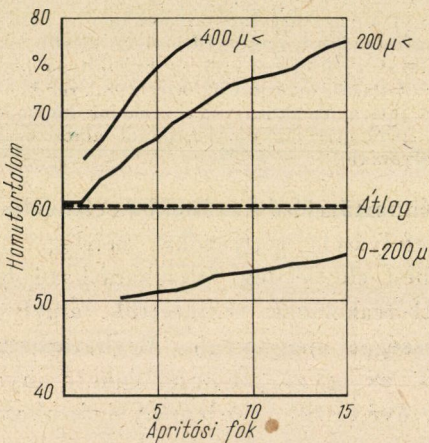
Megállapítottuk, hogy az őrlemény fajlagos felülete — amely nagymértékben függ a legfinomabb frakciók arányától — döntő módon irányítja a kezdeti hőfejlődés menetét, míg az őrlemény finomságától és homogenitásától függően alakul a kiégés az idő függvényében. A kiörlési finomság fontosságát mutatja, hogy az őrlemény anyagjellemzőinek hatása az őrlési és szérelési folyamattal széles határok között kompenzálható. Az ideális levegőhozzávetetés módja és mértéke is az őrlemény szemcseeloszlásától függ. Az említett összefüggésekre számszerű adatokat dolgoztunk ki. Az átlagos égési sebesség fogalmának bevezetésével összefüggésbe hoztuk az őrlemény fajlagos felületét, szemcseeloszlását és a tüzelési veszteséget. Ez az összefüggés lehetővé tette szénőrlemények tüzelés-technikai értékelését.

Ezeknél a korábbi vizsgálatoknál *homogén anyageloszlást* tételeztünk fel az őrleményben. Szénportüzelésről lévén szó, messzemenően figyelembe kell azonban vennünk, hogy az égésfolyamat lebegő állapotban megy végbe, és az egyes alkotók — köztük az ásványi anyagok — örölhetősége, lebegtetési

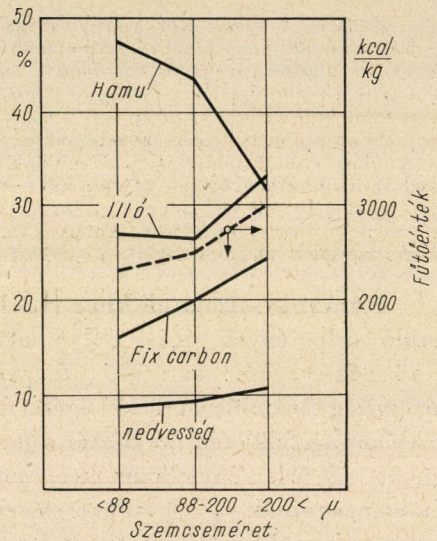
sebessége és fajsúlya nagymértékben befolyásolja az ásványi anyag eloszlását az őrlemény szemcse nagyság frakcióiban.

Őrlési folyamatoknál, ha azok nincsenek széreléssel egybekötve, azt tapasztaltuk, hogy *minél nehezebben őrlhető egy komponens és minél nagyobb a fajsúlya, annál nagyobb a valószínűsége, hogy a durvább frakciókban fog megjelenni.*

Ehhez a vizsgálathoz egy laboratóriumi méretű pneumatikus malmot használtunk, amelyen ismételten átengedve az őrleményt, a szemcse- és hamu eloszlás változását vizsgáltuk az ütések száma, tehát a recirkuláció függvényében [3, 4]. Az 1. ábrából látható, hogy az ütésszám függvényében a 200



1. ábra. Hamutartalom változása az őrleményben az aprítási foktól függően



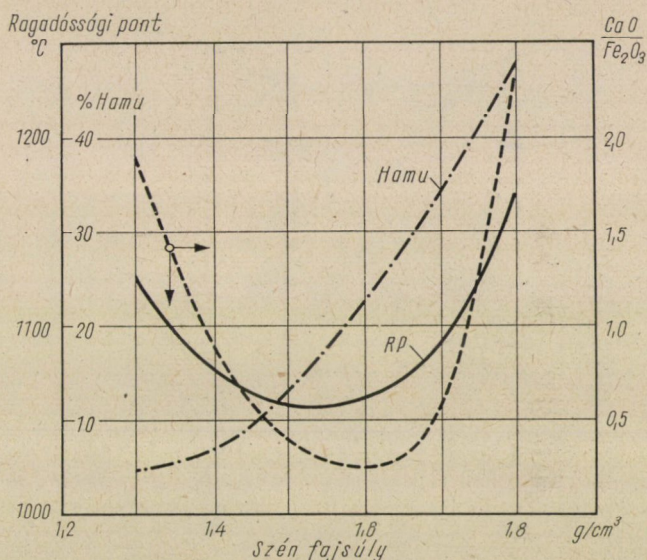
2. ábra. Hamutartalom változása egy lignitőrleményben

mikronnál nagyobb szemcsék hamutartalma erősen növekszik, a 200 mikronnál kisebb frakcióké csak kismértékben, ami arra mutat, hogy légszér nélküli őrlés esetében a hamutartalom a nehezebb őrlhetőség miatt a nagyobb szemnagyságú frakciók felé tolódik el.

A szokásos kivétel, légszérrel ellátott szénőrlőmalmok őrleményeiben ezzel szemben *a finomabb frakciókban figyeltük meg a hamu bedúsulását* (2. ábra). Ennek az a magyarázata, hogy az irányeltereléses légszérrel működő malmoknál a légszérből kilépő füstgáz sebességével azonos vagy kisebb lebegtetési sebességű szemcsék hagyhatják csak el a légszért. A nehezebb fajsúlyú szemcsék csak kisebb méretnél érik el ezt a lebegtetési sebességet, ennél fogva finomabbra őrlődnek. Nagy ásványi anyag tartalmú szenek legfinomabb frakciója ezért kimutathatóan hamuban dúsabb, sőt kimutatható volt laboratóriu-

mi elemzés útján az is, hogy a legfinomabb szemnagyságtartományokban a nehezebb fajsúlyú ásványi anyagok helyezkednek el.

A fajsúly szerinti elkülönülés, tehát a nagyobb fajsúlyú alkotók eltolódása a finomabb szemnagyság frakciók felé fokozódik abban az esetben, ha a szén-őrölmalmon belüli recirkuláció szükségtelenül nagy, mert a recirkuláció növelése túlőrlést eredményez, vagyis szükségtelenül növeli a legfinomabb frakciók mennyiségét: csak a finom frakció őrlődik tovább. Ez a túlőrlött, nehéz fajsúlyú, ásványi anyagban dús frakció viszonylag tovább tartózkodik az égőövben, érvényesül a tűztér szélelő hatása, oly módon, hogy először azok a szemcsék választódnak le, maradnak vissza az áramlásból, amelyek meg-

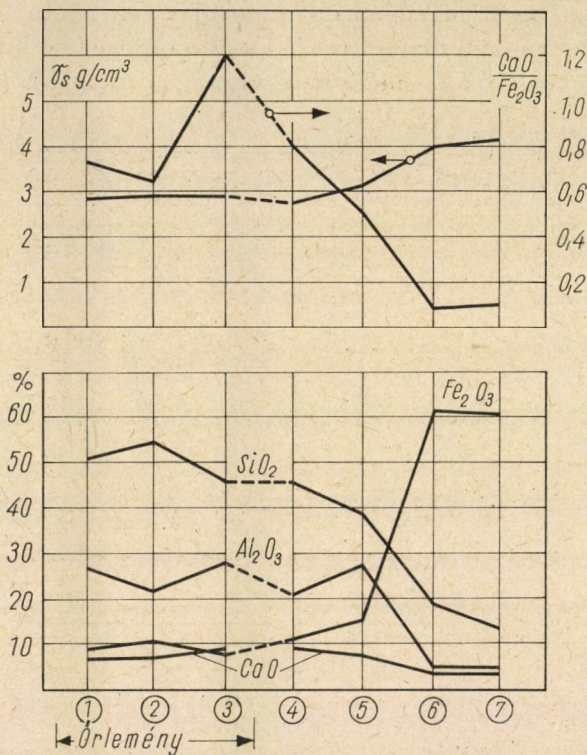


3. ábra. Dunántúli barnaszén mosási fajsúly-frakcióinak ragadósági hőmérséklete [7]

olvadtak, a felületi feszültség hatására gömb alakot vettek fel és ezzel áramlási ellenállásuk is csökkent. A még szilárd, szabálytalan alakú és ezért nagyobb áramlási ellenállású szemcsék ezzel szemben a füstgázokkal a huzamokba kerülnek. Ezt a jelenséget DOLEZAL [5] is megerősíti, barnaszéntüzeléssel kapcsolatban közölt kísérleti tapasztalatokra hivatkozva.

A szén és ásványi anyagának fajsúlya és összetétele közötti összefüggésekre vonatkozó igen értékes adatokat kaptunk a *Bányászati Kutató Intézettől* [6—8]. Megállapították, hogy az egyes mosási termékekben a hamu mennyisége és minőségi összetétele nem egyértelműen változik: különböző szénzsemcseméreték azonos fajsúlyú frakciói — a hamu összetételében mutatkozó különbségek miatt — más-más hamumennyiséget tartalmaznak. A frakciók Bunte—Baum szerinti hamuolvadási görbéi is tükrözik a különbségeket: alacsony ragadós-

sági ponttal nagy Fe_2O_3 tartalom jár együtt. E salakok ragadóssági pontja nagyobb CaO tartalmú szenek vagy CaO bekeverésével emelhető. A $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ arány függvényében a 3. ábrában mutatták be a ragadóssági pont változását. A ragadóssági pont a középső szénfajsúly-frakcióban a legalacsonyabb. Az összefüggés érvényes nyers és adalékolt szenekre egyaránt, vagyis mellékreakciók, eutektikum képződések nem játszanak bele az összefüggésbe.



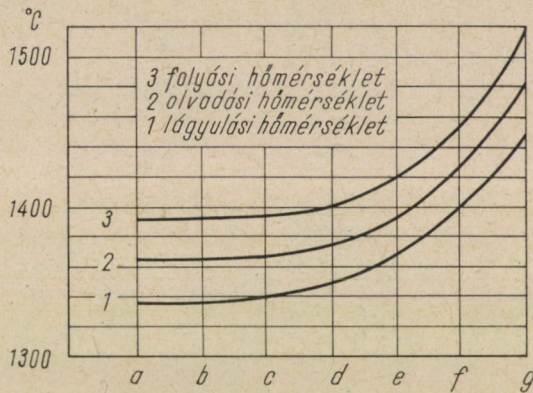
4. ábra. Barnaszén őrlemény ásványi anyag alkotóinak eloszlása egy 230 t/h teljesítményű szénportüzelésű kazán tűztérében

Az ásványi anyag eloszlását egy 230 t/h teljesítményű, barnaszén-tüzelésű kazánban vizsgáltuk. A ventilátormalmok őrleménye a kívánatosnál több finomabb frakciót tartalmazott ($R_{30} = 5\%$, $R_{70} = 25\%$), és az égőövben időnként üzemzavart okozó, nagymértékű salaklerakódások keletkeztek. Egy ilyen üzemzavarnál vett minták részletes ásványi anyagvizsgálatát mutatja a 4. ábra.

A szénőrlőmalom aprítási és szérelési folyamata után a tűztérben újabb méret és fajsúly szerinti osztályozódás történt. A legfinomabb szemcsék gyakorlatilag együtt haladtak az áramlással, és ahol a füstgáz fallal érintkezett, a leg-

alacsonyabb ragadóssági pontú, tehát sok Fe_2O_3 -at tartalmazó szemecék megapadtak, a többi a szállópernyébe került. A tüztér alján levő salaktölsérbe a szérelő hatás folytán elsősorban a durva szemecék hullottak. Ezt igazolták a különböző helyről vett minták elemzési adatai.

Az 1. oszlopban az őrlemény átlagos hamuanalíziséből a CaO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 és SiO_2 alkotók százalékos értékeit mutatjuk be. Ugyanebből az őrleményből megelemeztük a 60 mikron alatti (2. oszlop) és a 60 mikron feletti (3. oszlop) frakciókat is. Látható, hogy az alkotók fajsúly szerinti elkülönülése megkezdődött. A kis fajsúlyú SiO_2 legnagyobb részt a pernyébe (4. oszlop), kisebb mennyiségben a salakba került (5. oszlop), de megtalálható a csöveken



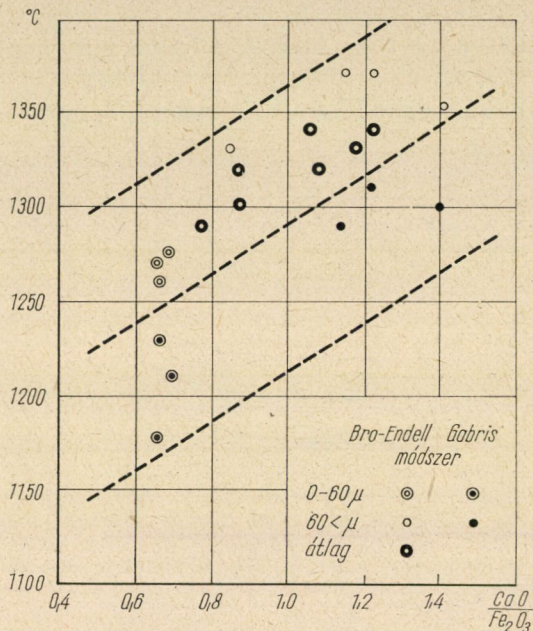
5. ábra. CaO -lerakódás a kazán fűtőfelületei mentén [9]

a lerakódásokban is (6. és 7. oszlop). A Fe_2O_3 ugrásszerűen megnőtt a tüztércsöveken található lerakódásokban. A főleg a durva frakciókban levő Al_2O_3 nagyobb mennyiségben került a salakba.

A minták fajsúlyának változása is alátámasztja az elmondottakat. Különösen szemléltető a $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ arány változása, amelyben a két komponens most fajsúly és őrlhetőség szempontjából értékelve megállapítható, hogy a 60 mikron alatti frakció vasban dús, a kisebb fajsúlyú mész-köszemecék a durvább frakciókba kerülnek, és nagy részük a szállópernyével a huzamokba jut, és viszonylag későn rakódik le. Legkisebb az arány a tüztércsöveken talált lerakódásokban. Ezt E. BAILEY tapasztalatai is [9] igazolják: a huzamokból vett minták jellemző hőmérsékleti adatai növekedtek az utófűtőfelületek felé haladva (5. ábra), mert a könnyebb fajsúlyú és magasabb ragadóssági, lógyulási stb. hőmérsékletet mutató ásványi anyag komponensek egyre később válnak ki a füstgázramból.

Minden olyan kutatási területen, ahol a mérési és vizsgálati módszerek tökéletlenségük miatt korlátozottan használhatók a valóságos folyamat megítélésére — és ezért előrejelzésre, várható viselkedésre sem adhatnak támpo-

tot —, csak a döntő tendenciák megfigyelése hozhat közelebb bennünket a megismeréshez. A rendkívül sok tényezőtől függő salakosodási folyamat jellemzésénél nem támaszkodhatunk fenntartás nélkül a használatos karakterisztikus hőmérsékletek abszolút értékére. A 6. ábrában az említett 230 t/h teljesítményű kazán tüzelőberendezéséből vett minták $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ viszony-számának függvényében ábrázoltuk a különböző eljárással meghatározott



5. DOLEZAL R.: Großkessel—Feuerungen. Springer, Berlin—Göttingen—Heidelberg 1961.
6. GÁL ERNŐ: A Bányászati Kutató Intézet szénkémiái és szénanalitikai kutatásai. *Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Tudományok Osztálya Közleményei*, 16 (1961), 11.
7. GÁL ERNŐ—KOVATSITS MÁTÉNÉ—SZÁVA JÓZSEF: A dorogi generátorüzem salakolvadási problémáiról. *Bányászati Kutató Intézet jelentése*, Budapest 1961, 3—VIII—61—11. sz.
8. GÁL ERNŐ—MEYER C.: Ergebnisse methodischer Untersuchungen schlackenreicher Lignite. *Braunkohle-Wärme-Energie* (1960), 210.
9. BAILEY E.: Significance of Coal — Ash Fusing Temperature in the Light of Recent Furnace Studies. *Trans. ASME* (1941), 465.
10. GURVICS A. M.: Hőátadás a kazánok tüztereiben. Goszenergoizdat, Moszkva 1950.
11. GUMZ W.—KIRSCH H.—MACKOWSKY M. T.: Schlackenkunde. Springer, Berlin—Göttingen—Heidelberg 1958.
12. JAKISCH H.: Verschlackung der Feuerräume unterhalb des Erweichungs-punktes der Asche. *Arch. f. Wärmewirtschaft* (1942), 211.

MAGYARORSZÁG GEOTERMIKUS TÉRKÉPE ÉS FÖLDI HŐÁRAMA

BOLDIZSÁR TIBOR

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA
NEHÉZIPARI MŰSZAKI EGYETEM MISKOLC, 2. Bányagéptani Tanszék
[Beérkezett 1963. április 1-én]

Geotermikus vizsgálatok alapján első ízben jelenik meg Magyarország izogradiens térképe. A magyar medence területén a geotermikus gradiens értéke általában 15–20 m/°C között mozog. A Kárpátok övezte medence egységes geotermikus anomália terület, amely határozottan kiválik a környező európai geotermikus térből. A magyar geotermikus anomália oka — a szerző mérései szerint — az ország egész területén, sőt az északi határterületen is egységesen jelentkező anomálian nagy földi hőáram. Mérései szerint Magyarország területén és az északi szomszédos területen a földi hőáram kétszerese a Föld felszínén megfigyelt átlagértéknek.

A geotermikus térkép a nagy magyar anomálián belül a lokális anomáliákat is feltünteti. A térkép készítéséhez csaknem 400 megbízható hőmérsékletmérési adat állt rendelkezésre.

A réteghőmérséklet gyors növekedése következtében a harmadkorú porózus kőzetekben tárolt víz hőmérséklete is gyorsan növekedvén, pl. 2000 m mélységből átlagosan 100 °C hőmérsékletű víz termelhető. A mintegy 4000 km³ térfogatú forróvíz hasznosítható hőenergiája nagyobb, mint szén- és szénhidrogénkészleteink együttes energiája. Az elsősorban fűtésre hasznosítható forróvíz termelési költsége a hasznosítható melege viszonyítva minden más energiánál kisebb és a világpiaci energiaáraknál is kisebb. Ezenfelül a mélységi forró karsztvíz is óriási hőmennyiséget tárol, melynek megállapítása folyamatban van.

I. Az izogradiens térkép szerkesztése

Az eddig végzett geotermikus megfigyelések alapján tudjuk, hogy a magyar medence egész területén a földi hőáram nagy. Magyarország most elkészült geotermikus térképe 397 megbízható hőmérsékletmérési adat alapján ábrázolja geotermikus viszonyainkat. Az eddig végzett hőmérsékletmérések átvizsgálása során kiküszöböltük azokat a mérési adatokat, amelyek nyilvánvalóan hibásak. A hőmérsékletmérések hibáját a következő főbb hibaforrások idézik elő:

1. a maximumhőmérő rossz, megbízhatatlan, lerázódik,
2. a fúróluk öblítés alatt kihűl, és a hőmérő nem mutatja az érintetlen kőzet hőmérsékletét,
3. termelő kútban a különböző rétegek vize keveredhet, rossz cementálás vízkeveredést okozhat.
4. kifolyó víz hőmérsékletének mérése alatt a felső rétegekben lehűlt víz hőmérsékletét figyelik meg,
5. a fúróluk elferdülése miatt a mélységmérés, a vertikális magasságkülönbségnél nagyobb értéket ad.

I. táblázat
Geotermikus gradiens értékek hazánkban a Dunántúlon

Sorszám	Fúrás helye	Mélység (m)	Hőmérs. (°C)	Geoterm. grad. (m/°C)	Megjegyzés
1	Adony, MÁV	262,0	19,0	24,2	
2	Agárd	158,0	20,0	16,7	
3	Alsónyék, Gyöng	119,0	19,0	13,3	
4	Babócsa	1750,0	99,0	19,9	
5	Badacsony, kikötő	138,0	21,0	14,0	
6	Baj, I.	150,0	14,5	30,0	
7	Bajcsa	2850,0	141,0	21,6	
8	Balatonöszöd, persp.	230,0	29,5	15,1	
9	Barabásszeg-3	2188,0	126,0	18,8	
10	Barcs, termál	680,0	38,0	25,2	
11	Bernátkút, III.	277,0	20,0	27,7	
12	Bicske, MÁV	350,0	25,0	22,7	
13	Bodakojtor, Felsőszentiván	108,0	17,0	16,7	
14	Bölcske, Tsz.	112,0	18,0	14,9	
15	Budafapuszta (Lispe)-4	1125,0	68,9	19,1	
16	Buzsák	600,0	45,7	16,8	
17	Bük	1282,0	61,0	25,2	
18	Celldömök, vízmű, I.	230,0	24,0	16,4	
19	Csákvár, I.	275,0	28,5	16,2	
20	Csánig	100,5	13,0	25,3	
21	Császár, Rákóczi Tsz.	44,0	12,5	17,7	
22	Császta	384,0	29,0	20,0	
23	Csokonyavisonta	2000,0	106,0	21,5	
24	Csorna	469,0	26,4	37,5	
25	Csurgó	300,0	27,0	16,7	
26	Dalmand	159,0	19,0	18,6	
27	Decs, Bogra pta.	200,0	40,5	6,7	kfv.
28	Dég, Nevelőtthon	190,0	20,0	19,0	
29	Dombóvár, vízmű	281,0	24,0	20,8	
30	Döbrököz	170,0	21,0	16,2	
31	Dunaalmás — Almásfüzitő	105,1	17,0	16,2	kfv.
32	Dunaújváros, termál	550,0	48,0	14,7	
33	Ellend	950,0	58,0	19,8	
34	Előszállás	147,0	14,0	17,3	
35	Esztergom, Szt. István k.	323,0	27,3	19,5	kfv.
36	Fenekpuszta (Keszthely)	115,6	13,0	36,3	
37	Fonyód	430,0	37,0	16,3	
38	Füle	103,8	15,0	20,8	
39	Görgeteg, Babócsa-26	1890,0	109,0	19,1	
40	Györe	801,0	42,0	25,0	
41	Fertőd, kastély	225,0	18,0	26,6	
42	Győr	1840,0	83,0	25,2	
43	Győr	385,0	41,0	12,5	
44	Győrszemere	410,0	30,0	20,1	
45	Hahót-69	1455,0	92,0	18,9	
46	Hahót, Ederics-31	1400,0	89,6	17,6	
47	Hahót, Pusztaszentlászló	1400,0	89,0	17,7	
48	Harkány, fürdő II.	42,0	61,0	0,8	
49	Hegyshalom	99,0	14,0	28,3	kfv.
50	Hereceghalom	356,0	25,0	22,9	
51	Heresznye	2357,0	126,0	20,3	
52	Hévíz	45,6	42,0	14,5	
53	Hidas	370,0	25,0	24,6	
54	Hosszúhetény	560,0	29,5	28,3	

Megjegyzés: kfv. = kifolyó víz hőmérsékletére vonatkozik

I. táblázat folytatása

Sorszám	Fúrás helye	Mélység (m)	Hőmérs. (°C)	Geoterm. grad. (m/°C)	Megjegyzés
55	Högyész	106,0	17,0	16,3	kfv.
56	Igal	622,0	66,0	11,2	
57	Igar	257,0	28,0	14,7	
58	Inke	2000,0	85,0	26,8	
59	Kaposvár, fürdő	1000,0	70,0	16,7	
60	Kaposvár	205,0	23,0	17,5	
61	Kápolnásnyék, Anna-major	178,0	16,0	30,5	
62	Kárász-puszta	154,5	16,0	22,8	
63	Kisvejke kk.	73,0	14,5	14,7	
64	Kilimán	625,0	51,7	15,0	
65	Komló	603,0	39,0	20,7	
66	Komlósd (GBK-2)	2095,0	100,0	23,5	
67	Körmend, vízmű	266,0	19,0	28,0	
68	Kuntelep	103,5	14,0	22,0	
69	Lendvaujfalu	1400,0	81,0	19,3	
70	Lengyeltői, kórház	87,2	15,0	17,4	
71	Lovászi	1475,0	84,4	19,8	
72	Lovászpataka	110,0	17,0	15,7	
73	Majos, Aranykalász Tsz.	155,0	31,3	9,6	
74	Marcali, III.	83,0	14,0	20,8	
75	Mágocs, Bihali Á. G.	116,8	17,0	13,5	
76	Máza	795,0	57,0	16,9	
77	Mesztegyő	205,0	19,5	22,8	
78	Mezőszentgyörgy kk.	112,0	15,0	22,4	
79	Mihályi, III.	2476,6	95,2	28,8	
80	Milej	1800,0	86,0	23,8	
81	Molvány	225,0	21,0	21,5	
82	Nagyatád, fürdő, I.	664,0	46,0	18,4	
83	Nagybarát, Á. G.	348,5	26,0	20,5	
84	Nagy-gyímót	170,7	17,0	25,7	
85	Nagykanizsa, Sör	197,0	20,5	19,7	
86	Nagylengyel	2000,0	102,0	22,0	
87	Nagymányok	345,0	26,0	21,6	
88	Oltárc	2530,0	111,1	25,3	
89	Oroszló 4-13	395,0	30,0	20,3	
90	Paks, vízmű	130,0	22,0	13,9	
91	Pápa, termál	810,0	35,5	32,2	
92	Pécs	550,0	55,0	12,2	
93	Ráckeresztúr, Á. G.	134,0	17,0	20,6	
94	Regőj, vágóhíd	177,0	24,0	13,1	
95	Répcelak, Mohás-major	182,0	16,0	28,0	
96	Sárbogárd	147,0	17,0	16,7	
97	Sármellék	201,9	17,0	26,7	
98	Sárvár	998,3	55,0	21,6	
99	Siklós, termál	101,2	29,8	5,6	
100	Sikonda-mánfa	419,9	38,8	15,2	
101	Simatelep—Ercsi	125,0	16,0	20,9	
102	Simontornya, Bőr-4	335,0	30,0	16,7	
103	Somogyvár, Gyógypedagógia	108,0	16,0	18,0	
104	Sümeg	560,0	53,0	13,2	
105	Szászvár	967,0	58,0	20,1	
106	Szekszárd	81,0	17,0	12,4	
107	Szentedénes	113,0	17,0	17,3	
108	Szentgotthárd, Selyem	178,0	19,0	18,8	
109	Szentlőrinc	360,0	24,0	25,2	
110	Székesfehérvár, Zsuzsanna ..	155,5	15,0	31,1	

I. táblázat folytatása

Sorszám	Fúrás helye	Mélység (m)	Hőmérs. (°C)	Geoterm. grad. (m/°C)	Megjegyzés
111	Szigetvár, Á. G.	124,0	18,0	16,5	
112	Szombathely	800,0	52,0	20,7	
113	Szulok	2670,0	146,0	19,6	
114	Tab	96,0	15,0	17,0	
115	Tamási	180,0	22,0	15,7	
116	Tarany-1	1800,0	130,0	16,4	
117	Taszár	452,0	29,0	24,5	
118	Tengelic	53,8	14,5	13,3	
119	Tét, Kórház	125,6	14,0	32,8	
120	Tolna	313,0	33,0	13,9	
121	Tolnaváralja	1200,0	64,0	22,2	
122	Tordas, Tsz.	102,0	15,0	19,1	
123	Újfalu-8	1100,0	67,0	19,3	
124	Vízvár	1890,0	108,0	19,8	
125	Zalaegerszeg	150,0	17,0	23,1	
126	Zalaszentgrót, Tsz.	126,9	14,0	32,6	
127	Závod	121,0	20,0	12,7	

Kivéve azt az esetet, hogy a hőmérő skálája eltolódott és ezért nagyobb hőmérsékletet jelez, valamennyi ok a geotermikus gradienst növeli azzal, hogy a hőmérő az eredeti réteghőmérsékletnél kisebb hőmérsékletet, ill. az 5. pontban nagyobb mélységet jelez. Ezért a megfigyelt hőmérsékletmérésekből nyert geotermikus gradiens értékek általában nagyobbak a ténylegesnél.

A kifolyó víz hőmérsékleti adatait ott, ahol a korrekcióhoz szükséges adatok [1] rendelkezésre állottak, korrigáltam.

Figyelembe kell venni, hogy a törésvonalak mentén felszálló és a mérési szint réteghőmérsékleténél nagyobb hőmérsékletű vizet megcsapoló fúrólukak helyes hőmérsékletmérés esetén sem szolgáltatják a kérdéses szint eredeti hőmérsékletét, hanem annál nagyobb hőmérsékletet, következésképp kisebb geotermikus gradienst. A számított geotermikus gradiens helyes, de nem regionális jellegű, hanem lokális anomáliára mutat. Egy területen több ilyen adat regionális anomáliára, rendszerint törésvonalakra utal.

A maximumhőmérők pontossága általában ± 1 C°-ra becsülhető. 1 C° mérési hiba 20 m/°C geotermikus gradiensű területen különböző mélységben a következő %-os hibát okozza:

100 m	20%
400 m	10%
1000 m	2%
2000 m	1%

Ezért 100 m-nél kisebb mélységű fúrólukak adatait (kivéve 17 esetet) nem használtam fel, 100—400 m közötti adatokat általában olyan területen használtam irányadóul, ahol nagyobb mélységből származó adat nincs. A tér-

II. táblázat

Geotermikus gradiens értékek hazánkban a Duna—Tisza közén

Sorszám	Fúrás helye	Mélység (m)	Hőmérs. (°C)	Geoterm. grad. (m/°C)	Megjegyzés
1	Abony, fürdő	701,5	52,0	17,1	
2	Alattyan	484,0	41,0	15,4	
3	Algyő, kk.	227,0	22,0	2,02	
4	Aszód, fiúnevelő	164,0	17,0	21,9	
5	Ásotthalom, fürdő	415,0	31,0	20,0	
6	Átány	450,5	33,0	19,6	
7	Baja, gyapjú	263,0	24,0	19,5	
8	Baja, Mátéháza	151,5	22,0	13,8	
9	Bácsalmás	139,0	19,0	15,3	
10	Bácsbokod	118,0	19,0	13,8	
11	Bácsszőlős	141,0	18,0	18,8	
12	Besenyőtelek	333,5	26,0	20,8	
13	Besenyszög, Palotás	595,0	46,0	18,0	
14	Boconád	360,0	34,0	17,1	
15	Budapest, MÁVAG	701,0	44,0	20,7	
16	Budapest, Városliget	1256,1	94,3	14,9	
17	Boldogkővára lja	88,0	14,0	19,5	
18	Bugac	114,0	16,0	20,7	
19	Bükcsizék, fürdő	517,0	41,0	16,7	
20	Cegléd	1183,5	69,5	20,0	
21	Csátalja Tsz.	74,5	16,0	13,6	
22	Bodakojtor, Felsőszentiván	108,0	17,0	16,7	
23	Csongrád, fürdő	1000,0	53,0	23,8	
24	Dávod, Püspökpuszta	670,0	38,0	23,9	
25	Demjén	950,0	66,1	16,9	kfv.
26	Dunaharaszti, iskola	65,0	15,0	13,0	
27	Dunavecse	111,0	17,0	17,1	
28	Drágszél	48,0	15,0	10,7	
29	Ecséd	107,0	17,0	15,3	
30	Eger	444,0	32,5	19,7	
31	Erk	330,0	29,0	17,3	
32	Forrásmajor	140,0	22,0	17,6	
33	Forró, persp.	74,0	15,0	16,4	
34	Füzesabony, kk.	274,0	24,0	19,5	
35	Gödöllő, Agráregyetem	201,0	18,0	23,7	
36	Gyöngyös	814,0	59,0	16,5	
37	Halmajugra, kk.	168,0	18,0	21,0	
38	Harta, Lenin Tsz.	310,0	29,0	16,3	
39	Hatvan, konzerv	318,0	24,0	22,0	
40	Hevesi, fürdő	793,0	57,0	16,9	
41	Iklad	121,0	18,0	15,2	
42	Jánoshalma	161,0	19,0	18,9	
43	Homokterenye, Jánosakna ..	310,0	28,0	21,7	
44	Jánoshida	525,0	44,0	16,4	
45	Jászapáti	805,0	58,0	16,7	
46	Jászberény	804,0	53,0	18,7	
47	Jáskisér	500,0	47,0	15,2	
48	Jásztelek	280,0	33,0	12,3	
49	Jászszentandrás	600,0	50,0	15,0	
50	Kalocsa	145,0	19,0	17,1	
51	Kányás			18,2	bányabeli mérések
52	Kecel, fürdő	941,0	65,0	17,2	
53	Kecskemét	240,0	21,0	21,8	
54	Kelebia, MÁV	118,0	17,0	18,1	

II. táblázat folytatása

Sorszám	Fúrás helye	Mélység (m)	Hőmérs. (°C)	Geoterm. grad. (m/°C)	Megjegyzés
55	Kerekegyháza, kk.	74,2	14,0	18,6	
56	Kisköre	495,0	33,0	21,5	
57	Kiskörös	1450,0	87,5	19,0	
58	Kiskunhalas	988,7	64,5	18,5	
59	Kisterenye	262,0	24,5	16,3	
60	Kiskundorozsma	158,0	18,0	21,1	
61	Köröstétetlen	230,0	27,0	15,2	
62	Lakitelek	196,0	32,0	9,1	
63	Lászlófalva				
64	Lőrinci, Erőmű, II.	250,0	30,5	12,2	
65	Madaras, iskola	115,0	16,0	20,9	
66	Mátraszele, III.	300,0	21,0	26,1	
67	Mezőkeresztes	1415,0	85,8	18,7	
68	Mezőkövesd	886,0	56,6	19,0	kfv.
69	Mezőkövesd, Zsóri-fürdő ...	875,0	70,9	14,3	kfv.
70	Mélykút	536,0	43,0	16,3	
71	Miskolc, Strand	670,0	43,9	15,1	
72	Miskolc	616,0	44,2	18,0	
73	Mórahalom	568,0	39,0	19,9	
74	Nagykörös	1084,0	70,0	18,1	
75	Monok	96,0	14,0	21,4	
76	Nagyréde	120,0	17,0	16,0	
77	Nagytálya, legelő	100,0	16,0	15,4	
78	Órszentmiklós			15,5	
79	Pásztó	332,8	35,0	13,3	
80	Pécel, MÁV	135,0	18,0	16,9	
81	Petőfiszállás	203,0	23,0	15,0	
82	Pély	626,0	46,0	17,4	
83	Pörtelek	117,0	19,0	14,1	
84	Rém-4	290,0	25,0	20,0	
85	Sajóhídvég	1654,0	98,7	18,7	kfv.
86	Salgótarján	250,0	21,0	20,8	
87	Sarud	353,2	31,0	16,8	
88	Sándorfalva				
89	Sárospatak, Végardó	287,0	45,5	7,2	
90	Solt, Petőfi Tsz.	145,0	20,0	15,2	
91	Soltvadkert	105,0	16,0	19,1	
92	Szakmár	128,0	18,0	17,1	
93	Szalkszentmárton	164,0	19,0	19,3	
94	Szatymaz	204,0	19,0	22,7	
95	Szeged	498,0	36,0	19,2	
96	Szikszó, kórház	290,0	23,0	22,3	
97	Szolnok, fürdő	873,0	54,4	19,7	kfv.
98	Szücsi, X. akna	105,0	16,0	16,2	
99	Szolnok, MÁV	860,0	69,0	17,1	
100	Tarnabod, kk.	314,0	29,5	16,1	
101	Tard	1490,0	68,5	25,3	
102	Tápiószele	347,0	30,5	16,9	
103	Tápiószentmárton	328,5	30,5	16,0	
104	Tiszanána, kk.	400,0	34,5	16,4	
105	Tompa-5	231,5	30,0	11,8	
106	Tiszakécske	134,0	18,0	17,9	
107	Tiszakécske	214,0	42,0	6,8	
108	Tiszakeszi	77,0	14,0	19,2	
109	Tarnaszentmiklós	430,0	35,0	17,2	
110	Tószeg	440,0	39,0	17,6	

II. táblázat folytatása

Sorszám	Fúrás helye	Mélység (m)	Hőmérs. (°C)	Geoterm. grad. (m/°C)	Megjegyzés
111	Újlőrincfalva	414,7	31,0	19,7	
112	Újszász, Szabadság Tsz.	250,0	31,0	16,4	
113	Szabadszállás, MÁV	186,0	25,0	12,6	
114	Üllés	117,0	15,0	23,4	
115	Üllő	570,0	48,0	15,0	
116	Zagyvarékas	420,0	38,0	17,1	
117	Tömörkény, Újtelep	176,0	19,0	20,2	
118	Városföld, Á. G.	152,0	18,0	20,3	kfv.
119	Visznek, Béke Tsz.	244,0	24,0	17,4	

kép az 1000—3000 m mély fúrólukak adataira, mint alapadatokra támaszkodik. A geotermikus gradiens értékek átlagos hibáját az összes hibaforrások figyelembevételével 1000 m-nél mélyebb lyukakban 5—10%-ra becsülhetjük. Az egyes megfigyelés hibája tehát 17,5 m/°C átlagértékhez képest mintegy 0,9—1,8 m/°C lehet.

A geotermikus gradiens a felszín és a megfigyelési mélység közötti átlagos geotermikus gradiens, tehát regionális jellege annál inkább kidomborodik, mennél mélyebb a lyuk. Mély fúrólukak sok réteget harántolva a medence kőzetei hővezetőképességének jobb átlagát adják. Kis mélységű fúrólukakban az átfúrt vékony réteg hővezetőképességének anomáliája is okozhat geotermikus gradiens anomáliát, hiszen

$$gg = \frac{\lambda}{q},$$

ahol λ a hővezetőképesség, q a földi hőáram.

A földi hőáram értéke elég nagy mélységben nagy területekre feltehetően azonos. Azonban amíg a különböző kőzetek különböző hővezetőképességgel, különféle konfigurációban helyezkednek el, a földi hőáram értéke is változik. A felszíni terep magasságának hullámlása is megváltoztatja a földi hőáram egyenletességét. Az Alföldön a porózus harmadkori kőzetek eltemetett hegyekre települnek, amelyek felületét ma már némileg ismerjük. Magyarország területe, ha a harmadkori üledékeket eltávolítva képzeljük, felfogható a Kisalföld és az Alföld fenekétől 4000—5000 m magasságig kiemelkedő hegyláncnak, melynek legmagasabb csúcsait a Magyar Középhegység alkotja. Érthető, hogy e nagy magasságkülönbségek felszíni és mélységi geotermikus anomáliát okoznak. A geotermikus anomáliák megállapítása révén, ismerve a terület kőzeteinek hővezetőképességét, a mélységi topográfiára, sőt a kéreg szerkezetére is következtetni lehet.

Óvakodtam attól, hogy az izogradiensek értékközét túl kicsire választanom. Először 5 m/°C értékközellel dolgoztam, de az adatok megengedték a 2,5 m/°C-os értékközű izogradiensek berajzolását is anélkül, hogy önkényes

III. táblázat

Geotermikus gradiens értékek hazánkban a Tiszántúlon

Sorszám	Fúrás helye	Mélység (m)	Hőmérs. (°C)	Geoterm. grad. (m/°C)	Megjegyzés
1	Apátfalva, Tsz.	279,0	22,0	24,4	
2	Ballai Á. G.	116,0	16,0	19,3	
3	Abádszalók, kk.	71,0	14,0	15,7	
4	Barabás	45,0	12,0	18,0	
5	Battonya-11	1025,0	74,0	16,0	
6	Battonya-21	1025,0	80,0	14,8	
7	Báránd	254,0	24,0	18,2	
8	Berettyóújfalú	810,0	63,1	15,2	
9	Békés	788,0	54,0	18,3	
10	Békéscsaba	2000,0	110,0	20,0	
11	Békésszentandrás	652,0	49,0	16,8	
12	Biharnagybajom	276,0	30,0	15,0	
13	Csanádpalota, fürdő	160,0	20,0	16,4	
14	Csárdásszállás	119,0	19,0	15,2	
15	Csenger, Lenin Tsz.	76,0	13,0	21,7	
16	Cserkeszőlő, üdülő	139,0	19,0	16,9	
17	Csökmő, kk.	410,0	30,0	20,5	
18	Ártánd	216,0	18,0	25,5	kfv.
19	Darvas kk.	322,0	25,0	21,5	
20	Debrecen	1183,5	69,5	17,0	
21	Debrecen, kincstári, I.	980,0	77,0	14,7	
22	Deszk, kk.	204,0	20,0	21,5	
23	Dévaványa, fürdő	1135,0	72,0	18,3	
24	Ebes-2	1330,0	95,0	15,7	
25	Ecsegfalva	192,0	20,0	19,2	
26	Egyek, vízmű-2	200,0	21,0	15,6	
27	Endrőd	1522,0	85,5	20,2	
28	Eperjes, kender, II.	615,0	43,5	18,7	
29	Fábiánsebestyén	309,0	28,0	17,5	
30	Fegyvernek, malom	110,0	17,0	15,7	
31	Fehérgyarmat, Bakókerth ...	95,0	15,0	16,7	
32	Fehérgyarmat, termál	850,0	60,0	19,4	
33	Ferencszállás	1836,0	140,5	14,1	
34	Földes, Tsz.	208,0	22,0	17,3	
35	Furta, kk.	353,0	34,0	14,7	
36	Füzesgyarmat, Aranykalász Tsz.	542,0	42,0	16,9	
37	Gacsály, Dózsa Tsz.	69,8	13,0	17,4	
38	Gáborján, Lenin u., kk. ...	565,0	34,0	23,5	
39	Gyoma, termál	1070,0	64,0	19,8	
40	Gyopárosfürdő	500,0	40,0	16,9	
41	Gyula	2004,0	112,0	19,8	
42	Hajdúböszörmény, fürdő ...	745,0	50,0	18,8	
43	Hajdúhadház, Petőfi Tsz. ..	128,0	17,0	17,6	
44	Hajdúnánás, termál	1008,0	67,0	17,6	
45	Hajdúszoboszló-2	900,0	70,5	15,1	
46	Hajdúszoboszló-3	1215,0	87,0	15,8	
47	Hajdúszoboszló-4	1222,0	80,0	17,5	
48	Hajdúszoboszló-6	1270,0	85,0	17,0	
49	Hajdúszoboszló-7	1175,0	85,5	15,6	
50	Hencida, kk.	564,2	43,0	17,1	
51	Hódmezővásárhely, fürdő ..	1096,0	54,4	24,7	
52	Hosszúhát, Kísérleti Á. G. ..	358,0	30,0	17,9	
53	Kaba, É-1	2120,0	134,9	17,0	

III. táblázat folytatása

Sorszám	Fúrás helye	Mélység (m)	Hőmérs. (°C)	Geoterm. grad. (m/°C)	Megjegyzés
54	Kaba-2	1600,0	115,0	15,2	
55	Kaba-1	1100,0	77,0	16,4	
56	Karcag, Ápr. 4.	133,0	18,0	16,7	
57	Karcag, fürdő	1500,0	91,0	18,2	
58	Karcag, Bucsa	1338,0	86,0	17,6	
59	Kemecse, persp.	480,0	35,0	18,8	
60	Kenderes, szakiskola	126,0	18,0	15,7	
61	Kertészsziget	361,5	31,0	18,0	
62	Kétpó	403,0	30,0	20,2	
63	Kisújszállás	1918,0	90,0	24,0	kfv.
64	Kisújszállás, Táncsics Tsz. ..	223,0	22,0	18,6	
65	Kisvárdá	1000,0	57,0	21,0	
66	Kiszombor	286,5	23,0	22,9	
67	Komádi	110,0	16,0	18,3	
68	Kondoros	753,0	46,5	19,6	
69	Kótaj, vízmű, II.	155,0	18,0	18,3	
70	Körösi Á. G.	502,2	35,0	20,4	
71	Körösladány, Újélet Tsz.	663,0	35,0	19,3	
72	Körösszegapáti	1400,0	92,6	16,7	
73	Köröstarcsa, kk.	488,0	34,0	18,2	
74	Kuncsorba	115,5	16,0	18,4	
75	Kungyalu Tsz.	258,4	23,0	20,6	
76	Kunhegyes	940,0	66,0	16,8	
77	Kunmadaras, kk.	114,0	18,0	14,3	
78	Liget (tanya)	1362,0	101,0	15,0	
79	Lónya, Béke Tsz.	46,0	13,0	11,5	
80	Macs, persp.	501,0	40,5	16,4	
81	Makó, fürdő	993,0	56,5	21,8	
82	Martfű	290,0	29,0	16,3	
83	Máriapócs, gyermekotthon ..	85,0	14,0	18,8	
84	Mátészalka	1009,0	67,0	17,7	
85	Mezőberény	1030,0	65,0	19,5	
86	Mezőhegyes	1031,0	74,0	16,1	
87	Mezőhék, Á. G.	370,0	31,0	15,8	
88	Mezőpeterd	294,0	29,0	18,4	
89	Mezőtúr	1448,7	95,5	17,0	
90	Mindszent, kk.	190,0	19,0	22,3	
91	Murony	491,0	42,0	15,4	
92	Nagyhegyes, Dózsa Tsz.	226,0	22,0	18,8	
93	Nagyhortobágy	150,0	20,5	14,3	
94	Nagylak, kender	700,0	48,5	18,9	
95	Nagymágocs, kk.	225,0	22,0	19,5	
96	Nagyrábé, Petőfi Tsz.	230,0	24,0	16,4	
97	Nagrét, Haladás Tsz.	235,0	29,0	12,7	
98	Nagyszénás	2172,0	85,6	28,7	
99	Nádudvar	1523,0	107,6	15,6	kfv.
100	Nemesbikk Tsz.	230,0	36,0	9,7	
101	Nyíregyháza, Sóstó	998,0	65,0	18,1	
102	Opályi, Tangazdaság	114,0	16,0	16,0	
103	Orosháza, Diána	465,0	38,6	16,8	
104	Órvénykút, Petőfi Tsz.	140,0	19,0	16,5	
105	Polgár, kk.	78,0	13,0	19,5	
106	Porcsalma	82,0	14,0	18,2	
107	Pusztabánréve, Á. G.	520,0	40,0	17,9	
108	Pusztaföldvár	1765,0	123,0	15,5	
109	Pusztamérges, kk.	128,0	16,0	21,3	kfv.

III. táblázat folytatása

Sorszám	Fúrás helye	Mélység (m)	Hőmérs. (°C)	Geoterm. grad. (m/°C)	Megjegyzés
110	Püspökladány, fürdő	652,0	47,0	17,6	
111	Rákóczi falva, Olaj	590,0	52,0	14,9	
112	Sarkadkeresztúr, Kossuth Tsz.	529,0	39,0	18,9	
113	Sáp	217,0	22,0	18,1	
114	Szajol, Erdészeti	90,0	14,0	20,0	
115	Szanda	1539,0	89,0	19,6	
116	Szandaszőlős	1456,0	86,0	19,2	
117	Szarvas	697,0	47,0	19,4	
118	Szeghalom	512,0	37,0	18,9	kfv.
119	Szegvár	242,0	19,5	26,8	
120	Szentes, fürdő	1736,1	85,0	23,6	
121	Szentetornya, Okt. 6. Tsz.	544,2	40,0	18,1	
122	Székkutas, Á. G.	268,0	26,0	17,2	
123	Szőreg	213,0	22,0	18,5	
124	Tarpa, Győzelem Tsz.	30,6	11,0	15,3	
125	Tatárülés	1160,0	85,0	15,5	
126	Tápé	230,0	22,0	20,0	
127	Tiszabездé, Tsz.	40,3	12,0	13,4	
128	Tiszaföldvár	1050,0	78,0	15,7	
129	Tiszafüred	946,5	61,0	18,5	
130	Tiszainoka, Tsz.	210,0	24,0	15,6	
131	Tizsakürt	2315,0	147,0	16,9	
132	Tizsalók, Erőmű	190,0	21,0	17,2	
133	Tiszaörs	1766,5	126,0	15,2	
134	Tiszaugar, Á. G.	141,0	18,0	17,6	
135	Tiszavasvári, kk.	62,5	13,0	15,6	
136	Tótkomlós	1655,0	135,0	13,2	
137	Törökszentmiklós, Termál	1100,0	64,0	20,4	
138	Töviskes, Á. G.	330,0	30,0	17,0	
139	Túrkeve	1700,0	79,7	24,4	
140	Újkígyós	115,0	17,0	17,7	
141	Újszeged	1013,0	68,0	18,0	
142	Úrmóshát, Sertés	203,0	21,0	18,5	
143	Vajhát, Kender	741,0	44,0	22,4	
144	Váncsod	340,0	28,0	18,9	
145	Vekerd	364,0	25,0	24,3	
146	Végyháza	104,0	18,0	14,9	
147	Vérvölgy	180,0	23,2	13,6	kfv.
148	Vészto	180,0	20,0	19,0	
149	Záhony, MÁV	40,0	12,0	16,0	
150	Zsadány, kk.	59,0	14,0	16,8	
151	Zsáka	245,0	22,0	20,4	

Megjegyzés: kfv. = kifolyó víz hőmérsékletére vonatkozik.

szerkesztésekhez kellett volna folyamodni. Átlagos gradiensek a térképen 17,5 m/°C adódik, a geotermikus gradiens értékek legnagyobb számban 15 és 20 m/°C között vannak. 20 és 15 m/°C felett, ill. alatt vannak a *pozitív és negatív lokális anomáliának* tekintett értékek.

Az izogradiens vonalak berajzolásokor helyenként egy-egy kiugró értéktől eltekintettem és azt, ha nagy volt, rossz mérésnek, ha kicsi volt, akkor a törés-

vonalak mentén jelentkező lokális, regionálisan nem jellemző értékek tulajdonítottam. A szabályszerűen elhelyezkedő kis értékek azonban tektonikailag kimutatott törésvonalakkal esnek egybe.

2. Geotermikus lokális anomáliák

Mindezek alapján kilenc lokális geotermikus gradiens anomália-terület jellegzetesen kibontakozik a regionális átlagnak tekintett 15—20 m/°C érték-közből. Pozitív geotermikus gradiens anomália-területek a következők:

A Rába-vonaltól ÉNy-ra	20—28,3 m/°C	9760 km ²
Barcs—Nagykanizsa—Zalaegerszeg .	20—25,3 „	3125 „
Makó—Hódmezővásárhely—Kiskun- félegyháza—Újszász	20—26,8 „	4450 „
Gyoma—Turkeve	20—24,4 „	695 „
Csökmő—Vekerd	20—24,3 „	340 „
A pozitív anomáliák összterülete:		18 370 km ² .

Negatív anomália-területek:

Decs—Szekszárd—Nagydorog—Sza- badszállás	12,4—13,9 m/°C	1860 km ²
Dunaújváros—Jásztelek	9,6—15,0 „	835 „
Bácsbokod—Mélykút	13,8—14,6 „	260 „
Lakitelek—Tizsakécske—Vezseny ...	6,8—14,9 „	180 „
A negatív lokális anomáliák összes területe:		3135 km ² .

A Rába-vonaltól ÉNy-ra az országhatárig terjedő pozitív anomália átmenet az európai kontinens 35—40 m/°C közötti területe felé. A bécsi medencében és a Kisalföld É-i részén a geotermikus gradiens már 35—40 m/°C között van. A többi pozitív lokális anomália-terület jól elhatárolható a környezetük normális jellegű területeitől.

A negatív lokális anomáliák, bár kisebb méretűek, mégis nagyon határozottan jelentkeznek. Az első kivételével tektonikai vonalakat jeleznek, bár a Nagydorog—Szabadszállás zóna is tektonikai irányhoz kapcsolható. A kis gradiensű területek az alaphegység erősen felemelkedett hércével függenek össze és lehetőséget adnak arra, hogy kis mélységből, esetleg a mélykarsztvíz feltárásával igen forró vizet, gőzt lehessen fejleszteni. Mindenesetre e területek kínálnak a részletes geotermikus kutatások elvégzésére.

Magyarország területéből leszámítva a hegyvidékek területét, tehát a porózus harmadkorú üledékek

73 300 km²

területéből

51 400 km²

területen (70%) a magyar medence normális geotermikus gradiens értékei észlelhetők (15—20 m/°C), az anomália-területek pedig

$$21\,825 \text{ km}^2$$

(30%) kiterjedésűek (20—26,8 m/°C, illetve 6,8—15 m/°C).

A magyar medence részletesebb geotermikus átkutatása nyomán még több hasonló kisméretű anomália-terület lesz feltárható, azonban ezek nem fognak a most közölt térképen ábrázolt geotermikus helyzeten lényegbevágóan változtatni.

3. Földi hőáram

A magyar medence területén (beleértve a Magyar Középhegységet), 273 megfigyelt értékből kiszámítható átlagos geotermikus gradiens értéke

$$18,43 \text{ m/}^\circ\text{C.}$$

Az átlag szórása

$$0,224 \text{ m/}^\circ\text{C.}$$

Az átlag valószínű hibája (standard deviation) $\pm 0,15$.

A geotermikus gradiens legvalószínűbb értéke és valószínű hibája tehát

$$18,43 \pm 0,15 \text{ m/}^\circ\text{C.}$$

Külön kiszámítottam három országrész átlagát:

Dunántúl	19,35 m/°C
Duna—Tisza köze	17,60 „
Tiszántúl	18,18 „

A hegyvidéki területek leszámításával a harmadkorú porózus rétegekkel fedett területekre a geotermikus gradiens átlaga

$$18,89 \text{ m/}^\circ\text{C.}$$

Mindezek alapján igen megbízhatóan megállapítható, hogy Magyarország területén, a geotermikus gradiens átlagos értékével 18,43 m/°C-értékkal számított földi hőáram, ha mintegy 0,0045 cgs átlagos hővezetőképességet veszünk figyelembe,

$$q = \frac{0,0045}{18,43} = 2,44 \cdot 10^{-6} \text{ cgs}$$

értékű. Ehhez képest kisebb és nagyobb regionális hőáramok is kiszámíthatók

$$2 \cdot 10^{-6} \text{ és } 3,31 \cdot 10^{-6} \text{ cgs}$$

értékek között [2, 3]. Ez a regionális érték mintegy 5—6 km tengerszint alatti mélységre vonatkoztatható, ahol az eltemetett alaphegység domborzatának hatása a hőmérsékleti térben már elhanyagolhatóan csekély.

4. Hegyvidéki területek

A Magyar Középhegység és a többi hegyvidéki terület sem foglal el kivételes helyet a magyar medencében. Bár az áramló karsztvíz zónájában [4] a felszínen megfigyelhető földi hőáram lecsökken, sőt helyenként, a földi hőáram teljes horizontális irányú elvezetése miatt a felszín közelében földi hőáram egyáltalán nem észlelhető, a stagnáló karsztvíz-öbven a normális geotermikus viszonyok kialakulnak és egy bizonyos mélységben a földi hőáram ugyanúgy megállapítható, mint a medence más pontjain.

A hegyvidéki területek, ahol a karsztvíz áramlása és a topográfia miatt a megfigyelt geotermikus gradiens értékek regionálisan nem mindig jellemzőek, a következők:

a) Dunántúli részen:

1. Magyar Középhegység	7800 km ²
2. Mecsek	1140 „
3. Villányi hegység	155 „
4. Alpok nyúlványai (Sopron—Kőszeg) ...	345 „

b) Dunáninnyi részen:

Magyar Középhegység	9350 km ²
Ez összesen 18 790 km ² , ami az ország területének 20%-a.	

E terület nagy része a mélykarsztvíz-bányászat szempontjából jelentős. A mélykarsztvíz a porózus harmadkori rétegek alatti mélyre süllyedt, karsztosodott kőzetekből termelhető. Ezek jelenlétére egyes *negatív lokális anomáliák* jól rámutatnak.

5. A geotermikus anomália és a hegyszerkezet kapcsolata

A geotermikus anomáliák tektonikai értelmezése a jövő feladata. A medencefenék szerkezete és a geotermikus anomáliák között első pillanatra is szembetűnő egyezések állapíthatók meg:

1. A Rába-vonal, mint a legfeltűnőbb törésvonal, amely mellett az ópaleozoos és mezozoos alaphegység elég nagy szintkülönbséggel érintkezik a Ny-i geotermikus pozitív anomália-terület határa. Ettől Ny-ra a hazai nagy geotermikus anomália lassan csökken és az ország határán túl átmegy a közép-európai normális geotermikus gradiensbe (35—40 m/°C).

2. A Dunántúl DNy-i részén észlelt kis pozitív anomália is összefüggésben lehet az ópaleozoos és paleozoos alaphegységgel. Az összefüggés azonban nem feltűnő, aminek oka egyrészt a tektonikai, másrészt a geotermikus adatok hézagos volta.

3. Az alföldi pozitív anomáliák összefüggése a hegyszerkezettel nem elég világos, bár a paleozoos aljazattal való összefüggés itt is megvan. Valószínű, hogy a medence fenekén a nagy vastagságú harmadkorú üledék hőellenállása miatt a földi hőáram kisebb, és a hő a jó hővezetőképességű hegylancok felé áramlik.

4. Annál világosabb a negatív anomáliák kapcsolata a tektonikával. Valamennyi negatív anomália a mezozoos alaphegység felett van, irányuk megegyezik a nagy DNy—ÉK törésvonal csapásával. A decs—szekszárdi anomália D-i részén az alaphegység gránit-és paleozoos kőzetekből áll, azonban csak sekély fúrások alapján végzett hőmérsékletmérések állnak rendelkezésre és a tektonika sincs eléggé tisztázva. Az anomália É-i része szintén hegyszerkezeti vonalakhöz van kötve.

A másik három negatív anomália világosan követi a nagy szerkezeti főtörések irányát.

A geotermikus anomáliák további kutatása és tektonikai értelmezése nemcsak a geotermikus, hanem a szénhidrogénkutatásnak is nagy segítséget fog jelenteni, mert segít az egyéb geofizikai kutatási módszerek eredményeinek értelmezésében.

6. A magyar medence nagy geotermikus anomáliája

Hazánk területén a földi hőáram megmérése előtt nem volt lehetséges fizikai tényekkel alátámasztani azt, hogy a geotermikus gradiens, vagyis a hőmérséklet növekedése a mélységgel egész Magyarország területén egyformán nagymértékű. Ugyanis a mélyfúrásokban végzett hőmérsékletmérések korábban nem voltak megbízhatók, a kifolyó víz hőmérsékletének megmérése alapuló vizsgálatok pedig a valóságos helyzethez képest igen eltérő, helytelen geotermikus hőmérsékleti adatokat szolgáltatottak, ennek következtében hazánkban több kutató a hőmérsékletmérések helytelenségét és annak okát fel nem ismerve, geotermikus anomália-térképet készített, amelyek nem fedték fel a való tény, ti. azt, hogy Magyarországon a geotermikus gradiens értéke 15—20 m/°C között van. SÜMECHY [5] és követőinek vizsgálata az alapvető jelenség félreismerése miatt helytelen értékeket szolgáltatott. A földi hőáram megmérése adta a biztos alapot kezünkbe ahhoz, hogy kijelentsük, hogy hazánk területén a földi hőáram rendkívüli nagy értéke következtében mindenütt gyorsan emelkedik a hőmérséklet.

Ennek alapján a mélyfúrásokban végzett hőmérsékletmérések újvizsgálata, a helytelen mérési adatok kiszűrése, valamint a kifolyó vízadatok átszámítása után, mintegy 300 fúróluk adataiból — amelyek az ország egész területén vannak elszolva — újból igazolni lehetett 1944-ből származó megállapításomat, hogy Magyarország egész területén a geotermikus gradiens

értékére a 15—20 m/°C érték jellemző. Magyarország geotermikus térképe, a geotermikus izogradiens vonalak feltüntetésével első ízben mutatja meg hazánk geotermikus viszonyait.

Jelenleg Magyarország területe geotermikus szempontból az egész világon legjobban átkutatott egységes terület. A földi hőáram regionális értéke sehol a világon olyan nagy területre, mint Magyarország meghatározva nincsen. A külföldi geotermikus vizsgálatok ismeretében megállapítható, hogy Magyarország területének geotermikus anomáliája az egész világon egyedülállóan különleges jelenség. Sehol ilyen nagy hőáram anomáliát ilyen nagy területen ez ideig nem találunk. A földi hőáram Magyarországhoz hasonló nagy értékei, sőt annál nagyobb hőáram értékek másutt is megfigyelhetők, azonban e hőáram anomáliák egészen kis területekre szorítkoznak. A földi hőáram Magyarországon megfigyelt nagy értéke úgy látszik az egész Kárpát-medencére jellemző. 1962-ben Selmechányán végzett geotermikus vizsgálataim alapján [7] gyanítható, hogy Magyarország határain belül észlelt geotermikus anomália Szlovákia területén is jelentkezik, és nagyon valószínű, hogy a hazánk földjén felfedezett geotermikus anomália a Kárpátok övezte medence nagyobb részén is megvan.

7. Geotermikus energia termelése

Magyarország geotermikus anomáliája nemcsak abból a szempontból egyedülálló, hogy másutt ilyen nagy területen megállapított anomália nincsen, hanem abból a szempontból is, hogy éppen ez a nagy geotermikus anomália teszi lehetővé — világviszonylatban is egyedülálló módon — az ország csaknem egész területén a mélységben levő porózus és karsztvizek kitermelését. Mint-hogy Magyarország területén 2—3-szor olyan gyorsan növekszik a hőmérséklet, mint a Föld felszínén általában, ez azt jelenti, hogy pl. 100 °C réteghőmérséklet Magyarországon kb. 2000 m mélységben észlelhető. A Föld egyéb területén, ahol a földi hőáram értéke a Magyarországon megfigyelt érték fele vagy harmadrésze, ott a geotermikus gradiens értéke a két-, ill. háromszorosra, ennek következtében 100 °C réteghőmérséklet másutt mintegy 4000 m mélységben van. Ilyen nagy mélységekben a kőzetek porozitása már kicsi, vagy megszűnik, ennek következtében a geotermikus energiát szolgáltató és mobilizáló víz már a rétegekben nem foglalhat helyet, mert a rétegek pórustérfogata kicsiny. Meg kell itt jegyezni, hogy 5% pórustérfogat alatt a kőzetek a vizet általában már nem képesek leadni, ezért az 5%-nál kisebb porozitású kőzeteket geotermikus energiatermelés szempontjából tömöreknak tekinthetjük. A nagy földi hőáram következtében Magyarországon már kis mélységben észlelhető nagy hőmérséklet, és mivel ebben a mélységben igen nagy porozitású kőzetek vannak, e két tényező szerencsés egybeesése miatt

lehetséges Magyarországon geotermikus energiatermelés. Magyarország területe alatt egy forróvíztenger terül el, amelybe félszigetként nyúlik be a Magyar Középhegység, vagy legalábbis annak egy része. Ez a forróvíztenger az alattunk levő porózus kőzetek hézagaiban foglal helyet.

A geotermikus energia jelentőségének megítélése hazánkban korábban azért nem volt lehetséges, mert a megfelelő elméleti alapok ehhez hiányoztak. A vizek eredetére kétféle nézet volt a geológiában, az egyik nézet szerint a termális vizek juvenilis vizek, vagyis a magmából származnak, a másik nézet szerint a vizek az ún. vadózus vizek, tehát a felszínről beszivárgó csapadékvízből nyerik utánpótlásukat. A termális vizeket a legtöbb kutató a juvenilis vizek csoportjába sorolta, mert éppen nagy hőfokuk miatt következtettek arra, hogy ezek a vizek a mélységből származnak. Mind a mai napig a geológusok legnagyobb része hazánk porózus kőzeteiben helyet foglaló víz viszonyait a közlekedő edények törvényével magyarázza meg és azt gondolják, hogy porózus rétegeinkben helyet foglaló forróvíz a felszínről beszivárgó csapadékvíz révén utánpótlódik. E felfogás következtében igen sok vizsgálat történt arra vonatkozóan, hogy a geotermikus energiát szolgáltató forróvíz kitermelésével nem szabad egy bizonyos mérték fölé menni, mert akkor az a veszély fenyeget, hogy a forróvizet tápláló földi hőáramnál nagyobb melegmennyiséget felhasználva, a víz le fog hűlni, mert a beszivárgó csapadékvizet a földi hőáram a túl gyors áramlás következtében nem fogja eléggé felmelegíteni.

Mindeme felfogások szerző vizsgálatai nyomán, ma már túlhaladottak. Ma már nem hihetjük azt, hogy termális vizeink — vonatkozik ez elsősorban a porózus rétegekből nyert termális vízre — törésvonalakhoz vannak kötve és valamilyen összefüggésben vannak a magmával. Ma már azt sem hihetjük, hogy a termális víz összefüggésben van a felszínről beszivárgó csapadékvízzel. A kőolajbányászat kutatási eredményeinek átvizsgálásából jól tudjuk, hogy porózus kőzeteinkben tárolt forróvízkészletek „lencseszerűen” helyezkednek el és az egyes „lencsék” egymással praktikus értelemben nem kommunikálnak. Erre vonatkozóan a dunántúli és alföldi kőolaj- és földgázmezőkben végzett részletes vizsgálatok szolgáltatnak bizonyítékot.

A forróvízkészletek eredete tekintetében sem szükséges törésvonalakra és juvenilis eredetre hivatkozni, mert éppen a geotermikus vizsgálataim bizonyították be minden kétséget kizáróan, hogy hazánk egész területén a nagy földi hőáram következtében a kőzetek és így a benne foglalt víz hőmérséklete is gyorsan emelkedik, ennél fogva jól megállapítható módon hazánk egész területén egy bizonyos mélységhez egy elég szűk határok közt meghatározott közhőmérséklet tartozik. A porózus kőzeteinkben tárolt hőkészlet a geológiai múlt alatt felhalmozódott hőmennyiség, amelynek mennyiségét a porózus kőzetek pórusrétegeiből és a kőzetek geotermikus hőmérsékletéből számíthatjuk ki. Hazánk egész területén a porózus kőzetekben tárolt víz hőmérséklete geotermikus térképem alapján megállapítható.

Ebből viszont az is következik, hogy a forróvízkútjaink nem törés-vonalakhoz vagy vulkanikus kőzetek vonulatához vannak kötve, hanem hazánk minden olyan helyén forróvíz termelhető, amely területen a porózus kőzetek megfelelő mélységben megtalálhatók. A kőolajbányászat földtani megfigyelések anyagából tudjuk, hogy hazánk területén ilyen porózus kőzetek elsősorban a pannóniai üledékekben vannak, amelyek az ország csaknem egész területén el vannak terjedve és vastagságuk 4000 m-ig változik.

8. A porózus kőzet feszültségállapota

A kőzetek hézagaiban, pórusaiban helyet foglaló víztömeg, a kőzetekkel együtt a fölöttük levő rétegek terhelése alatt áll. A kőzetben uralkodó feszültség azonban nem egyenlő a víz hidrosztatikai nyomásával, mert a porózus kőzetek rugalmas, plasztikus anyagok, teherbíróak, teherbírásuk révén a fölöttük levő kőzetsúly terhét részben maguk is képesek viselni, és annak csak egy részét hárítják át rugalmas deformáció révén a pórusokban helyet foglaló vízre. A víz nyomása, vagyis a pórusok térfogataiban helyet foglaló víz nyomása legtöbbször elég közel van a víz hidrosztatikus nyomásához. Ez a tény, amely számtalan megfigyelésen alapszik, vezetett korábban arra a téves feltevésre, hogy a porózus rétegekben helyet foglaló víz a közlekedő edények törvénye szerint a fölötte levő vízoszlop nyomása alatt áll. A mechanikai vizsgálat azonban kimutatta, hogy a rétegekben helyet foglaló víz nyomása nem okvetlenül egyenlő a hidrosztatikus nyomással, bár ahhoz egy bizonyos mélységig közel áll. A külföldi, igen mély fúrólukban végzett megfigyelések arra mutatnak, hogyha a mélység, vagyis az ezzel arányos geosztatikus terhelés növekedésével a kőzet ásványszemcsékből álló szerkezete tönkremegy vagy plasztikusan folyik, akkor a vízre az egész kőzetoszlop terhelése áthárul. A kőzetek pórusaiban helyet foglaló víz közel hidrosztatikus nyomása egy átmeneti zónában megnő és a geosztatikus nyomással válik egyenlővé. Ez a felismerés bizonyítéka annak, hogy a kőzet és a víz együttesen egy kettős teherviselő rendszert alkot, amelyben a szilárd és folyékony közeg feszültségállapota egy bizonyos határig, a teljes plasztikus folyásig különböző [8].

9. Termelés a rugalmas tágulás révén

A porózus lencsékben helyet foglaló víz tehát nagy nyomás alatt áll, melyet rétegnomásnak nevezünk. Hogyha a porózus réteget egy kúttal megnyitjuk, akkor a nagy, rugalmas víztest kitágul, a tágulás következtében a víz a fúrólukban felemelkedik és az Alföldön legtöbb esetben a lyuk száján kifolyik. Ezek az ún. pozitív kutak. Vannak azonban elvétve negatív kutak is, amelyekben a rétegnomás kisebb, mint a felszínig számított hidrosztatikus

nyomás. Elvileg a rugalmas víztestnek csak az a része termelhető ki, amelyet a víztest tágulása közben a fűrőlyukon keresztül kinyom. A rugalmas tágulás révén kitermelhető vízmennyiség a rétegben levő folyadék nyomáscsökkenésével arányos,

$$\Delta V = a \cdot \Delta p \cdot V \text{ m}^3,$$

ahol a cm^2/kg a víztérfogat tágulási tényezője, Δp kg/cm^2 a nyomáscsökkenés, V a folyadék térfogata.

$$a = 4 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{kg}.$$

A valóságban azonban, minthogy a porózus kőzet szilárd ásványokból és közettörmelékből álló része és a víz együttesen egy közös teherviselő rendszert képez, a víz nyomásának esökkenésekor a szilárd szemcsékben rugalmas, illetve később plasztikus alakváltozás jön létre, amelynek következtében a pórusokban helyet foglaló víz fokozatosan újra az eredeti nyomás alá kerül. Nincsenek hazai kísérleti adataink arra vonatkozóan, hogy ez a folyamat meddig tart, azonban az Alföldön évtizedek óta működő termelő kútjaink vannak. A geotermikus fűtés szakaszos víztermelése következtében az eredeti terhelési viszonyok a szünet alatt valószínűleg újra helyreállnak, vagyis a porózus réteg felett levő kőzetoszlop súlya továbbra is közel azonos arányban fog a vízre is átháríthatni.

10. Termelés a porózus kőzet plasztikus deformációja révén

A természetben teljesen vízzáró kőzetek nincsenek, ennek következtében a gyakorlatilag vízzárónak tekintett agyagrétegek is képesek vizet leadni vagy felvenni, ezért a porózus rétegek között helyet foglaló víz, kitermelése közben, az agyagrétegeken keresztül lassan pótlódik. Ez a pótlás különösen akkor lehet jelentős, amikor a vízkivétel a rétegből szakaszos. Ez az eset áll fenn a forróvizet termelő kutak esetében, amelyeknél az esetek nagyobb részében a termelési időszak legfeljebb egy fél év lesz, a fűtési szezon időtartama. A kutak általában egy fél évig üzemben kívül lesznek és ez a fél év elegendő idő lesz ahhoz, hogy az előbb említett szerkezeti átrendeződés és a vízzáró agyagrétegekből új vízmennyiség beszivárgása lehetővé váljon. Erre vonatkozóan a későbbiekben kell vizsgálatot végezni, hogy e hatások számszerű értékeiről is tájékozódást szerezzünk.

Mindezeket összefoglalva megállapítható, hogy a forróvíz termelése a megnyitott réteg vizének a nyomáscsökkenése okozta rugalmas tágulás miatt indul meg. Körülbelül ugyanekkora vízmennyiséget termel a kőzet pórusainak rugalmas tágulása miatti térfogatcsökkenése. Ez alatt azonban lassú plasztikus anyagátrendeződés, folyás is bekövetkezik, melynek következtében az előző rugalmas hatások miatt eltávozó vízmennyiség okozta

rétegnyomáscsökkenés megszűnik, a rétegnyomás újra növekszik és az eredetihez hasonló egyensúlyi helyzet újra visszaáll. A rétegnyomás tehát regenerálódik, és a pórusokban levő víz nyomása nem csökken. A plasztikus anyagátrendeződés következtében elvileg az sincs kizárva, hogy a folyásban levő porózus kőzetek a geosztatikus terhelés nagyobb hányadát hárítják át a folyadékfázisra, ennek következtében a folyadék termelése alatt a rétegnyomás esetleg még emelkedhet.

E viszonyok illusztrálására vizsgáljunk meg egy jó porózus víztartalmú réteget Hajdúszoboszlón. A HSz—5 fúrás mintegy 1250 m mélységben egy kb. 40 km² területű, átlagosan 30 m vastag, 20% porozitású víztároló lencsét harántol, melyet megnyitva jó, bővizű kútat nyernénk, amely kb. 80° C hőmérsékletű vizet adna. Egy ilyen kút, mint tapasztaltuk, hosszú éveig szabadon felszökön termelne. Mennyi vizet képes e kút 10 m vízoszlop nyomáscsökkentésével termelni, ha csak a víz rugalmas tágulását vesszük figyelembe?

$$V = 0,2 \cdot 40 \cdot 10^6 \cdot 30 = 240 \cdot 10^6 \text{ m}^3;$$

$$\Delta V = 4 \cdot 10^{-5} \cdot 2,4 \cdot 10^8 = 9,6 \cdot 10^3 = 9600 \text{ m}^3.$$

Egy ilyen kút 1,2 m³/perc vízmennyiséget szállítva napi 1728 m³ forróvizet termel. Eszerint a folyadék rugalmas tágulása szabad felszíni kifolyás esetén csak öt és fél napi termelést fedez. Ha a kőzet rugalmassága is ugyanannyi, akkor 11 napig termel a kút. E számításból látható, hogy a kút regenerálódik, mert a valóságban rétegnyomás, főként anyagátrendeződés, plasztikus deformáció miatt 10—20 évig is megmarad. Megjegyzendő, hogy a teljes vízkészlet kitermeléséhez 140 000 napra, vagyis mintegy 380 évre lenne szükség. Nagy biztonsággal mondhatjuk, hogy a készlet 10—20%-a feltétlenül kitermelhető. E számításon alapuló érvelésben lényegében az sem változtat, ha a lencse kiterjedését pl. tízszeresére, 400 km²-re növeljük, hiszen akkor a rugalmas kiterjedés révén csak 110 napon keresztül lehetne termelni, ami a tapasztalattal éppen olyan szöges ellentétben van, mint az előző eredmény.

II. A magyar medence forróvízkészletei

A magyar medence harmadkorú üledékeinek térfogatát és pórusvolumenét a kőolajipar adatainak felhasználásával GÓZON JÓZSEF állapította meg.

Az elsősorban figyelembe jövő homok-homokkőrétegek mennyiségét a pannón üledéksorban 20%-ra, a többi harmadkorú üledéksorban 15%-ra vette, figyelemmel az eddigi tapasztalatokra. E rétegek átlagos porozitását 20, illetve 16%-kal vette figyelembe. Így a pannón üledékekben levő homok-homokkőrétegek pórustérfogata az összlet 4%-át, az egyéb harmadkorú rétegekben pedig 2,4%-át teszi ki; ezzel az értékkel végezte a pórustérfogat számítását a IV. és V. táblázatban.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a harmadkorú üledékek köbtartalma

160 000 km³,

IV. táblázat

Magyarország harmadkorú üledékeinek köbtartalma és a homok-homokkőrétegekben tárolt forróvíz térfogata

1	2	3	4	5
Mélység m	Pannón üledék km ³	Harmadkorú üledékek pannánnal együtt km ³	Pannón üledékek víztart. 20% homokossággal 20% porozitással km ³	Összüledék víztartalma a nem pannón üledékre 15% homokossággal 16% porozitással km ³
0—500	38 110	39 800	—	—
500—1500	52 600	56 400	2104	2196
1500—2500	16 200	35 200	648	1103
2500—3500	1 100	21 500	44	534
3500—4000	—	6 800	—	153
Összesen	108 010	159 700	2796	3986

V. táblázat

Magyarország harmadkorú rétegeinek hőmérséklete és hasznosítható hője

1	2	3	4	5
Mélység m	Átlag hőmérséklet (gg = 18,9 m/°C) °C	Hasznosítható hőesés 40° C-ig °C	Pannón pórúsvíz hasznosítható hője 10 ¹² kcal	Összes harmadkorú pórúsvíz hasznosítható hője 10 ¹² kcal
0—500	24	—	—	—
500—1500	64	24	50 496	52 704
1500—2500	117	77	49 896	84 931
2500—3500	170	130	5 720	69 420
3500—4000	183	143	—	21 879
Összesen	—	—	106 112	228 934

melynek 67%-a pannón üledék. A homok-homokkőrétegek pórúsvíz-térfogata, vagyis a benne foglalt víz köbtartalma

4000 km³,

amelyből 70% a pannón üledékekben van. A hasznosítható hő, ha 40 °C-ig használjuk ki a forróvizet

2,3 · 10¹⁷ kcal,

amelyből 46% a pannón rétegekben levő vízben található.

Ha ezen mennyiségnek nagy biztonsággal csak 10%-át vesszük ténylegesen kitermelhető mennyiségnek, tehát 90%-ot a rétegekben hagyunk,

akkor is a kitermelhető és hasznosítható hőmennyiség

$$2,3 \cdot 10^{16} \text{ kcal,}$$

ami

$$2,3 \cdot 10^9 \text{ tonna}$$

kőolaj, vagy

$$6,9 \cdot 10^9 \text{ tonna}$$

átlagos minőségű hazai szén (3330 kcal/kg) fűtőértékének felel meg. *Ez jóval több, mint hazánk összes szén- és szénhidrogénvagyonára.* A jelenlegi kőolaj-termelési színvonalon több mint 1000 évre lenne szükség ennek az energiamennyiségnek a kitermeléséhez.

A porózus rétegek forróvize az ország nagyobbik felén fúrólukkal bárhol elérhető és termelhető.

12. Gazdasági jelentőség

A részletes gazdaságossági számítások azt mutatták, hogy a geotermikus energia, fúrt kúttal megnyitva a porózus víztartó rétegeket, világviszonylatban is gazdaságos költséggel termelhető. A geotermikus energia a hazai szénenergia költségének egyharmad részéért termelhető ki [9].

A geotermikus energia ipari és lakóterek fűtésére, ipari processzusok hőellátására (timföld-, papír-, cukorgyártás stb.) és adott esetben villamosenergia termelésére is felhasználható.

Mivel a geotermikus energia hazánk legnagyobb nyersanyagkincse, joggal mondhatjuk e kincs felfedezését az utolsó 30 év legnagyobb bányászati felfedezésének. A geotermikus energia felfedezése 25 éve folyó rendszeres tudományos vizsgálatok eredménye, melynek utolsó 10 évben folyó végső fázisát a Magyar Tudományos Akadémia támogatta. Így a geotermikus energia felfedezése jó példáját mutatja annak, hogyan lesz az elméleti tudományos vizsgálatokból a népgazdaságot gyarapító országos jelentőségű gazdasági eredmény.

IRODALOM

1. BOLDIZSÁR: The Distribution of Temperature in Flowing Wells. American J. of Science Vol. 256 (1958), 294—298. o.
2. BOLDIZSÁR: Terrestrial Heat Flow in the Nagylengyel Oilfield Publ. Min. Fac. Vol. XX. (1959), Sopron 27—34. o.
3. BOLDIZSÁR—GÓZON: Земной тепловой поток в комло-зобаке (Földi hőáram Komló-Zobákon) Acta Techn. Hung. 43 (1963), 467—476. o.
4. BOLDIZSÁR: Bányászati Kézikönyv III. k. Budapest, 1963. 855. o.
5. SÜMEGHY: Die geothermischen Gradienten des Alföld. Jahrb. K. Ung. Geol. Inst., 1929.
6. BOLDIZSÁR, V. Geotermikus energiatermelés. 1962. OMF B tanulmány
7. BOLDIZSÁR: Földi hőáram Selmezbányán (s. a.).
8. SCHEIDEGGER: The physics of Flow Through Porous Media. Toronto 1960. 22. o.
9. BOLDIZSÁR: Geotermikus energiakészletünk hasznosítása. Előterjesztés a NIM Központi Műszaki Tanácsa részére 1961. dec. 12. (Kézirat.)

KÜLÖNLEGES ERŐHATÁSOK A HIDROCIKLONBAN

A CIKLONBAN KÖRÖZŐ SZEMCSÉK SZLIPJÉNEK ÉS A FELÜLETÜKÖN
MEGTAPADÓ FOLYADÉKHÁRTYÁNAK VAGY LÉGBUBORÉKOKNAK
A HATÁSA A SZEMEK MOZGÁSÁRA

TARJÁN GUSZTÁV

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

[Beérkezett 1963. március 30-án]

Ha a hidrociklon $v_r^n = C$ alapegyenletének n kitevője nem 0, a ciklonban radiális irányban elmozduló szemcsék tangenciális sebessége — tehetetlenségük következtében — eltér a zagy tangenciális sebességétől. E sebességkülönbség radiális irányú erőhatást okoz. Ugyanakkor a ciklonban köröző szemcsék saját tengelyük körül is pörögnek, ami által Magnus-effektus lép fel, ugyancsak radiális irányú erőhatásként. A szilárd finom szemcsék „mértékadó” fajsúlyát a felületükön megtapadó folyadékhártya vagy légbuborék bevonat észrevehető mértékben módosíthatja. A közlemény e jelenségek hatását vizsgálja a hidrociklonban mozgó különböző nagyságú és fajsúlyú szemcsékre.

I.

1. A ciklonban radiális irányban elmozduló szemcsék tehetetlenségük következtében a közeg sebességétől eltérő sebességűek lesznek, ha $n \neq 0$, ahol n a $v_r^n = C$ összefüggés kitevője. A lemaradás vagy előresietés (szlip) annál nagyobb, minél nagyobb a szemcse tömege (átmérője, fajsúlya), és minél nagyobb n (vagyis dv_i/dr) értéke. Szovjet kutatók szerint 3—5 mm-es szemcsék a közeg v_i sebességétől 20%-kal eltérő sebességgel mozoghatnak [1]. A közeg és szemcse eltérő sebessége mellett a szemcsére és a vele egyező térfogatú (helyéről kiszorított) közegre ható centrifugális erő eltér attól a centrifugális erőtől, amely az egyező tangenciális sebességű közeg és szemcse esetében jelentkezik. Ha a közegsebesség kisebb, mint a szemcse sebessége, a hatás olyan, mintha a szemcse fajsúlya a közeg fajsúlyához képest megnőne (vagy a közeg fajsúlya a szemcse fajsúlyához képest csökkenne).

A tengelyvonaltól távol — vizes ciklonokban vagy nehéz szuszpenziós ciklonok felső részében — n pozitív, de nehéz szuszpenziós hidrociklonoknál a kúp alsó részében gyakran negatív [1]. A tengelyvonal közelében a ciklon teljes hosszában n értéke mindig negatív. A hidrociklonban a nehéz szuszpenzió fajsúlya a tengelyvonal felé haladva (a sugár csökkenésével) általában csökken. Osztályozó ciklonokban is — hacsak nem túl híg a feladás — a fal mentén nagyobb a zagyfajsúly, mint a tengelyvonal közelében.

Ha n pozitív és $\gamma > \delta$, a fajsúlykülönbség folytán a tengelyvonal felé ($\gamma = \delta$ helyére) haladó szemcse sebessége a szlip következtében kisebb, mint a közeg sebessége: $v_s < v_i$; a ráható centrifugális erő kisebb, mint az azonos

fajsúlyú, de nagyobb sebességű közegre ható centrifugális erő; a hatás a szemcsét mozgásában gyorsítja, és elősegíti a $\gamma = \delta$ fajsúlyú közeg helyének elérésében.

Ha n negatív és $\gamma > \delta$ (pl. a nehéz szuszpenziós ciklon kúpjának alsó részén), a radiális irányban a tengelyvonal felé elmozduló szemcse sebessége nagyobb, mint a közegé; látszólagos fajsúlya megnő, és a hatás a $\gamma = \delta$ fajsúlyú közeg helyének elérésében hátráltatja a szemcsét. Ez hátrányos a kúp csúcán távozó termék kis fajsúlyú szemcséktől való megszabadulása szempontjából: az ilyen szemcsék is benne maradnak a termékben.

Ha n pozitív és $\gamma < \delta$, a fal felé elmozduló szemcse sebessége a szlip folytán nagyobb, mint a közegé, a szemcsére viszonylag megnövekedett centrifugális erő hat, ami látszólagos fajsúlyának növekedésével jár, tehát a hatás a szemcsét segíti a $\gamma = \delta$ fajsúlyú közeg helyének elérésében.

Ha n negatív és $\gamma < \delta$ (nehéz szuszpenziós ciklon alsó részében mozog egy nagy fajsúlyú szemcse), a hatás hátráltatja a nagyfajsúlyú szemcsét a nagyobb közegfajsúly helye irányában (a fal felé) való elmozdulásában, ami hátrányos a felső termék nagyfajsúlyú szemcséktől való megszabadítása szempontjából.

A $\delta > \gamma$ szemcséknek a tengelyvonal mentén felfelé áramló kisebb fajsúlyú közegből való eltávozását a tengelyvonal és a $v_{t\max}$ helye ($n < 0$) között hátráltatja, a $v_{t\max}$ helyének túllépése után ($n > 0$) elősegíti a szemcse és közeg tangenciális sebességének szlipje következtében a centrifugális erőben fellépő változás. A közegénél nagyobb fajsúlyú szemcsék eltávozásának $n < 0$ melletti akadályozása előnyként jelentkezik az iszapok „saját lében”, idegen nehéz szuszpenziós anyag hozzáadása nélküli ciklonozásakor. A jelenséggel megmagyarázható, hogy miért találunk a közegénél nagyobb fajsúlyú szemcséket az ilyen ciklonok felső termékében.

2. A ciklonban köröző szemcsék $n \neq 0$ esetében a saját tengelyük körül is pörögnek. Az ilyen szemcsékre a közeg és szemcse eltérő sebessége mellett a Magnus-effektus hat. Ez a közegáramlás irányára és a pörgő szem forgástengelyére merőleges erőhatás abba az irányba mutat, ahol a $\Delta v = v_t - v_s$ relatív közegsebesség iránya a szemcse pörgésirányával megegyezik.

A szemcse pörgését általában a szomszédos közegrészek eltérő tangenciális sebessége okozza. Ilyenkor a szemcsének a tengelyvonal vagy a fal felé való elmozdulását segíti és nem hátráltatja a Magnus-effektus, akár pozitív, akár negatív n tartományban történik az elmozdulás. Csakis a $v_{t\max}$ helyén való áthaladást gátolja a Magnus-effektus, amikor tehát a pozitív n tartományból a negatív n tartományba vagy fordítva, a negatív n értékek helyéről a pozitív n értékek helyére lép át a pörgő szemcse. Az utóbbi eset Magnus-effektusa hatékonyan hozzájárul a nagyobb fajsúlyú szemcséknek a vízves hidrociklonok felső terméként távozó tengelymenti axiális közegáramlásában való visszamaradásához.

A nehéz szuszpenziós hidrociklon kúpjának alján, a negatív n tartományban keringő, a kúp falon való súrlódás miatt vagy egy nagyobb szemcsével történt nem-centrikus ütközés következtében, a szomszédos közegrészek eltérő sebessége okozta pörgésiránnyal ellenkező pörgésre szert tett szemcsék elmozdulását is hátráltatja és nem segíti a Magnus-effektus. Ezáltal pl. hátrányosan akadályozza a kúp fal alján súrlódó $\delta < \gamma$ szemcsének a kúp falról való leszakadását. E kisfajsúlyú szemcse hibás szemként az alsó (nagyfajsúlyú) termékben marad.

3. Ha valamely V térfogatú, δ fajsúlyú szemcse és a γ fajsúlyú közeg sebessége eltér egymástól, a közegben r sugáron köröző szemre ható centrifugális erő

$$C = V \left(\frac{\delta v_s^2}{rg} - \frac{\gamma v_t^2}{rg} \right).$$

A $\Delta v = v_t - v_s$, $z = \Delta v/v_t$, $v_s = (1 - z)v_t$, $a = \delta/\gamma$ értékekkel

$$C = V \frac{v_t^2 \gamma}{rg} [a(1 - z)^2 - 1].$$

A Magnus-effektus

$$M = V \frac{2\gamma}{g} \omega \Delta v.$$

Itt ω a pörgő szemcse szögsebessége: $\omega = dv_t/dr$. De $v_t = v_{t1}(r_1^n/r^n)$ és így

$$\omega = \frac{dv_t}{dr} = \frac{-v_{t1} r_1^n n}{r^{1+n}} = -\frac{nv_t}{r}.$$

Tehát

$$M = -V \frac{v_t^2 \gamma}{rg} \cdot 2zn.$$

Az együttes erőhatás

$$P = C + M = V \frac{v_t^2 \gamma}{rg} [a(1 - z)^2 - 1 - 2nz].$$

A $c = a(1 - z)^2 - 1$, $m = -2nz$, $p = c + m = a(1 - z)^2 - 1 - 2nz$ jelöléssel

$$P = V \frac{v_t^2 \gamma}{rg} (c + m) = V \frac{v_t^2 \gamma}{rg} p.$$

Szlipmentes állapotban, $z = 0$ esetén: $c_0 = a - 1$, $m_0 = 0$, $p_0 (= c_0) = a - 1$, vagyis

$$P_0 = V \frac{v_t^2 \gamma}{rg} (a - 1).$$

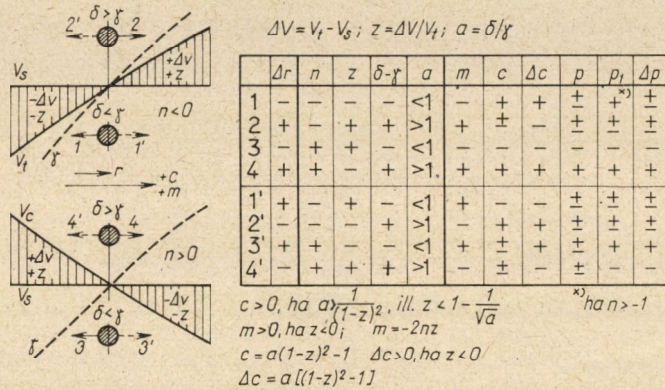
$$\frac{P}{P_0} = \frac{p}{p_0} = \frac{a(1 - z)^2 - 1 - 2nz}{a - 1} = \frac{\delta(1 - z)^2 - \gamma(1 + 2nz)}{\delta - \gamma} = \frac{\delta_z - \gamma_z}{\delta - \gamma},$$

ahol $\delta_z = \delta(1 - z)^2$ és $\gamma_z = \gamma(1 + 2nz)$ a z szlip esetében érvényre jutó korrigált fajsúlyok.

$a = 1$ esetén $c_1 = (1 - z)^2 - 1 = z(z - 2)$, $m_1 = -2nz$, $p_1 = z[z - 2(1 - n)]$, vagyis

$$P_1 = V \frac{v_t^2 \gamma}{rg} z [z - 2(1 - n)].$$

P_1 megadja a nehéz szuszpenziós ciklonban $a = 1$ (vagyis $\gamma = \delta$) helyén köröző szemcsére a z szlip fellépése esetén ható erő nagyságát, amely a δ fajsúlyú szemcse egyensúlyi helyzetét a $\gamma < \delta$ vagy $\gamma > \delta$ zagyfajsúlyok irányá-



1. ábra

ban módosítja. Pozitív p vagy P értékek a tengelyvonaltól a ciklonfal felé (vagyis a növekvő γ zagyfajsúlyok felé) irányuló erőhatást képviselnek. Pozitív p_1 érték esetén tehát az egyensúlyi helyzet $\gamma > \delta$ felé tolódik el: a nehéz szuszpenzió γ fajsúlyánál kisebb δ fajsúlynál történik a szilárd szemcsék szeparálása. Negatív p_1 érték esetén pedig fordítva: a szeparálás δ fajsúlya nagyobb, mint a szuszpenzió γ fajsúlya.

$$\Delta p = p - p_0 = a(1 - z)^2 - 1 - 2nz - a + 1 = a[(1 - z)^2 - 1] - 2nz = \Delta c + \Delta m,$$

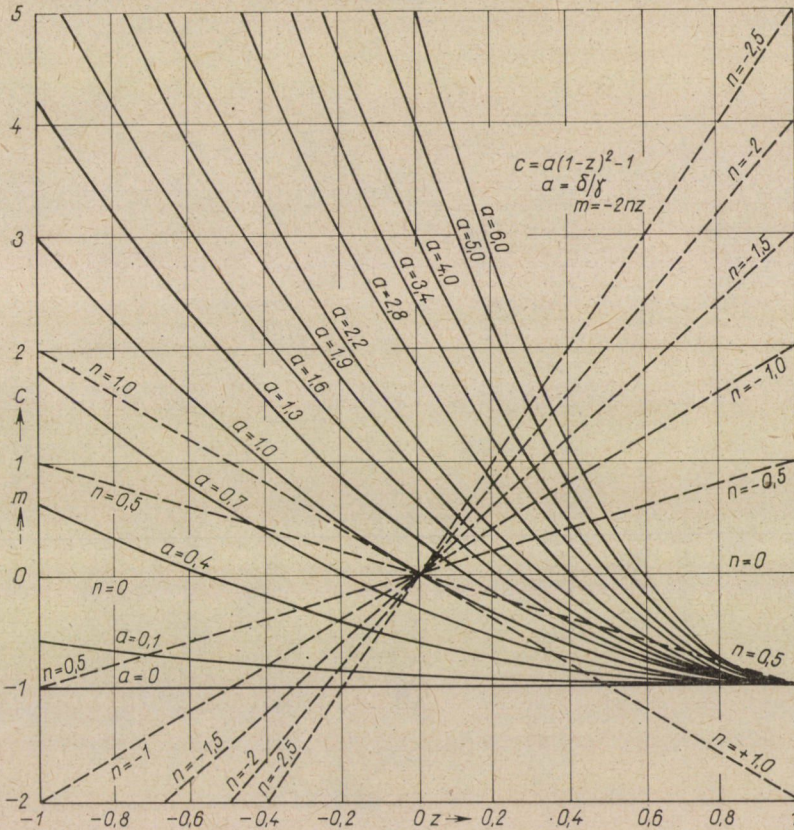
$$\Delta c = c - c_0 = a(1 - z)^2 - 1 - a + 1 = a[(1 - z)^2 - 1] = ac_1,$$

$$\Delta m = m - m_0 = -2nz \text{ és}$$

$$\Delta P = V \frac{v_t^2 \gamma}{rg} \Delta p.$$

ΔP a z szlip esetében fellépő és a szlipmentes ($z = 0$, $v_s = v_t$) esetben jelentkező erőhatás különbségét mutatja. Pozitív Δp a tengelyvonaltól a ciklonfal felé mutató erőhatást képvisel.

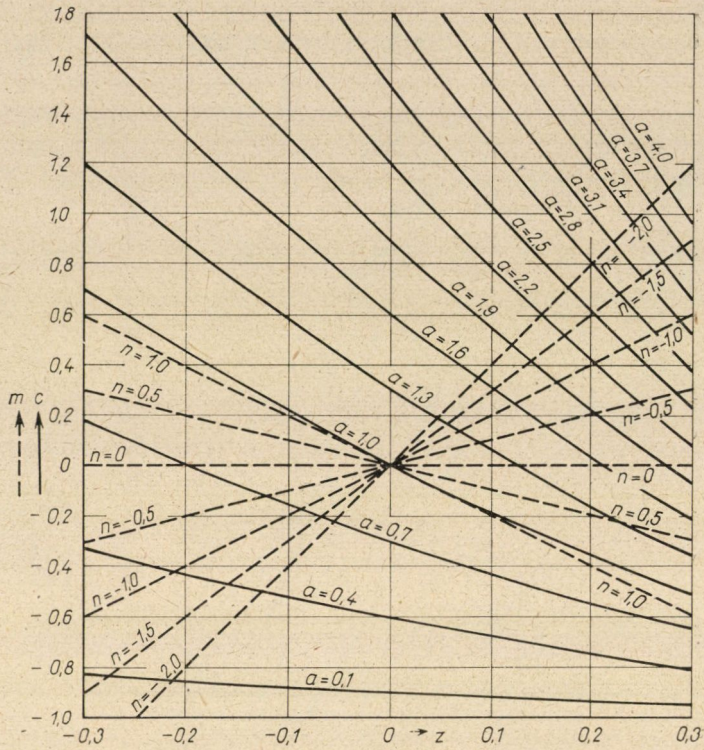
Az 1. ábra az n , z és a (ill. $\delta - \gamma$) értékek lehetséges változatait tünteti fel, az ábra melletti táblázat pedig a megfelelő m , c , Δc , p , p_1 és Δp értékek irányát közli. A pozitív értékek jelzik a tengelyvonaltól a ciklonfal felé mutató irányt. Megfigyelhető a táblázatban, hogy a szemese Δr elmozdulásának irányával mindenkor megegyezik az m iránya (előjelek azonosak). A Magnus-effektus tehát mindig támogatja és sohasem hátráltatja a szemese elmozdulását, ha annak pörgését a koaxiális közegrészek sebességkülönbsége okozta.



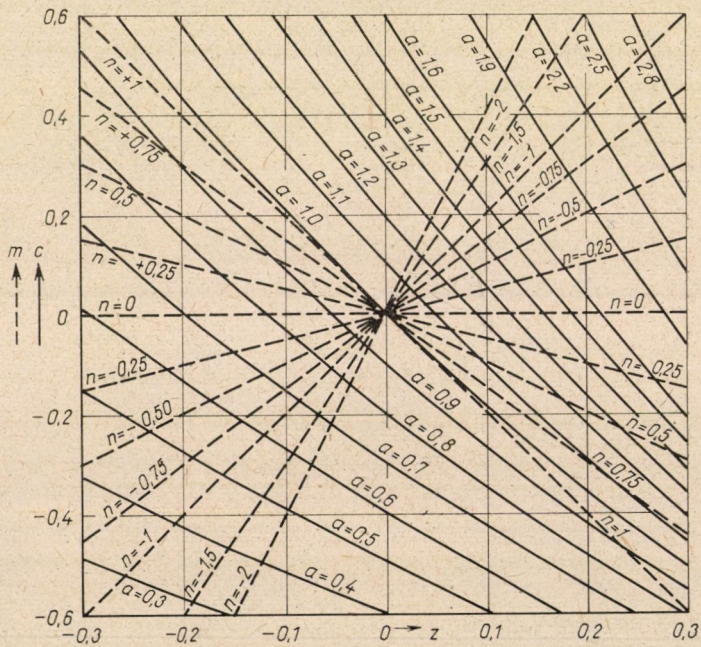
2. ábra

A 2., 3. és 4. ábra — különböző léptékek mellett — az m és c értékek alakulását; az 5. ábra a c_1 és $e = m/n$ alakulását; a 6. ábra a $\delta_z/\delta = (1 - z)^2$ és $\gamma_z/\gamma = 1 + 2nz$ változását; a 7. ábra a Δc és Δm értékek alakulását, a 8. ábra pedig a p_1 érték változását mutatja a z függvényében. A 9. és 10. ábra a különböző z szliphez tartozó p_1 értékek változását n függvényében ábrázolja.

$C/c = M/m = P/p = P_0/p_0 = \Delta P/\Delta p = \dots = V v_i^2 \gamma / rg$. A szemésekre ható erőket tehát a kis betűkkel jelölt c , m , p stb. értékeknek $V v_i^2 \gamma / rg$ -vel való szorzata szolgáltatja. Vagyis az erőhatások nagysága arányos V szemcsetérfogattal



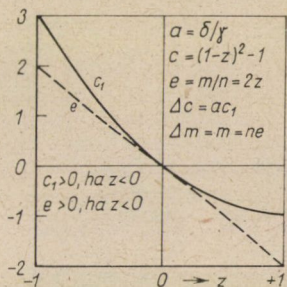
3. ábra



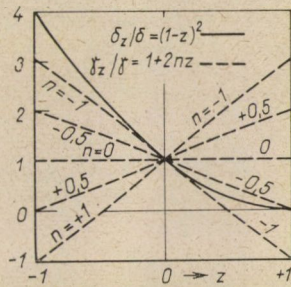
4. ábra

(azaz a d szemmagyság harmadik hatványával), γ zagyfajsúllyal és a közeg v_t^2/r centrifugális gyorsulásával. Durvább szemek (nagy V) nehéz szuszpenziós hidrociklonos dústításakor (nagy γ) tehát nagyobb erőhatások jelentkeznek a szlip fellépésekor, mint finom szemcsék tiszta vízben való hidrociklonozásakor (osztályozó, iszaptalanító hidrociklonokban). A

$$v_t^2/r = \frac{v_{t1}^2}{r} \left(\frac{r_1}{r}\right)^{2n}$$



5. ábra



6. ábra

érték — pozitív n esetén — kis r értékeknél, tehát a tengelyvonál közelében nagy (v_{tmax} helyén a legnagyobb). v_{tmax} rendszerint az örvénykereső cső sugarának 0,6—0,8-szerese helyén jelentkezik. v_{tmax} helyén n értéke pozitívról negatívra vált át, és itt M iránya a Δr elmozdulás irányával ellentétes: a Magnus-effektus hátráltatja és nem támogatja a szemese mozgását! v_t^2/r értéke $r = r_1/10$ sugáron $n = -1, -0,5, 0, 0,5, 1$ mellett rendre 0,1—1—10—100—1000-szer nagyobb, mint r_1 sugáron. A 11. ábra v_t^2/r változását r/r_1 függvényében, különböző v_{t1} belépő sebességek mellett (logaritmikusság léptékben) mutatja.

4. A szemcsére ható aktív

$$P = V \frac{v_t^2}{rg} p$$

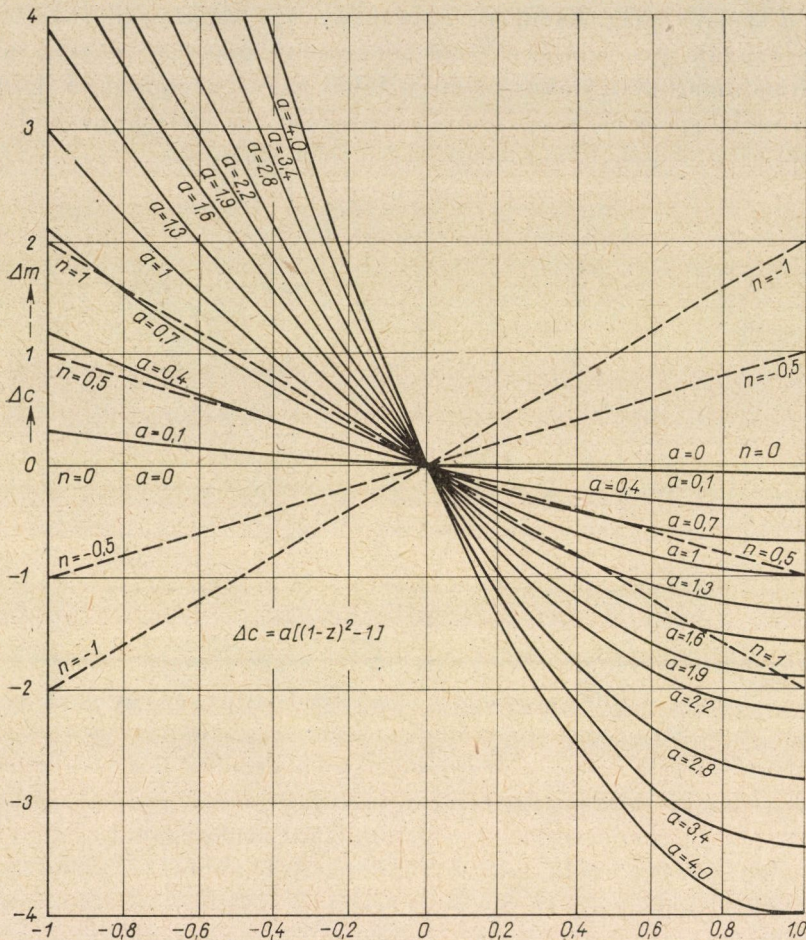
erővel szemben a szemcsének a közegben való relatív mozgásakor a közegenállás jelentkezik. Ennek értéke — ha a szemcse a ciklonban az egyensúlyi helyzetének megfelelő sugáron kering — lamináris áramlási viszonyok mellett, vagyis kis Reynolds-számoknál ($Re < 1$)

$$S = 3 \eta K v_r.$$

Turbulens áramlásra jellemző nagy Reynolds-számoknál ($Re > 800$)

$$N \approx \frac{0,43 F}{2g} v_r^2,$$

ahol K a szemcse súlypontján átfektetett síknak és a szemcse felületének



7. ábra

metszévonal, F a szemcse keresztmetszete, v_r a közegsebesség radiális komponense az r helyen. Gömb esetén $V = d^3\pi/6$, $K = d\pi$, $F = d^2\pi/4$; kocka esetén $V = d^3$, $K = 4d$, $F = d^2$.

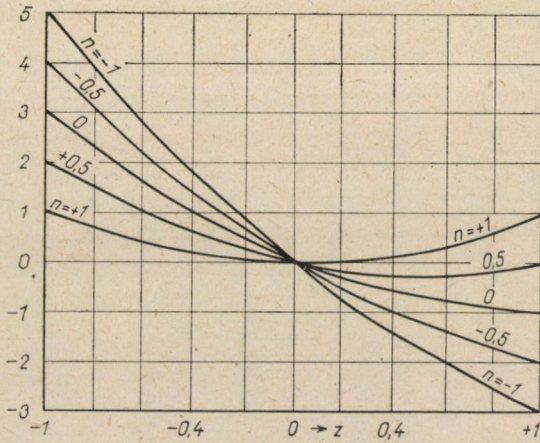
Az egyensúlyi helyzetben keringő szemcse nagyságát kis Reynolds-számoknál $P = S$, nagy Reynolds-számoknál $P = N$ egyenletekből határozhatjuk meg.

Ha $Re < 1$, $P = S$, vagyis

$$\frac{d^3 \pi}{6} \frac{v^2 \gamma}{rg} p = 3\pi\eta dv_r,$$

amiből

$$d = \sqrt{\frac{18 \eta g v_r}{\gamma p v_i^2}}.$$



8. ábra

Ha $Re > 800$, $P = N$, vagyis

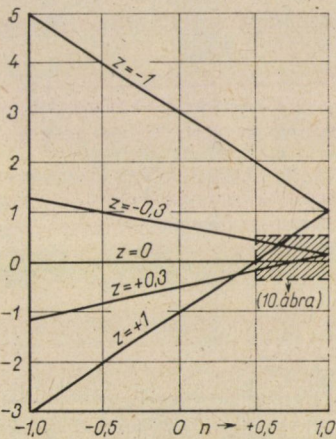
$$\frac{d^3 \pi}{6} \frac{v_r^2 \gamma}{rg} p = \frac{0,43 \pi \gamma d^2 v^2}{8g}$$

amiből

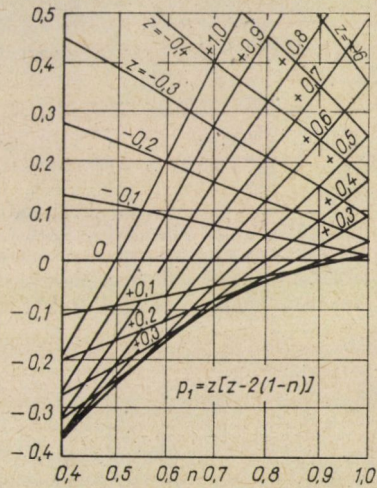
$$d = \frac{0,16 r v_r^2}{p v_r^2}$$

Itt $p = a(1 - z)^2 - 1 - 2nz$. Ha $z = 0$, $p = p_0 = a - 1$. A z szliphez tartozó d és a $z = 0$ melletti d_0 egyensúlyi szemmagyságok hányadosa tehát kis Re értékeknél

$$d/d_0 = \sqrt{p_0/p} = \sqrt{\frac{\delta - \gamma}{\delta_z - \gamma_z}}$$



9. ábra



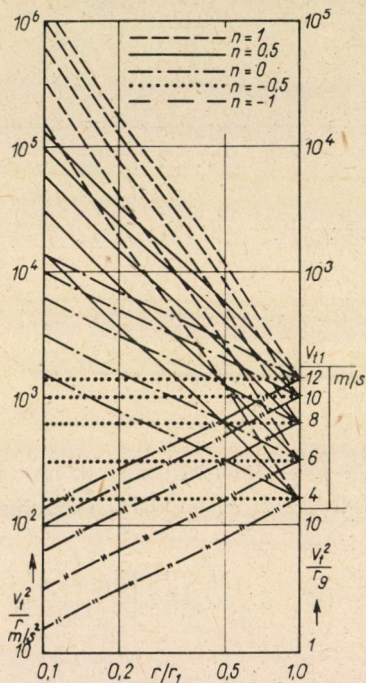
10. ábra

nagy Re értékeknél

$$d/d_0 = p_0/p = \frac{\delta - \gamma}{\delta_z - \gamma_z} ; [\delta_z = \delta(1-z)^2, \gamma_z = \gamma(1+2nz)].$$

Szám példa. $z = +0,2$ és $n = +0,5 - 0,6 - 0,7$ mellett $(1-z)^2 = 0,64$, $1+2nz = 1,20 - 1,24 - 1,28$. Legyen $\gamma = 1$, $\delta = 2$, akkor $n = +0,5$ mellett

$$\frac{\delta - \gamma}{\delta_z - \gamma_z} = \frac{2-1}{1,28-1,2} = \frac{1}{0,08} = 12,5;$$



II. ábra

$n = 0,6$ mellett $1/0,04 = 25$; $n = 0,7$ mellett ∞ . Nagy Re értékeknél tehát $n = 0,5$ esetén 12,5-szer, $n = 0,7$ esetén ∞ -szer nagyobbak a $z = +0,2$ -höz és az $a = 2$ -höz tartozó egyensúlyi szem nagyságok, mint szlipmentes állapotban. $n > 0,7$ mellett $\delta_z - \gamma_z < 0$, ami azt jelenti, hogy ilyenkor szlipmentes állapotban a $\gamma = 1$ fajsúlyú közegben egy bizonyos sugáron egyensúlyban keringő bármilyen aprószemű, $\delta = 2$ fajsúlyú szemcse helyén az igen nagy (∞ -szer nagyobb) 2 fajsúlyú szemek sem maradhatnak meg $z = 0,2$ szlip esetén egyensúlyban, hanem sugárirányban a ciklon tengelye felé elmozdulnak.

$z = -0,2$ és $n = +0,5 - 0,6 - 0,7$ esetén $(1-z)^2 = 1,44$ és $1+2nz = 0,8 - 0,76 - 0,72$, vagyis $\delta_z - \gamma_z < 0$ és $\delta = 2$ esetében —

$$p_0/p = \frac{\delta - \gamma}{\delta_z - \gamma_z} = 0,480 - 0,471 - 0,463.$$

A p/p_0 reciprok értéke sorra 2,08—2,12—2,16. Vagyis ha Re nagy, úgy a szlipmentes állapotban valamely sugáron egyensúlyban keringő szemcse nagyságoknál ennyiszor kisebb szemcsék keringenek $z = -0,2$ esetén a kérdéses sugáron egyensúlyban; ha viszont Re értéke kicsiny, úgy a szemcsék csökkentési tényezője a p/p_0 értékek négyzetgyöke, tehát 1,44—1,46—1,47.

A p/p_0 hányados nemcsak az egyensúlyi szemcsenagyságok viszonyát, hanem az azonos nagyságú ($V = \text{konstans}$) szemcsékre a hidrociklonban z szlip esetén és szlipmentes állapotban ható erők viszonyát is megadja. Így pl. $z = -0,2$ és $n = +0,5$ mellett bármely szemcsére 2,08-szor nagyobb erőhatás jelentkezik, mint a ciklon ugyanazon helyén szlipmentes állapotban.

A $p = a(1 - z)^2 - 1 - 2nz = 0$ egyenletből

$$a_0 = \delta/\gamma = \frac{1 + 2nz}{(1 - z)^2}$$

értékre jutunk. Így például, ha $z = +0,2$ és $n = +0,5 - 0,6 - 0,7 - 1,0$, akkor $a_0 = \delta/\gamma$ értéke rendre 1,875—1,938—2,00—2,19. A nehéz szuszpenzió γ fajsúlyánál ennyiszor nagyobb fajsúlyú szemek lesznek a γ fajsúlyú szuszpenzióban $z = +0,2$ szlip mellett egyensúlyban, a szlipmentes állapot $\delta = \gamma$ fajsúly helyett. $z = -0,2$ szlip esetén viszont $n = 0,5 - 0,6 - 0,7 - 1,0$ mellett $a_0 = \delta/\gamma$ értéke rendre 0,555—0,527—0,416, tehát egy $\gamma = 2,6$ fajsúlyú szuszpenzióban $\delta = 1,44 - 1,37 - 1,30 - 1,08$ fajsúlynál következik be a szilárd szemek szétválasztása, a szlipmentes állapothoz tartozó $\delta = \gamma = 2,6$ fajsúly helyett.

II.

A szilárd szemcsék mértékadó térfogatát és fajsúlyát a felületükön megtapadó közeg módosítja. Ez elenyészően csekély hatása a durvább szemcséknél, de nem hanyagolható el a finom szemcséknél. Ha a szemcse felülete nem sima, hanem egyenetlen: kiugró sarkai, betüremkedő hézagai vannak, különösen jelentős lehet a finom szemcsék felületén megtapadó közeg befolyása. Ha a δ fajsúlyú, d szemcsenagyságú szemcse térfogata V , és a felületéhez l vastagságú (ΔV térfogatú) közeg tapad, a szemcse „mértékadó” térfogata

$$V' = V + \Delta V,$$

ahol

$$V = ad^3,$$

$$V' = a(d + 2l)^3 = a d^3 \left(1 + \frac{2l}{d}\right)^3 = V(1 + k)^3;$$

$$\delta' = \frac{V\delta + \Delta V\gamma}{V'} = \frac{\delta + [(1 + k)^3 - 1]\gamma}{(1 + k)^3},$$

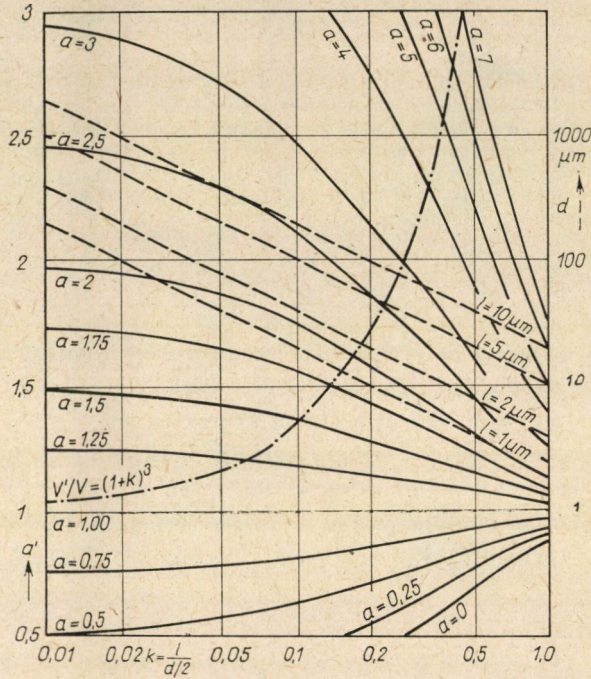
ill.

$$a' = \delta'/\gamma = \frac{a + (1 + k)^3 - 1}{(1 + k)^3} = 1 + \frac{a - 1}{(1 + k)^3}.$$

A 12. ábra mutatja a $V'/V = (1 + k)^3$ és az a' értékek változását $k = 2l/d$ függvényében. Ha a különböző szemcséken megtapadó közegréteg vastagsága (l) konstans, $kd = 2l = \text{konstans}$, vagyis a különböző szemcsék k értéke a d szemcsenagysággal fordítva arányos. A 12. ábrán szaggatott vonalú egyenesek $l = 1 - 2 - 5 - 10 \mu\text{m}$ esetén mutatják a d és k közötti összefüggést.

Például $d = 100 \mu\text{m}$ szemcsére $l = 1 \mu\text{m}$ esetén $k = 0,02$, $V' = 1,06 V$; $l = 2 \mu\text{m}$ esetén $k = 0,04$, $V' = 1,12 V$; $l = 5 \mu\text{m}$ esetén $k = 0,1$, $V' = 1,37 V$; $l = 10 \mu\text{m}$ esetén $k = 0,2$, $V' = 1,73 V$; $d = 10 \mu\text{m}$ szemcsére $l = 1 \mu\text{m}$ esetén $k = 0,2$, $V' = 1,73 V$; $l = 2 \mu\text{m}$ esetén

$k = 0,4$, $V' = 2,74 V$; $l = 5 \mu\text{m}$ esetén $k = 1,0$, $V' = 8,0 V$, $l = 10 \mu\text{m}$ esetén $k = 2$, $V' = 27 V$. Vagyis a szemcsenagyság csökkenésével V'/V érték rohamosan nő. $a' = \delta'/\gamma$ értéke (vagy $a'/a = \delta'/\delta$ értéke) a szemnagyság csökkenésével (k növekedésével) erősen változik ($\delta > \gamma$ esetében csökken, $\delta < \gamma$ esetében nő), ha $\delta - \gamma$ (vagy $a = \delta/\gamma$) értéke nagy, de nem, vagy alig változik, ha $\delta \cong \gamma$ (ill. $a \cong 1$).



12. ábra

A szemcsék felületén megtapadó közezhártya esetében a

$$P = V \frac{v_i^2 \gamma}{rg} [a(1-z)^2 - 1 - 2nz] = V \frac{v_i^2 \gamma}{rg} p$$

képlet helyett a

$$P' = V' \frac{v_i^2 \gamma}{rg} [a'(1-z)^2 - 1 - 2nz] = V' \frac{v_i^2 \gamma}{rg} p'$$

képlet adja a szemcsére ható erőt. Mivel $a' < a$, $p' < p$. Ha p negatív, p' abszolút értéke nagyobb, mint p abszolút értéke, ekkor tehát V' is, a negatív p' is nő, és a negatív (a tengelyvonal felé mutató) P' hatványozottan nő a P értékhez képest. Különösen jelentős mértékű az erőhatás növekedése a finom szemcsékre, ahol V'/V is és — ha $\delta - \gamma$ nagy — a'/a is erősen eltér 1-től. Pozitív p értékek mellett a felületi közeztapadás V értékét növeli, de p értékét csökkenti (annál inkább, minél nagyobb a), V és p változása tehát ilyenkor ellentétes irányú és többé-kevésbé kiegyenlíti egymást.

III.

A szemcsék mértékadó térfogata és fajsúlya nemcsak a felületen megtapadó folyékony közeg, hanem a nyomásesés hatására a vízből „in statu nascendi” kiváló levegő megtapadása következtében is megváltozhat a hidrociklonban. A levegőkiválás bekövetkezik, ha a ciklonba belépő nagyobb nyomású víz több levegőt tartalmaz oldva, mint amennyi a ciklonból távozó zagy nyomásának (1 atm) megfelelő telített víz maximális oldott levegőtartalma. Különböző hőfokon a víz 1 ata (760 Hg mm) esetén a következő levegőmennyiségeket (Q mg/l) képes oldatban tartani:

t, C°	0	5	10	15	20	25	30
$Q, \text{mg/l}$	37,2	33,0	29,4	26,5	24,3	22,3	20,9

Az oldott levegő maximális mennyisége a nyomással arányosan változik.

Pl. 15 °C-os vízben 2 ata nyomáson $2 \cdot 26,5 = 53,0$ mg/l, 3 ata nyomáson $3 \cdot 26,5 = 79,5$ mg/l oldott levegő van a „telített” vízben. Ha a nyomás pl. 3 ata-ról 1 ata-ra csökken, az oldott levegőre telített 15 °C-os vízből $79,5 - 26,5 = 53,0$ mg/l levegő finom buborékok alakjában kiválik.

Ha hidrofob ásvány szemek (pl. szénszemcsék) is vannak a vízben, a folyadékból kiváló gázbuborékok zöme ezek felületén fog kicsapódni. Hidrofob és hidrofil szemcsék keverékét tartalmazó zagyban az in statu nascendi keletkező légbuborékok szelektíven a hidrofob szemcsék felületén válnak ki, ezek mértékadó fajsúlyát csökkentve és térfogatát növelve.

Ha a V térfogatú szilárd szemcse felületéhez V_1 térfogatú levegő tapad, a szemcse mértékadó térfogata $V' = V + V_1$ és fajsúlya $\delta' = \delta V / (V + V_1)$ lesz. $b = V_1 / V$ jelöléssel $V' = V(1 + b)$ és $\delta' = \delta / (1 + b)$, ill. $a' = a / (1 + b)$ ($a' = \delta' / \gamma$, $a = \delta / \gamma$.) Tehát $V' / V = a' / a = 1 + b$. Feltehetjük, hogy az azonos hidrofóbiájú szemek felületegységén azonos mennyiségű levegő válik ki. A d szemnagyságú szemcse térfogata $V = ad^3$, felülete $F = \beta d^2$; azonos hidrofóbiájú szemcsékre $V_1 = \varepsilon F = \zeta d^2$, vagyis $b = k' / d$. Tehát b értéke — azonos határszögű szemek esetében — fordítva arányos a szemnagysággal. A k' tényező a szilárd szemek hidrofóbiájával arányos. Hidrofil szemekre $k' \cong 0$. A 13. ábra $1 + b$ változását b függvényében mutatja, a 14. ábra b és $1 + b$ változását — különböző k' értékekre — d függvényében mutatja.

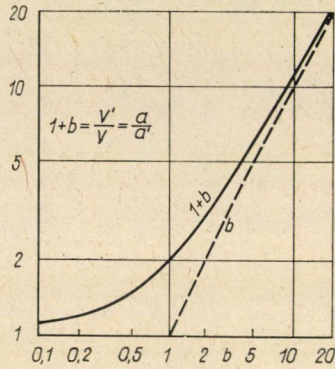
$V' > V$, $a' < a$, ugyanúgy, mint a felületi folyadékréteg megtapadása esetén. Ugyhogy az ott tett megállapítások a légbuborék tapadás esetében is érvényesek. Vagyis P' hatványozottan nő, ha p negatív, kisebb mértékben változik, ha p pozitív; a finom szemcsékre nagymérvű, a durvább szemekre elhanyagolható mértékű a folyadékból in statu nascendi kiváló légbuborék-tapadás hatása. Továbbá: hidrofil szemcséken nem válik ki buborék, hidrofob szemcséken a hidrofob sajátsággal arányos mértékben válik ki buborék; azonos hidrofóbiájú, különböző nagyságú szemcsék térfogategységére eső fajlagos levegőtapadás a szemnagysággal fordítva arányos.

A hidrociklonban a statikus nyomás változásának differenciálegyenlete

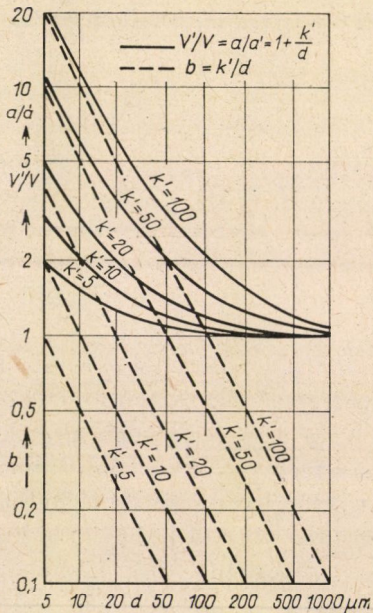
$$dp = \frac{\gamma v^2}{gr} dr = \frac{\gamma v_1^2 r_1^{2n}}{gr^{1+2n}} dr.$$

Ha a γ a sugárral nem változik, a statikus nyomás csökkenése

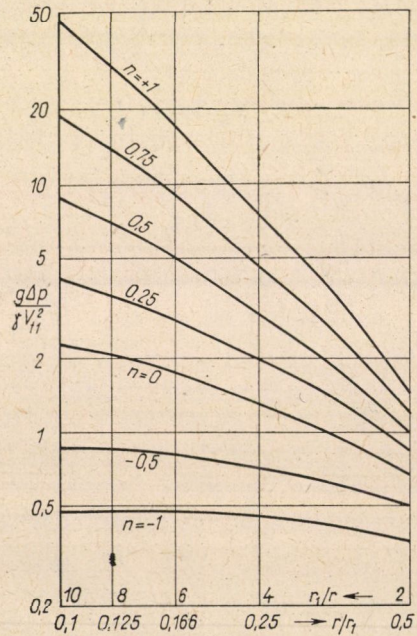
$$\Delta p = p_1 - p = \frac{\gamma v_1^2}{2gn} \left[\left(\frac{r_1}{r} \right)^{2n} - 1 \right],$$



13. ábra



14. ábra

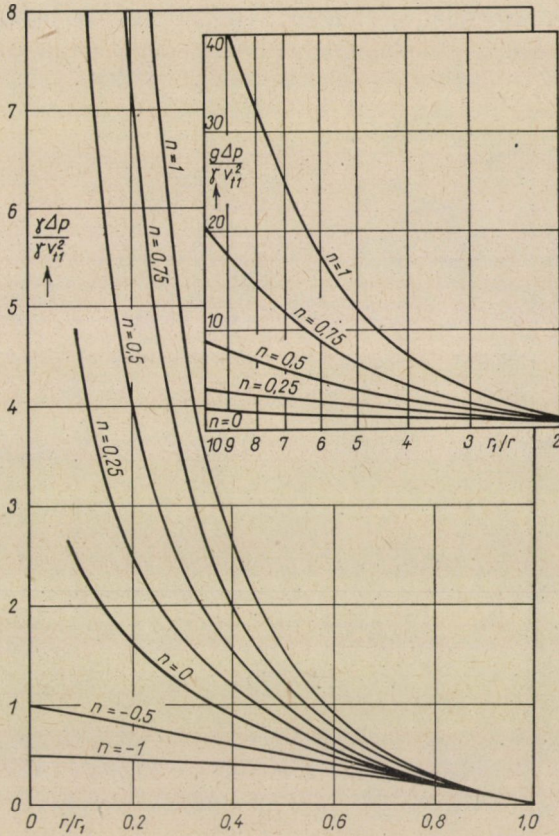


15. ábra

ill. $n = 0$ esetére

$$\Delta p = \frac{\gamma v_{t1}^2}{g} \ln \frac{r_1}{r} .$$

A 15. és 16. ábra r_1/r ill. r/r_1 függvényében $\Delta p/gv_{t1}^2\gamma$ érték, tehát $(1/2n)[(r_1/r)^{2n} - 1]$, ill. $\ln(r_1/r)$ változását mutatja. A 17. ábrán $\Delta p\%$ alakulását látjuk külön-



16. ábra. (Az ordináta törtje helyesen: $g\Delta p/\gamma v_{t1}^2$)

böző r_1/r_0 és n értékekre

$$y = 100 \frac{r - r_0}{r_1 - r_0} \%$$

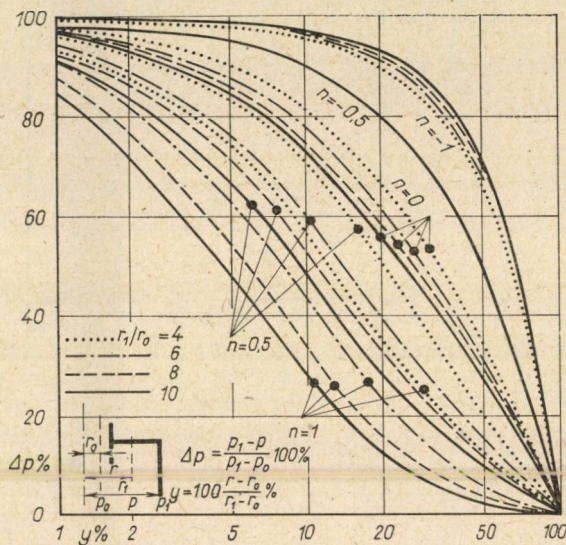
függvényében. Ha p ata abszolút nyomást jelöl, úgy

$$\Delta p = 100 \frac{p_1 - p}{p_1 - 1} ,$$

ha p att viszont túlnyomást jelent, akkor

$$\Delta p = 100 \frac{p_1 - p}{p_1} .$$

r_0 sugáron a nyomás az r_1 sugáron jelentkező p_1 -ről a külső atmoszféra nyomására csökken. A 15—17. ábrákon látható, hogy pozitív n értékek esetén a sztatikus nyomáscsökkenés túlnyomó nagy része a hidrociklon belső magja környékén, kis r/r_1 értékeknél jelentkezik. A hidrociklon külső részében, a nagy r/r_1 értékek területén — még ha a belépő zagy telített is oldott levegővel — csak egész kevés légbuborék válik ki ekkor a vízből, a buborékok zöme a hidrociklon tengelymenti magjában, a nagy nyomáscsökkenés helyén keletkezik. Ha a belépő zagy nincsen telítve oldott levegővel, a légbuborékok kiválása



17. ábra

csak ott indul meg, ahol a zagy sztatikai nyomása a telített víz nyomására csökken.

Ha a ciklonba pl. 2 att (3 ata) nyomással belépő 15°C hőfokú zagy az I. táblázat első oszlopában látható Q mg/l oldott levegőmennyiségeket tartalmazza, a levegőkiválás ott indul meg, ahol a Q mg/l oldott levegő mennyiségnek megfelelő telített állapot bekövetkezik, tehát ahol a nyomás $p_t = 3Q/79,5$ ata értékre csökken, azaz ahol a nyomáscsökkenés $\Delta p\% = 100 \frac{3 - p_t}{3 - 1}$ túllépi. E nyomáscsökkenésekhez — a 17. ábra szerint — pl. $r_1/r_0 = 8$ mellett az I. táblázatban látható $y\%$, ill. $\Delta y\%$, értékek tartoznak. $\Delta V\%$ a Δy értékekhez tartozó ciklontérfogatok százalékos nagyságát mutatja, ha a ciklon hengeres részének magassága (h_1) a ciklon r_1 sugarával egyenlő, és a ciklon fél kúpszögének tangense $\text{tg } \alpha = 0,2$ ($\alpha = 11^\circ 17'$).

$$r_1/r_0 = 8$$

I. táblázat

Q, mg/l	Pr. ata	$\Delta p, \%$		$n = -1$			$n = -0,5$			$n = 0$			$n = 0,5$			$n = 1$		
		Σ	Δ	y, %	$\Delta y, \%$	$\Delta V, \%$	y, %	$\Delta y, \%$	$\Delta V, \%$	y, %	$\Delta y, \%$	$\Delta V, \%$	y, %	$\Delta y, \%$	$\Delta V, \%$	y, %	$\Delta y, \%$	$\Delta V, \%$
79,5	3,0	0	18	100	10,0	1,5	100	14,0	4,5	100	33,0	20,9	100	64,5	50,3	100	82,6	84,8
70	2,64	18	19	90	14,0	10,3	86	23,5	21,8	67	29,0	39,9	35,5	18,5	30,3	17,4	8,8	8,8
60	2,26	37	18,5	76	14,0	15,1	62,5	19,3	25,4	38	16,3	19,1	17,0	8,1	10,1	8,6	4,0	3,3
50	1,89	55,5	19	62	18,4	24,1	43,2	18,7	24,8	21,7	11,7	12,4	8,9	4,7	4,7	4,6	2,4	1,7
40	1,51	74,5	9,5	43,6	11,2	15,5	24,5	8,5	9,8	10,0	4,2	3,6	4,2	1,9	1,8	2,2	0,9	0,6
35	1,32	84	9,5	32,4	15,0	18,3	16,0	8,6	8,3	5,8	3,6	2,7	2,3	1,4	1,4	1,3	0,7	0,4
30	1,13	93,5	6,5	17,4	17,4	15,2	7,4	7,4	5,4	2,2	2,2	1,4	0,9	0,9	1,4	0,6	0,6	0,4

II. táblázat

Q	$\Delta p, \%$	ΔQ	$\Delta p, \%$	ΔQ	$\Delta p, \%$	ΔQ	$\Delta p, \%$	ΔQ	$\Delta p, \%$	ΔQ	$\Delta p, \%$	ΔQ	$\Delta p, \%$	ΔQ
79,5	18	14,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70	19	15,1	23,1	16,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	18,5	14,7	22,6	15,8	29,4	17,6	—	—	—	—	—	—	—	—
50	19	15,1	23,2	16,3	30,1	18,0	42,7	21,3	—	—	—	—	—	—
40	9,5	7,5	11,6	8,1	15,1	9,1	21,4	10,7	37,3	14,9	—	—	—	—
35	9,5	7,6	11,6	8,1	15,1	9,1	21,3	10,7	37,3	14,9	59,4	20,8	—	—
30	6,5	5,2	7,9	5,5	10,3	6,2	14,6	7,3	25,3	10,2	40,6	14,2	100	30
	100	79,5	100	70	100	60	100	50	100	40	100	35	100	30

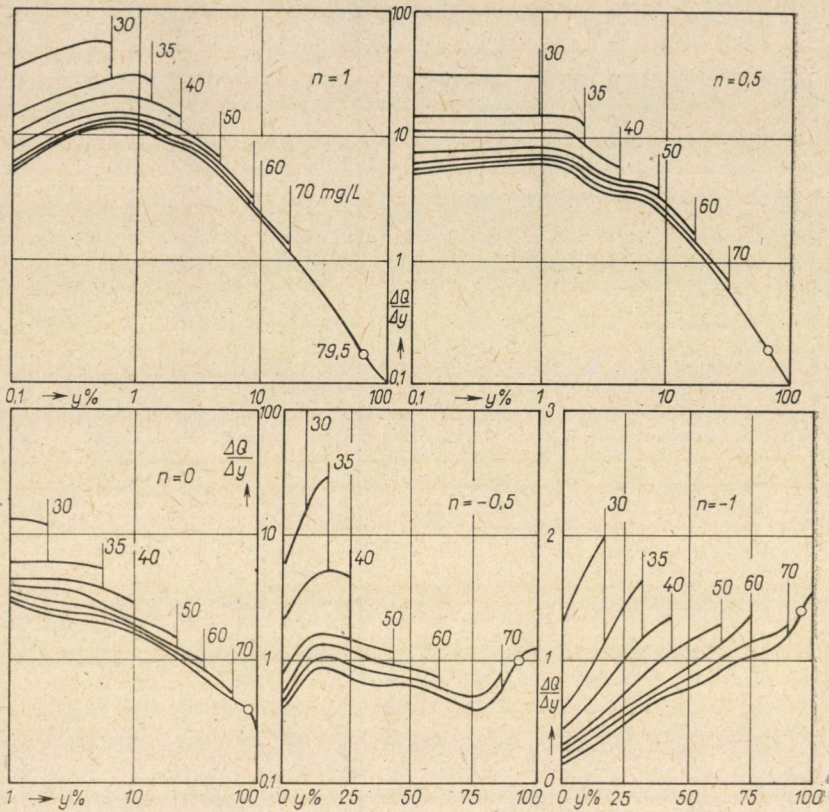
III. táblázat

y	Δy	$\Delta Q/\Delta y, ha n = -1$								$\Delta Q/\Delta V, ha n = -1$							
100	10,0	1,4	—	—	—	—	—	—	9,5	—	—	—	—	—	—		
90	14,0	1,1	1,2	—	—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—	—		
76	14,0	1,0	1,1	1,3	—	—	—	—	1,0	1,0	1,2	—	—	—	—		
62	18,4	0,8	0,9	1,0	1,2	—	—	—	0,6	0,7	0,8	0,9	—	—	—		
43,6	11,2	0,7	0,7	0,8	1,0	1,3	—	—	0,5	0,5	0,6	0,7	1,0	—	—		
32,4	15,0	0,5	0,5	0,6	0,7	1,0	1,4	—	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	1,1	—		
17,4	17,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,8	1,7	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	2,0		
y	Δy	$\Delta Q/\Delta y, ha n = -0,5$								$\Delta Q/\Delta V, ha n = -0,5$							
100	14,0	1,0	—	—	—	—	—	—	3,2	—	—	—	—	—	—		
86	23,5	0,6	0,7	—	—	—	—	—	0,7	0,7	—	—	—	—	—		
62,5	19,3	0,8	0,8	0,9	—	—	—	—	0,6	0,6	0,7	—	—	—	—		
43,2	18,7	0,8	0,9	1,0	1,1	—	—	—	0,6	0,7	0,7	0,9	—	—	—		
24,5	8,5	0,9	1,0	1,1	1,2	1,7	—	—	0,8	0,8	0,9	1,1	1,5	—	—		
16,0	8,6	0,9	1,0	1,1	1,2	1,7	2,4	—	0,9	1,0	1,1	1,3	1,8	2,5	—		
7,4	7,4	0,7	0,7	0,8	1,0	1,4	1,9	4,0	1,0	1,0	1,2	1,4	1,9	2,6	5,5		
y	Δy	$\Delta Q/\Delta y, ha n = 0$								$\Delta Q/\Delta V, ha n = 0$							
100	33,0	0,4	—	—	—	—	—	—	0,7	—	—	—	—	—	—		
67	29,0	0,5	0,6	—	—	—	—	—	0,4	0,4	—	—	—	—	—		
38	16,3	0,9	1,0	1,1	—	—	—	—	0,8	0,8	0,9	—	—	—	—		
21,7	11,7	1,3	1,4	1,5	1,8	—	—	—	1,2	1,3	1,5	1,7	—	—	—		
10,0	4,2	1,8	1,9	2,2	2,5	3,5	—	—	2,1	2,3	2,5	3,0	4,1	—	—		
5,8	3,6	2,1	2,3	2,5	3,0	4,1	5,8	—	2,8	3,0	3,4	4,0	5,5	7,8	—		
2,2	2,2	2,4	2,5	2,8	3,3	4,6	6,5	13,6	3,7	3,9	4,4	5,2	7,3	10,1	21,4		
y	Δy	$\Delta Q/\Delta V, ha n = 0,5$								$\Delta Q/\Delta y, ha n = 0,5$							
100	64,5	0,2	—	—	—	—	—	—	0,3	—	—	—	—	—	—		
35,5	18,5	0,8	0,9	—	—	—	—	—	0,5	0,5	—	—	—	—	—		
17,0	8,1	1,8	2,0	2,2	—	—	—	—	1,5	1,6	1,7	—	—	—	—		
8,9	4,7	3,2	3,5	3,8	4,5	—	—	—	3,2	3,5	3,8	4,5	—	—	—		
4,2	1,9	3,9	4,3	4,8	5,6	7,8	—	—	4,2	4,5	5,1	6,0	8,3	—	—		
2,3	1,4	5,4	5,8	6,5	7,7	10,6	14,8	—	5,4	5,8	6,5	7,6	10,6	14,9	—		
0,9	0,9	5,8	6,1	6,9	8,1	11,3	15,8	33,3	3,7	3,9	4,4	5,2	7,3	10,1	21,4		

y	Δy	$\Delta Q/\Delta y$, ha n = 1								$\Delta Q/\Delta V$, ha n = 1						
		100	82,6	0,17	—	—	—	—	—	—	—	0,17	—	—	—	—
17,4	8,8	1,7	1,8	—	—	—	—	—	—	1,7	1,8	—	—	—	—	—
8,6	4,0	3,7	4,0	4,4	—	—	—	—	—	4,4	4,8	5,3	—	—	—	—
4,6	2,4	6,3	6,8	7,5	8,9	—	—	—	—	8,9	9,6	10,6	12,5	—	—	—
2,2	0,9	8,3	9,0	10,0	12,0	16,5	—	—	—	12,5	13,5	15,2	17,8	24,8	—	—
1,3	0,7	10,8	11,6	13,0	15,3	21,3	29,7	—	—	19,0	20,3	22,8	26,7	37,3	52,0	—
0,6	0,6	8,7	9,2	10,3	12,2	17,0	23,0	50,0	—	13,0	13,7	15,5	18,3	25,5	35,5	75,0
	Q =	0,795	0,7	0,6	0,5	0,4	0,35	0,3		0,795	0,70	0,60	0,50	0,40	0,35	0,30

IV. táblázat

Q, mg/l	P. ata	ΔV_{II} , cm ³ /l								ΔV_I , cm ³ /l						
		79,5	2,82	11,7	—	—	—	—	—	—	—	4,1	—	—	—	—
70	2,45	12,4	13,3	—	—	—	—	—	—	5,1	5,4	—	—	—	—	—
60	2,075	12,0	12,9	14,4	—	—	—	—	—	5,8	6,2	7,0	—	—	—	—
50	1,70	12,4	13,4	14,7	17,4	—	—	—	—	7,3	7,9	8,7	10,3	—	—	—
40	1,415	6,2	6,7	7,5	8,8	12,2	—	—	—	4,4	4,7	5,3	6,2	8,7	—	—
35	1,225	6,2	6,7	7,5	8,8	12,2	17,1	—	—	5,3	5,6	6,3	7,5	10,4	14,5	—
30	1,065	4,3	4,5	5,1	6,0	8,4	11,6	24,6	—	4,0	4,3	4,8	5,6	7,9	11,0	23,2
		65,2	57,5	49,2	41,0	32,8	28,7	24,6		36,0	34,1	32,1	29,6	27,0	25,5	23,2



18. ábra

$$h = h_1 + \frac{r_1 - r}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad dV = 2\pi r h dr = 2\pi r \left(h_1 + \frac{r_1 - r}{\operatorname{tg} \alpha} \right) dr,$$

$$V = \pi r^2 \left(h_1 + \frac{r_1 - \frac{2}{3}r}{\operatorname{tg} \alpha} \right),$$

$$\bar{r} = r_0 + \frac{(r_1 - r_0)y}{100}, \quad \Delta V \% = 100 \frac{\Delta(V - V_0)}{\Delta(V_1 - V_0)},$$

ahol V_1 és V_0 az r_1 -hez és r_0 -hoz (ill. $y = 100$ -hoz és $y = 0$ -hoz) tartozó ciklon-térfogatok.

A II. táblázat az egyes Q értékekhez tartozó $\Delta p\%$ és ΔQ mg/l értékeket mutatja. Figyelemre méltó jelenség, hogy az azonos Δy szakaszokban kiváló ΔQ levegőmennyiség annál nagyobb, minél kevésbé telített a ciklonba belépő zagy. (A vízszintes sorok ΔQ értékei fokozatosan növekednek.)

Még szembetűnőbben látszik ez a tény a III. táblázatból, amely a $\Delta Q/\Delta y$ és $\Delta Q/\Delta V$ értékek alakulását tünteti fel. A 18. ábra a $\Delta Q/\Delta y$ értékek változását y függvényében mutatja. A kisebb Q mg/l oldott levegőmennyiségekhez tartozó görbék magasabban haladnak, mint a nagyobb Q értékek görbéi. Még erősebb lesz az eltérés, ha az egyes $\Delta Q/\Delta y$ vagy $\Delta Q/\Delta V$ értékeket a belépő zagy megfelelő átlagos értékeire vonatkoztatjuk. Ekkor pl. a III. táblázat utolsó előtti sorában látható $\Delta y = 0,6$ sávban a $\Delta Q/\Delta y$ érték $8,7/0,795 = 10,9$ -ról $50/0,30 = 166$ -ra, a $\Delta Q/\Delta V$ érték $13/0,795 = 16,3$ -ról $75/0,3 = 250$ -re nő. E relatív ΔQ értékek hányadosa 15,2, míg az abszolút ΔQ értékeké 5,76 volt.

A IV. táblázatban a II. táblázat ΔQ mg/l értékeihez 1 ata-nál tartozó ΔV_{11} cm³/l, ill. a mindenkor p ata átlagos nyomáshoz tartozó ΔV_1 cm³/l értékeket látjuk. $\Delta V_1 = \Delta V_{11}/p$. $\Delta V_{11} = \Delta Q/1,22$. (1,22 mg/cm³ a 15 °C-os levegő fajsúlya.) $p = \Delta V_{11}/\Delta V_1$ egyúttal annak is a mérőszáma, hogy a p nyomás (r sugár) helyén kivált ΔV_1 levegő térfogata hányszorosára expandál a hidrociklonban, míg nyomása (r_0 sugáron) a távozó zagy 1 ata nyomására csökken. A szemek V' mértékadó térfogata fokozatosan nő és δ' mértékadó fajsúlya fokozatosan csökken, miközben a szemcsék r sugárról r_0 sugárig haladnak.

V. táblázat

mm	5-3	3-1	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-0,06	0,06-0,042	0,042-0
I	47,4	37,4	26,3	27,8	27,2	8,1	- 8,7	19,9
II	33,6	32,4	26,1	15,8	12,8	14,4	-21,4	23,3
III	59,1	35,7	30,1	29,9	25,9	14,0	-46,1	17,6
IV	34,3	35,4	28,4	27,8	21,3	22,1	-33,9	38,1
V	33,2	46,0	33,0	30,5	20,7	-16,4	-52,8	47,4
VI	36,3	28,1	18,4	25,0	9,4	10,3	-46,1	50,9
VII	50,0	39,3	30,3	19,3	16,0	3,2	13,6	17,7

A hidrociklonban bekövetkező levegőkiválásnak köszönhető az a kísérleti tény, hogy azokban a hidrociklonokban, amelyekben a belépő zagy több oldott levegőt tartalmaz, mint az 1 ata nyomású telített víz, a zagy legfinomabb iszapjának fajsúly szerinti szeparálása meglepően jó eredménnyel jár. Az V. táblázat 5—0 mm-es komlóí szénnek „saját levében” való légemelés hidrociklonozásakor a különböző szemcseosztályokra elért $t\%$ értékeket közli. ($t = (t_1 + t_2)/2$, $t_1 = (v - T_1)/v$, $t_2 = (T_2 - v)/(100 - v)$, ahol v a hidrociklon alsó termékének súlyszázaléka, T_1 és T_2 e súlyszázalék alatti és feletti átagos $\Sigma T \Delta W / \Sigma \Delta W$ Tromp %-ok.)

A 42 μ m-nél finomabb szemcseosztály fajsúly szerinti szeparálása mind-egyik esetben jobb eredménnyel járt, mint a 100—60 és 60—42 μ m szitafrakcióké. Hét közül öt esetben a 200—100 μ m-es szemeknél, négy esetben az 500—

200 μm -es szemeknél is, sőt három esetben (IV—V—VI) bármelyik szitaosztálynál jobb eredménnyel szeparálódott a 42—0 μm szitaosztály. (A 60—42 μm osztály t %-a az I—VI. kísérleteknél negatív, vagyis itt a kisebb fajsúlyú szemcsék inkább az alsó termékbe, a nagyobb fajsúlyú szemcsék inkább a felső termékbe kerültek.)

IRODALOM

1. Питерский, Г. П. — Борисов, В. М. — Ангелов, А. И.: Исследование процесса разделения минералов в гидроциклоне в тяжелой суспензии — *плексин-классен*: вопросы теории гравитационных методов обогащения полезных ископаемых. Москва 1960, 94—106.
2. G. TARJÁN: Suggestion for a new characteristic of the Tromp curve. *Acta Techn. Hung.* 27 (1959), 3—4.

A HASONLÓSÁGELMÉLET ALKALMAZÁSA TRANZSPORTFOLYAMATOK VIZSGÁLATÁBAN

FÁY GYULA és ZSELEV BORISZ

HŐTECHNIKAI KUTATÓ INTÉZET, BUDAPEST

[Beérkezett 1963. április 18-án]

Az utóbbi három évtizedben nagy ütemben fejlődött ki a transzportelmélet. A különböző fizikai és kémiai folyamatokat leíró transzportegyenletek megoldásának problémája lényegesen nehezebb, mint a lineáris törvényszerűségek alapján felállított, közönséges értelemben vett parciális differenciálegyenletek megoldásának problémája volt. Jelenleg a gyakorlatban felmerülő feladatok megoldására jellemző a transzportegyenletek felállítása és mind azok analitikai megoldásában, mind pedig a megoldás kísérletileg történő meghatározásában a hasonlóságelmélet alkalmazása.

A transzportelmélet, valamint a hasonlóságelmélet rövid áttekintése után foglalkozunk a transzportelméletben előforduló kritériumokkal, továbbá a szállítás köréből vett konkrét példán keresztül bemutatjuk a hasonlóság módszerének alkalmazását a transzportelméletben.

I. Bevezetés

A műszaki kutatás nem nélkülözheti azoknak a fizikai és kémiai folyamatoknak az ismeretét, amelyek az iparban előforduló különféle termelési folyamatokat, ezek hatékonyságát, az ezzel kapcsolatos berendezések kialakítását, méretnövelési, szabályozási és egyéb kérdéseit meghatározzák. E fizikai és kémiai folyamatok — közös néven transzportfolyamatok — egységes szempontból tárgyalhatók és matematikailag a transzportegyenletekben tükröződnek. A transzportegyenletek azok, amelyek a különféle ipari folyamatok megismerésére, tervezésére és fejlesztésére alapot adnak és azt az egyszerű gondolatot fejezik ki, hogy egy térfogatban levő fizikai szubsztancia (pl. tömeg, energia, impulzus stb.) mennyiségének időegység alatti megváltozása annyi, mint amennyi a térfogatot határoló felületen időegység alatt átáramló és a térfogatban időegység alatt keletkező szubsztancia mennyisége együttvéve.

Az ipari folyamatokat meghatározó fizikai és kémiai folyamatok transzportfolyamatok, vagyis olyanok, melyek során különféle szubsztanciák áramlanak, kölcsönhatásba lépnek, keletkeznek és eltűnnek. Annak illusztrálására, hogy mennyire széles azon ipari folyamatok köre, amelyek vizsgálatában a transzportelmélet alkalmazása már sikeres eredményeket könyvelhet el, s amelyek leglényegesebb kérdései a transzportelmélet területére csnek, néhány példát említünk.

Teljességre való törekvés nélkül és sorrendi szempontok figyelmen kívül hagyásával említhetjük a kémiai technológiai folyamatokat, a tüzeléstechnika

területéről a kazánokban, a kemencékben lejátszódó folyamatokat; a légtechnika területéről a szellőzési, a porleválasztási, a pneumatikus anyagtranszportfolyamatokat, de ide tartoznak olyan folyamatok is, melyek hőkezeléssel, hűtéssel, hőcserélőberendezésekkel, szárítással, légkondicionálással kapcsolatosak, megemlíthetők egyes vízgazdálkodási, korrózióvédelmi, tűzvédelmi problémák és számos egyéb kérdés is.

Az ipari folyamatokat meghatározó fizikai és kémiai folyamatok ismerete mármint elvben a transzportegyenletek különböző speciális esetekben való megoldásából és a megoldások műszaki szempontok szerint történő megítélésében áll, azonban az egyenletek megoldása — az egyenletek bonyolult matematikai struktúrája miatt — matematikai módszerekkel csak kivételes esetben sikerül. Ez egyben legfőbb problémáját jelenti az elmélet alkalmazásának, és ezért szinte a transzportelmélet kialakulásával egy időben — a harmincas évektől — megindulnak a transzportfolyamatok vizsgálatában alkalmazandó, a matematikai számító eljárásoktól különböző módszer kidolgozására irányuló próbálkozások. Ilyen módszer a hasonlóságelmélet, erről és transzportelméleti alkalmazásáról kívánunk e közleményben áttekintést adni.

II. A transzportelmélet [1]

A transzportelmélet három alapvető fogalma: a *sűrűség*, az *áramsűrűség* és a *forráserősség*. Azokat a fizikai mennyiségeket, amelyeknek sűrűségéről, áramsűrűségéről és forráserősségéről beszélhetünk, közös néven szubsztanciáknak nevezzük. Ilyen szubsztanciák pl. a különböző kémiai komponensek, a különféle fázisok tömege, az energia, az impulzus, a villamos töltés stb.

A sűrűség a térfogategységben levő szubsztancia mennyisége, az áramsűrűség a valamilyen felület egységén időegység alatt átáramló szubsztancia-mennyiség, míg a forráserősség a térfogategységben időegység alatt keletkező szubsztanciamennyiség.

A sűrűség jele legyen ρ , az áramsűrűségé \mathbf{I} , a forráserősségé q . Ezek általában a helynek és az időnek függvényei. Ezt a körülményt a következő módon jelöljük, megjegyezve, hogy az áramsűrűség természetesen vektormennyiség:

$$\begin{aligned}\rho &= \rho(x, y, z, t), \\ \mathbf{I} &= \mathbf{I}(x, y, z, t), \\ q &= q(x, y, z, t).\end{aligned}$$

Ezekre nézve fennáll a transzportelmélet alapegyenlete (a transzportegyenlet)

$$\boxed{\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \mathbf{I} = q,} \quad (1)$$

ahol

$$\operatorname{div} \mathbf{I} = \frac{\partial I_x}{\partial x} + \frac{\partial I_y}{\partial y} + \frac{\partial I_z}{\partial z},$$

és I_x, I_y, I_z a \mathbf{I} vektor három (x, y , ill. z irányú) komponense.

Az (1) alatti transzportegyenlet minden szubsztanciára érvényes, ha tehát valamilyen fizikai rendszerben egyidejűleg több szubsztancia is jelen van, akkor a szubsztanciák számával egyenlő számú transzportegyenlet áll fenn.

A ρ, \mathbf{I} és q mennyiségek nem függetlenek egymástól. ρ és \mathbf{I} kifejezhető az intenzitásparaméterekkel. Intenzitásparamétereknek nevezzük azokat a fizikai mennyiségeket, amelyek kiegyenlítődése során a fizikai szubsztanciák transzportálódnak, s amelyek szerinti homogenitás (= térbeli állandóság) az illető szubsztancia szempontjából való egyensúly szükséges és elegendő feltétele. Így pl. a hőhatáshoz (vagyis az impulzustranszport nélkül transzportálódó energiához) mint szubsztanciához tartozó intenzitásparaméter a hőmérséklet, a térfogathoz a nyomás tartozik, míg a tömeghez a kémiai potenciál. Az egyes intenzitásparamétereket X -szel jelöljük, természetesen ezek is a helynek és az időnek függvényei:

$$X = X(x, y, z, t).$$

Az áramsűrűségek és az intenzitásparaméterek gradiensei közt lineáris összefüggés áll fenn. Ha egy rendszerben n -féle szubsztancia van, s az ezeknek megfelelő áramsűrűségeket és intenzitásparamétereket a vonatkozó szubsztancia sorszámaival mint indexszel jelöljük, akkor az áramsűrűségek és az intenzitásparaméterek közti következő kapcsolatokból indul ki a transzportelmélet:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= L_{11} \operatorname{grad} X_1 + L_{12} \operatorname{grad} X_2 + \dots + L_{1n} \operatorname{grad} X_n, \\ I_2 &= L_{21} \operatorname{grad} X_1 + L_{22} \operatorname{grad} X_2 + \dots + L_{2n} \operatorname{grad} X_n, \\ I_n &= L_{n1} \operatorname{grad} X_1 + L_{n2} \operatorname{grad} X_2 + \dots + L_{nn} \operatorname{grad} X_n. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Itt az L_{ik} ($i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, n$) számok állandók, amelyek csak a rendszer egyensúlyi állapotától függenek. A L_{ik} számokat vezetési együtthatóknak nevezzük. Ezekre fennáll az ún. reciprocitási reláció:

$$L_{ik} = L_{ki} \quad (i, k = 1, 2, \dots, n). \quad (3)$$

A (2) alatti relációk tapasztalati törvények általánosításai. Így pl. a hő áramlása esetén a Newton-féle lehűlési törvényre, a térfogat esetén a Hagen—Poiseuille-törvényre, tömeg esetén a diffúzió Fick-féle törvényére, elektromos töltés esetén az Ohm-törvényre redukálódnak. Ha egyidejűleg többféle szubsztancia áramolhat egy rendszerben, akkor ezek az áramlások hatnak egymásra — keresztteffektusok lépnek fel —, és pedig oly módon, hogy *minden* intenzitás-

paraméter-inhomogenitás *minden* szubsztancia áramlására hatást gyakorol. Így pl. a hőmérsékletkiegyenlítődés nemcsak hőáramot, hanem tömeg-, térfogat- és elektromos áramlást is létrehoz.

A q_1, q_2, \dots, q_n szubsztanciasűrűségek az intenzitásparaméterekkel így függenek össze:

$$q_i = c_i X_i \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (4)$$

Itt a c_i mennyiségek állandók, nevük: *kapacitásmennyiségek*.

A q_1, q_2, \dots, q_n forrásmennyiségeknek az intenzitásparaméterekkel való összefüggésének általános alakja nem ismeretes. Megtörténhet, hogy az intenzitásparaméterek deriváltjaitól is függenek. Különleges esetekben természetesen ismert néhány ilyen összefüggés. Így pl. ha az első szubsztancia a tömeg, a másik a hő, akkor a kinetikus tömeghatástörvény szerint:

$$q_1 = q_1(X_1, X_2) = k_1 X_1 \exp\left(\frac{k_2}{X_2}\right),$$

(k_1 és k_2 állandók).

A transzportelméletben a q függvényeket ismereteknek tekintjük.

Egy n változós rendszerre vonatkozóan (amelyben tehát n -féle szubsztancia van) n számú (1) alatti transzportegyenlet írható fel:

$$\frac{\partial q_i}{\partial t} + \operatorname{div} I_i = q_i; \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Ha ide behelyettesítjük a (2) és (4) alatti összefüggéseket, megkapjuk a transzportelmélet konkrétabb formájú alapegyenleteit:

$$\begin{aligned} c_i \frac{\partial X_i}{\partial t} + \operatorname{div} \sum_{k=1}^n (L_{ik} \operatorname{grad} X_k) &= \\ = c_i \frac{\partial X_i}{\partial t} + \sum_{k=1}^n L_{ik} \operatorname{divgrad} X_k &= q_i, \end{aligned}$$

azaz

$$\boxed{c_i \frac{\partial X_i}{\partial t} + \sum_{k=1}^n L_{ik} \Delta X_k = q_i} \quad (5)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n).$$

Az (5) alatti egyenletrendszer egy n ismeretlenes (n ismeretlent tartalmazó) inhomogén, lineáris, másodrendű parciális differenciálegyenletrendszer az ismeretlen

$$X_1(x, y, z, t), X_2(x, y, z, t), \dots, X_n(x, y, z, t)$$

négyváltozós függvények számára, amelyek adott q_i -k és az X_i -kre kirótt.

megfelelő peremfeltételek esetén elvben meghatározhatók. Ennek matematikai módszerei azonban teljes általánosságban ma még nincsenek kidolgozva.

Az (5) alatti egyenletrendszer az, amelynek különféle speciális esetekre való alkalmazása a bevezetésben felsorolt problémák megoldásának kiindulópontja.

Miután az (5) alatti egyenletrendszer megoldására általános módszer nem ismeretes, azért az egyenletrendszer alkalmazásának más útját választjuk. Tétélezzük fel, hogy valamilyen speciális esetben ismeretes (5) megoldása, pl. mérések alapján. Ekkor kézenfekvő olyan eljárást keresni, amellyel a megoldások *más esetekre is átszámíthatók*. Egy ilyen eljárás — mely a más esetekre való átszámítást az esetek eléggé széles körére lehetővé teszi — a *hasonlóságelmélet*.

III. A hasonlóságelmélet [2]

A hasonlóságelmélet gerincét három tétel képezi, melyek differenciálegyenletekre vonatkoznak, s melyeket a hasonlóságelmélet főtételeinek nevezünk.

Ezek megfogalmazásához néhány előkészítő fogalomra van szükség.

Tekintsünk egy fizikai jelenséget, amelyet n számú adat határoz meg, s mely adatok közt egy differenciálegyenlet áll fenn. (Az az eset, amidőn a fizikai jelenséget *több* differenciálegyenlet írja le, hasonlóan kezelhető.) Ezt jelöljük a következő módon:

$$D(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0. \quad (6)$$

Tekintsünk egy másik jelenséget is, amelynek állapothatározói:

$$x'_1, x'_2, \dots, x'_n,$$

melyet a (6)-tal azonos struktúrájú

$$D(x'_1, x'_2, \dots, x'_n) = 0 \quad (6')$$

differenciálegyenlet ír le. Tétélezzük fel mármost, hogy az x_1, \dots, x_n állapothatározórendszer az x'_1, x'_2, \dots, x'_n állapothatározórendszerbe az alábbi egyszerű transzformáció viszi át: ún. hasonlósági transzformáció

$$\left. \begin{aligned} x'_1 &= c_1 x_1, \\ x'_2 &= c_2 x_2, \\ x'_n &= c_n x_n, \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

ahol a c_1, \dots, c_n számok az x -ektől független állandók.

Más szóval tétélezzük fel, hogy (6)-tal együtt a

$$D(c_1 x_1, c_2 x_2, \dots, c_n x_n) = 0 \quad (8)$$

differenciálegyenlet fennáll. Azt nem kötjük ki, hogy a c_1, c_2, \dots, c_n számok függetlenek legyenek egymástól, megengedjük, hogy legyen olyan c_1, c_2, \dots, c_k ($k \leq n$) bázisrendszer, amelytől az összes többi c függ.

$$\left. \begin{aligned} c_{k+1} &= \varphi_1(c_1, c_2, \dots, c_k), \\ c_{k+2} &= \varphi_2(c_1, c_2, \dots, c_k), \\ &\vdots \\ c_{k+m} &= \varphi_m(c_1, c_2, \dots, c_k), \\ &(m = n - k). \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

E (9) alatti egyenleteket feltételi egyenleteknek nevezzük. Az itt szereplő $\varphi_1, \dots, \varphi_m$ függvények konkrét alakja a D differenciálegyenlet struktúrájától függ.

Ha a (6) feltétel a (2) és a (9) feltételek mellett teljesül, akkor azt mondjuk, hogy a szóban forgó fizikai jelenséget leíró differenciálegyenlet a (7) alatti hasonlósági transzformációval szemben invariáns; fizikai terminológiával élve pedig azt mondjuk, hogy a két fizikai jelenség (a vesszős és vessző nélküli) hasonló. A hasonló jelenségek egyikét prototípusnak, másikat modellnek nevezzük.

Van még egy alapvető fogalom a hasonlóságelméletben, mellyel meg kell ismerkednünk. Ez a hasonlósági invariáns fogalma. Egy többváltozós $\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n)$ függvényt hasonlósági invariánsnak nevezünk, ha a (7) alatti hasonlósági transzformáció (amelyben szereplő c_i transzformációparaméterek a (9) alatti feltételi egyenleteknek tesznek eleget) nem változtatja meg értékét, azaz, ha fennáll a

$$\Phi(x_1, x_2, \dots, x_n) = \Phi(c_1 x_1, c_2 x_2, \dots, c_n x_n) \quad (10)$$

összefüggés.

A következő segédétel ismertetése után rátérhetünk a hasonlóságelmélet főtételeinek tárgyalására. A megadott segédétel pedig azt fejezi ki, hogy a (9) alatti feltételi egyenletekben szereplő $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$ függvények hatvány-szorzatok, azaz

$$\varphi_l(c_1, c_2, \dots, c_n) = c_1^{\alpha_{1l}} \cdot c_2^{\alpha_{2l}} \cdot \dots \cdot c_k^{\alpha_{kl}}, \quad (11)$$

$$(l = 1, 2, \dots, m = n - k)$$

alakúak. Az α_{li} számok ($i = 1, 2, \dots, k, l = 1, 2, \dots, m$) állandók, és csakis a (6) alatti differenciálegyenlet struktúrájától függenek. A (11)-et (9)-cel és (7)-tel kombinálva, ezek alapján m számú hasonlósági invariánst nyerhetünk. Ilyen hasonlósági invariánsok a

$$\Pi_l = \frac{x_{k+l}}{x_1^{\alpha_{1l}} x_2^{\alpha_{2l}} \dots x_k^{\alpha_{kl}}} \quad (12)$$

függvények, mert ha itt x_i helyébe $c_i \cdot x_i$ -t írunk, azt kapjuk, hogy

$$\frac{c_{k+1} x_{k+1}}{(c_1 x_1)^{a_{1k}} (c_2 x_2)^{a_{2k}} \dots (c_k x_k)^{a_{kk}}} = \frac{x_{k+1}}{x_1^{a_{1k}} x_2^{a_{2k}} \dots x_k^{a_{kk}}} \cdot \frac{c_{k+1}}{c_1^{a_{1k}} \cdot c_2^{a_{2k}} \dots c_k^{a_{kk}}} = \Pi_1 \cdot 1.$$

A második tényező (11) és (9) miatt 1-gyel egyenlő.

E bevezető előkészítés után térjünk rá a hasonlóságelmélet főtételeinek tárgyalására. Az első főtétele a hasonlóság szükséges feltételével, a harmadik az elegendő feltétellel foglalkozik, míg a második főtétele, melyet π -teorémának is szokás nevezni, a hasonlósági invariánsok közti kapcsolat létezésével foglalkozik.

Az *első főtétele* szerint, ha két jelenség hasonló, vagyis ha azonos struktúrájú differenciálegyenletek írják le, s a differenciálegyenlet hasonlósági transzformációval szemben invariáns, akkor szükséges, hogy a két jelenséget leíró differenciálegyenletek megfelelő hasonlósági invariánsai megegyezzenek. (Hasonlósági invariánsokon a (7) alatti függvényeket értjük.)

A *második főtétele* szerint, ha egy

$$D(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$$

differenciálegyenlet hasonlósági transzformációval szemben invariáns, és hasonlósági invariánsai a (12) alatti Π mennyiségek, akkor ezen Π -k közt mindig fennáll egy

$$\Phi(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m) = 0 \quad (13)$$

alakú kapcsolat, ahol a Φ függvény konkrét alakját a jelenséget leíró differenciálegyenlet matematikai struktúrája határozza meg.

A *harmadik főtétele* szerint, két fizikai jelenség hasonlóságának elegendő feltétele, hogy mind a differenciálegyenletekben szereplő, mind pedig az ezekhez járuló egyértelműségi feltételekben szereplő mennyiségeket egyazon hasonlósági transzformáció vigye át egymásba. Ha különlegesen a differenciálegyenletben és az egyértelműségi feltételekben szereplő változókkal alkotott hasonlósági invariánsok *azonosak* egymással, valamint a két jelenségre nézve, úgy a két jelenség akkor is hasonló.

IV. Hasonlóságelmélet és transzportelmélet [1, 2, 3]

Foglalkozunk az előbb tárgyalt fogalmak és tételek alkalmazásával. Vizsgáljuk azt a fizikai jelenséget, melyet az (5) alatti transzportegyenletek írnak le, vizsgáljuk a transzportegyenletek közül a tetszőleges i -ediket:

$$c_i \frac{\partial X_i}{\partial t} + \sum_{k=1}^n L_{ik} \Delta X_k = q_i. \quad (14)$$

Határozzuk meg e differenciálegyenlet hasonlósági invariánsait. Előre kell bocsátanunk, hogy hasonlósági invariánsokból képezett minden függvény is hasonlósági invariáns. Ezért a transzportegyenletnek is többféle hasonlósági invariánsrendszere lehet. Ezek áttekintésével foglalkozunk. Tekintsük először is azt a „vesszős” jelenséget, melyet a (14)-gyel azonos struktúrájú:

$$c'_i \frac{\partial X'_i}{\partial t'} + \sum_{k=1}^n L'_{ik} \Delta' X'_i = q'_i \quad (14')$$

differenciálegyenlet ír le, és amelyben a Δ' Laplace-operátor a vesszős koordináták szerinti alábbi operációt jelenti:

$$\Delta' = \frac{\partial^2}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2}{\partial z'^2}.$$

Tekintsük azt a hasonlósági transzformációt, amely (14)-et (14')-be viszi. A transzformációs egyenleteket írjuk a következő módon: Először is szorítunk geometriai hasonlóság esetére az egyszerűség kedvéért, azaz a koordináták transzformációparaméterei legyenek közösek. Ekkor a transzformáció-egyenletek:

$$\begin{aligned} x' &= \mu x, \\ y' &= \mu y, & \text{független változók} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} z' &= \mu z, \\ t' &= \tau t, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X'_i &= \varkappa_i X_i, & \text{függő változók} \\ & & (i = 1, 2, \dots, n) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} L'_{ik} &= \lambda_{ik} L_{ik} & \text{vezetési és kapacitástényezők} \\ c'_i &= \gamma_i c_i & (i, k = 1, 2, \dots, n); \end{aligned} \quad (17)$$

$$q_i = \omega_i q_i \quad \text{forrásfüggvények.} \quad (18)$$

Írjuk ezeket (14')-be, és vizsgáljuk meg, milyen összefüggéseknek kell fennállnia a szereplő μ , τ , \varkappa_i , λ_{ik} , γ_i , ω_i transzformációparaméterek között, hogy a hasonlóság teljesüljön. Minthogy a jelenséget leíró differenciálegyenlet konkrét matematikai struktúrája ismeretes, a kérdés megválaszolására mód van. A (15–18) alatti transzformációs formulák (14')-re való alkalmazásával adódik, hogy:

$$\frac{\varkappa_i \gamma_i}{\tau} c_i \frac{\partial X_i}{\partial t} + \sum_{k=1}^n \frac{\lambda_{ik} \varkappa_k}{\mu^2} L_{ik} \Delta X_k = \omega_i q_i. \quad (19)$$

Innen látható, hogy egyik *legendő* feltétele annak, hogy a (19) alatti egyenlet a (14) alatti egyenletbe menjen át, az, hogy rendre a transzformációparaméterekből álló minden tényező 1-gyel legyen egyenlő:

$$\frac{\varkappa_i \gamma_i}{\tau} = 1, \quad \frac{\lambda_{ik} \varkappa_k}{\mu^2} = 1, \quad \omega_i = 1. \quad (20)$$

Az is látszik azonban, hogy ez túl erős megszorítás. Igaz ugyan, hogy (20) *elegendő* feltétele a(14) és (19) azonosságának, de nem szükséges. Az is elegendő, hogy a (19)-ből egyik tényezővel végigosztással keletkező egyenletben legyenek a tényezők (az előbbi tényezők hányadosai) 1-gyel egyenlők. Kimutatható, hogy ez már szükséges és elegendő feltétele (19) és (14) azonosságának. Hogy (19)-ben melyik tényezővel osztunk végig, az konvenció kérdése, s itt elvileg három eset lehetséges: ha sűrűséget tartalmazó első tagbeli tényezővel osztunk, s az előálló maradék (a második s a jobboldali) tényezőket tesszük egyenlővé 1-gyel, akkor a sűrűségkonvencióhoz tartozó invariánsokat, ill. feltételi egyenleteket kapjuk. Hasonló értelemben beszélünk áram- és forrás-konvencióról. Vizsgáljuk meg ezeket az eseteket is.

1. A sűrűségkonvenció

Ha a (19)-ben a sűrűséget tartalmazó

$$\frac{\varkappa_i \gamma_i}{\tau}$$

tényezővel osztunk, azt kapjuk, hogy (19) és (14) azonosságának elegendő (és szükséges) feltétele:

$$\frac{\frac{\lambda_{ik} \varkappa_k}{\mu^2}}{\frac{\gamma_i \varkappa_i}{\tau}} = \frac{\lambda_{ik} \varkappa_k}{\gamma_i \varkappa_i \mu^2} \tau = 1, \quad \frac{\omega_i}{\frac{\gamma_i \varkappa_i}{\tau}} = \frac{\omega_i \tau}{\gamma_i \varkappa_i} = 1. \quad (21)$$

Ezek tehát a (15, 17) alatti feltételi egyenletek konkrét alakjai a transzport-egyenletek speciális esetében, sűrűségkonvenció esetén.

E feltételi egyenleteknek megfelelő hasonlósági invariánsok:

$$\frac{L_{ik}}{c_i} \frac{X_k}{X_i} \frac{t}{R^2}, \quad \text{és} \quad \frac{q_i}{c_i X_i} \cdot t. \quad (22)$$

Itt R valamilyen karakterisztikus távolságot jelöl. A különféle konvenciókhoz tartozó hasonlósági invariánsok megjelölésére kétbetűs szimbólumot alkalmazunk. Az indexbe írt s , a , ill. f betűk a sűrűség-, áram-, ill. forráskonvencióra utalnak. A főszimbólum S , A , ill. F betűje arra a tagra utal, amely az illető konvencióban az osztással állt elő. Így pl. a (22) alatti hasonlósági invariánsokat célszerűen az alábbi módon jelöljük:

$$A_s = \frac{L_{ik}}{c_i} \frac{X_k}{X_i} \frac{t}{R^2}, \quad (23)$$

$$F_s = \frac{q_i}{c_i X_i} \cdot t.$$

2. Az áramkonvenció

A feltételi egyenletek:

$$\frac{\gamma_i \varkappa_i \mu^2}{\lambda_{ij} \varkappa_j \tau} = 1, \quad \frac{\lambda_{ik}}{\lambda_{ij}} \frac{\varkappa_k}{\varkappa_j} = 1, \quad \frac{\omega_i \mu^2}{\lambda_{ij} \varkappa_j} = 1, \quad (24)$$

A hasonlósági invariánsok:

$$S_a = \frac{c_i}{L_{ik}} \frac{X_i}{X_k} \frac{R^2}{t}, \quad A_a = \frac{L_{ik}}{L_{ij}} \frac{X_k}{X_j}, \quad F_a = \frac{q_i}{L_{ik} X_k} R^2. \quad (25)$$

3. Forráskonvenció

A feltételi egyenletek

$$\frac{\gamma_i \varkappa_i}{\omega_i \tau} = 1, \quad \frac{\lambda_{ik} \varkappa_k}{\mu^2 \omega_i} = 1. \quad (26)$$

A hasonlósági invariánsok:

$$S_f = \frac{c_i X_i}{q_i t}, \quad A_f = \frac{L_{ik} X_k}{q_{ik} R^2}. \quad (27)$$

Az itt szereplő

$$\begin{matrix} A_s, & F_s, \\ S_a, & A_a, & F_a, \\ S_f, & A_f. \end{matrix} \quad (28)$$

hétféle hasonlósági invariáns nem független, hanem fennállnak közöttük a következő összefüggések:

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{1}{S_a} = \frac{F_s}{F_a} = \frac{A_f}{S_f}, \\ F_s &= \frac{1}{S_f} = \frac{A_s}{A_f} = \frac{F_a}{S_a}, \\ S_a &= \frac{1}{A_s} = \frac{F_a}{F_s} = \frac{S_f}{A_f}, \\ F_a &= \frac{1}{A_f} = \frac{S_a}{S_f} = \frac{F_s}{A_s}, \\ S_f &= \frac{1}{F_s} = \frac{A_f}{A_s} = \frac{S_a}{F_a}, \\ A_f &= \frac{1}{F_a} = \frac{S_f}{S_a} = \frac{A_s}{F_s}. \end{aligned}$$

Másik szempont a hasonlósági invariánsok meghatározására az, hogy a transzportegyenletet olyan alakra hozzuk, hogy mind a független változók,

mind a függő változók (keresett függvények), mind pedig a szereplő együtt-hatók hasonlósági invariánsok legyenek. Erre vonatkozóan általános szabályok még nem alakultak ki, a szokásos eljárást a szárítási egyenletek példáján mutatjuk be.

V. Példa a szárításelmélet köréből [4,5]

Tekintsük azt a fizikai rendszert, amelyben háromféle szubsztancia fordul elő: a folyékony fázis tömege, a gőznemű fázis tömege és a hő.

A szereplő intenzitásparaméterek: a hőmérséklet, a kémiai potenciál és a nyomás. Ha az indexelés sorrendje a következő:

- 1 a hő,
- 2 a folyékony fázis,
- 3 a gáznemű fázis,

akkor a következőket írhatjuk fel:

$$\begin{aligned} X_1 &= T \quad (\text{hőmérséklet}), \\ X_2 &= \Theta \quad (\text{kémiai potenciál}), \\ X_3 &= p \quad (\text{nyomás}). \end{aligned}$$

A (4) egyenletnek megfelelő összefüggések:

$$\begin{aligned} \varrho_1 &= c_q \gamma \cdot T, \\ \varrho_2 &= c_m \gamma \Theta, \\ \varrho_3 &= c_p \cdot \gamma \cdot p, \end{aligned} \quad (30)$$

ahol c_q , c_m , ill. c_p a porózus anyag tömegegységére vonatkoztatott hő-, folyadék- és gőzkapacitás, γ a térfogategységben levő porózus anyag tömege. A (2) egyenleteknek megfelelő összefüggések:

$$\begin{aligned} I_1 &= -\lambda_q \text{ grad } T, \\ I_2 &= -\lambda_m \delta \text{ grad } T - \lambda_m \text{ grad } \Theta - \lambda_p \text{ grad } p, \\ I_3 &= -\lambda_p \text{ grad } p, \end{aligned} \quad (31)$$

ahol λ_q , λ_m , ill. λ_p a hő-, folyadék- és gázvezetési tényezők. δ egy tényező a keresztteffektus tekintetbevételére. Végül a forrásfüggvényeket a következő alakban vesszük fel:

$$\begin{aligned} q_1 &= \varepsilon \varrho \gamma c_m \frac{\partial \Theta}{\partial t}, \\ q_2 &= 0, \\ q_3 &= -\varepsilon \varrho \gamma c_m \frac{\partial \Theta}{\partial t}, \end{aligned} \quad (32)$$

itt ε a fázisátalakulási tényező, és ϱ a fázisátalakulási fajhő.

Ha a (30), (31) és (32) összefüggéseket az (5) alatti transzportegyenletekbe helyettesítjük, kapjuk a szárítási alapegyenleteket:

$$\begin{aligned}c_q \gamma \frac{\partial T}{\partial t} &= \lambda_q \Delta T + \varepsilon q \gamma c_m \frac{\partial \Theta}{\partial t}, \\c_m \gamma \frac{\partial \Theta}{\partial t} &= \lambda_m \delta \Delta T + \lambda_m \Delta \Theta + \lambda_p \Delta p, \\c_p \gamma \frac{\partial p}{\partial t} &= \lambda_p \Delta p - \varepsilon q \gamma c_m \frac{\partial \Theta}{\partial t}.\end{aligned}\quad (33)$$

Ezekhez a következő peremfeltételek járulnak:

$$\begin{aligned}- (\lambda_q \text{grad } T)_s + (\alpha T_c - T_s) - (1 - \varepsilon) a_m (\Theta_s - \Theta_e) &= 0, \\(\lambda_m \text{grad } T)_s + (\lambda_m \delta \text{grad } T)_s + (\lambda_p \text{grad } p)_s + a_m (\Theta_s - \Theta_e) &= 0, \\p_s &= p_0.\end{aligned}\quad (34)$$

Itt az s index a porózus közeg határára, e az egyensúlyi értékre, e a környezetre, o pedig a kezdeti értékre utal. a_q és a_m a hő- és a tömegátadási tényező.

A szárításelmélet alapvető elméleti feladata a szárítási egyenletek és a peremfeltételek hasonlósági invariáns alakban való megfogalmazása.

Ezekhez vezessük be a következő hasonlósági invariánsokat:

$$\begin{aligned}\bar{T} &= \frac{T - T_0}{T_c - T_0}, \quad \bar{\Theta} = \frac{\Theta_p - \Theta}{\Theta_0 - \Theta_e}, \quad \bar{p} = \frac{p - p_0}{p_0}, \\ \bar{x} &= \frac{x}{R}, \quad \bar{y} = \frac{y}{R}, \quad \bar{z} = \frac{z}{R},\end{aligned}$$

(R valamilyen karakterisztikus távosság);

$$\begin{aligned}Fo &= \frac{\lambda_q}{c_q \gamma} \tau && \text{a Fourier-kritérium;} \\ Lu &= \frac{\lambda_m c_q}{\lambda_q c_m} && \text{a folyadéokra vonatkozó Likov-kritérium;} \\ Lu_p &= \frac{\lambda_p c_q}{\lambda_q c_p} && \text{a gázátadásra vonatkozó Likov-kritérium;} \\ Bi_q &= \frac{\alpha_q R}{\lambda_q} && \text{a hőátadásra vonatkozó Biot-kritérium;} \\ Bi_m &= \frac{\alpha_m R}{\lambda_m} && \text{a folyadékátadásra vonatkozó Biot-kritérium;} \\ Pn &= \frac{\delta (T_c - T_0)}{\Theta_0 - \Theta_e} && \text{Poznov-kritérium;}\end{aligned}$$

$$Ko = \frac{c_m \varrho (\Theta_0 - \Theta_e)}{c (T_c - T_0)} \text{ Koszovics-kritérium;}$$

$$Bu = \frac{\varrho c_p}{c_q} \cdot \frac{P_0}{T_c T_0} \text{ Buligin-kritérium.}$$

Ezekkel a szárítás alapegyenletei így írhatók fel:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{T}}{\partial Fo} &= \bar{\Delta T} - \varepsilon Ko \frac{\partial \bar{\Theta}}{\partial Fo}, \\ \frac{\partial \bar{\Theta}}{\partial Fo} &= Lu \bar{\Delta T} - Lu \cdot Pn \bar{\Delta T} - Lu_p \frac{Bu}{Bu} \bar{\Delta p}, \\ \frac{\partial \bar{p}}{\partial Fo} &= Lu_p \bar{\Delta p} - \varepsilon \frac{Ko}{Bu} \cdot \frac{\partial \bar{\Theta}}{\partial Fo}. \end{aligned} \quad (35)$$

Itt $\bar{\Delta}$ az x/R , y/R , z/R szerinti Laplace-operátort jelöli.

(35)-ben már mind a független változók, mind a függő változók, mind pedig az együtthatók hasonlósági invariánsok. A peremfeltételek szintén invariáns alakra hozhatók:

$$\begin{aligned} -\overline{\text{grad}}(\bar{T}) + Bi_q - (1 - \varepsilon) Lu Bi_m Ko &= 0, \\ -\overline{\text{grad}}(\bar{\Theta}) + Pn \overline{\text{grad}}(\bar{T}) + \frac{Lu_p \cdot Bu}{Ko} \cdot \frac{cm}{cq} + Bi_m &= 0. \end{aligned} \quad (36)$$

Itt $\overline{\text{grad}}$ az x/R , y/R , z/R szerinti deriválásra vonatkozik.

A (35) és (36) alatti invariáns összefüggések a tapasztalati törvények nagyfokú általánosításai. Ha empirikusan adva van egy (35)-és (36)-nak megfelelő összefüggés a szereplő invariánsok között, akkor ez a jelenségek igen széles körére alkalmazható. Mindazon jelenségekre, melyeket alakilag a (35) és (36) egyenletekkel azonos struktúrájú egyenletek írhatnak le, s invariáns állapothatározóik megegyeznek.

Míg tehát azon jelenségekre való általánosítás, amelyek közöséges állapothatározói egy szóban forgó jelenséggel megegyeznek, lényegében véve nem jelent gyakorlati általánosítást, addig a hasonlóságelmélet módszereivel az egy jelenségben megismert (kimért) törvényszerűségeket a legkülönbözőbb jelenségekre módszeresen át lehet vinni. Ez a tény mutatja a hasonlóságelmélet alkalmazásának indokoltságát a transzportfolyamatok vizsgálatában.

IRODALOM

1. DE GROOT, S. R.: *Thermodynamics of Irreversible Processes*. Amsterdam 1952.
2. Курпичев, М. В. Конаков, П. Р.: Математические основы теории подобия.
3. Лыков, А. В.: Теоретические основы теплофизики.
4. SMIRNOV, M. S.: *Int. J. Heat Mass. Transfer* 5 1962, 521—5, 524.
5. МИХАЙЛОВ, Y.: *Int. J. Heat Mass. Transfer* 1 1960, 37—46.

RÚD- ÉS CSŐHÚZÁS

GELEJI SÁNDOR
AKADÉMIKUS

[Beérkezett 1963. október 4-én]

A rúd- és csőhúzáskor a szerszám falán fellépő fajlagos nyomás, ill. az alakítási ellenállás, továbbá a szükséges húzóerő meghatározására eddig több szerző dolgozott ki számító eljárást. Ezek az eljárások azonban nem vették figyelembe a húzó üregben fokozatosan bekövetkező keményedést, hanem levezetéscik folyamán az alakváltozási szilárdságot egy közepes értékkel helyettesítették, és ezzel a probléma megoldását erősen egyszerűsítették. Ebben a dolgozatban a szerző pontosabb megoldást ad, amennyiben rúdhúzásnál, dugó nélküli csőhúzásnál, dugós csőhúzásnál és rúdon való csőhúzásnál levezeti az alakítási ellenállást, illetve a szerszám falán fellépő fajlagos nyomást és a húzóerőt annak a feltételezésével, hogy az alakítási szilárdság (k_f) a húzóüregben belül egy a helytől függő változó.

A rúd- és csőhúzásnál a húzószerszám falán fellépő fajlagos nyomás, illetve alakítási ellenállás, a húzott keresztmetszetben fellépő feszültség és a húzóerő kiszámítására számos eljárást dolgoztak ki a kutatók [1–9]. Mind e számító eljárások, akár elemi feltevéseknek, akár a húzóüregben fellépő erők egyensúlyi differenciálegyenletének segítségével jöttek létre a számításra alkalmas képletek, a kiinduló feltételek megállapításakor a húzott anyag alakítási szilárdságát (k_f) a húzóüregben állandónak tételezik fel, és így a keményedést a levezetések folyamán figyelmen kívül hagyják. A levezetések révén kapott képletbe a húzott darab húzás előtti (k/f_1) és utáni (k/f_2) alakítási szilárdságának számtani közepesét, vagyis a

$$k_m = \frac{k_{f1} + k_{f2}}{2}$$

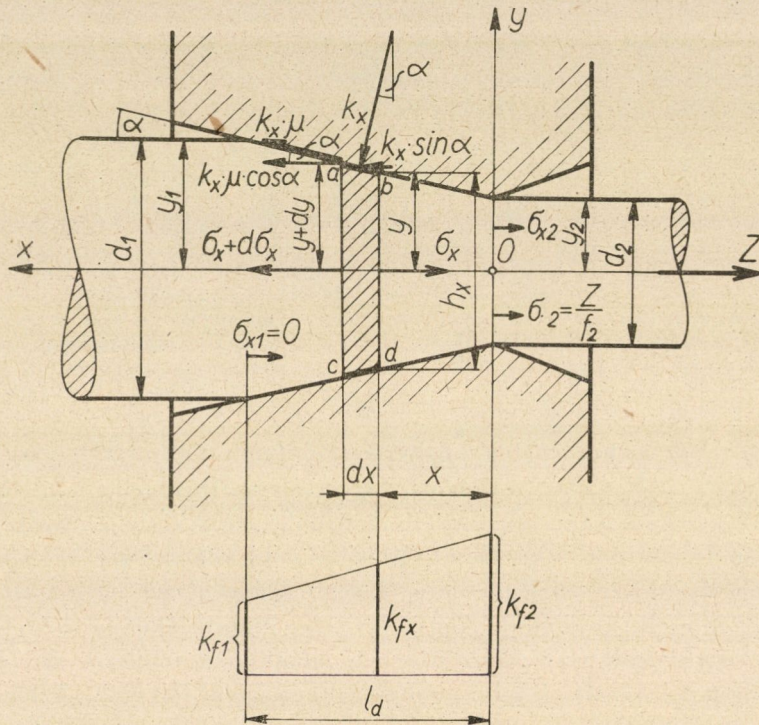
értéket helyettesítik be. Ezzel a húzás problémája erősen leegyszerűsödik, de a számított eredmények a gyakorlati követelményeknek jól megfelelnek. Ennek ellenére mégis célszerűnek látszik, hogy a problémát egzakt módon is megoldjuk, azaz a fellépő erők meghatározása folyamán az alakítási szilárdságot a húzóüregben helytől függően számításba vegyük, és így mélyebben lássunk a húzási folyamat erőviszonyaiba.

Rúdhúzás

A húzóüregben egy az alakváltozás állapotában levő rúdrészből kivágott $abcd$ elemi csonkakúp alakú tárcsát (1. ábra) két egymástól dx távolságban levő sík lap és egy dx magasságú csonka kúppalást határol. A csonka kúppalástot,

mely a húzóüreg falával érintkezik, k_x fajlagos felületi nyomás (alakváltozási ellenállás) terheli. Az elemi tárcsa bd fedőlapját σ_x , az ac alaplappját ($\sigma_x = d\sigma_x$) feszültség terheli.

Az $abcd$ térfogatelemre ható erők egyensúlyi feltételét x irányban a



1. ábra

következő egyenlet adja meg:

$$-\sigma_x \cdot y^2 \cdot \pi + (\sigma_x + d\sigma_x) \cdot (y + dy)^2 \cdot \pi + k_x \cdot \sin \alpha \cdot df + k_x \cdot \mu \cdot \cos \alpha \cdot df = 0. \quad (1)$$

Ebben az egyenletben df az elemi tárcsa (csanakakúp) palástja:

$$df = \frac{dx}{\cos \alpha} \cdot 2 \cdot \left(y + \frac{dy}{2} \right) \cdot \pi, \quad (2)$$

α a húzószög,

$$(y + dy)^2 = y^2 + 2y \cdot dy,$$

ha a másodrendű végtelen kicsit $(dy)^2 = 0$ vesszük. μ a súrlódási tényező a húzóüreg fala mentén, továbbá:

$$y_x = y_2 + x \cdot \operatorname{tg} \alpha.$$

Ha az 1. egyenletben megadott műveleteket elvégezzük, akkor a követ-

kező differenciálegyenlethez jutunk:

$$2 \cdot \sigma_x \cdot \frac{dy}{dx} + y \cdot \frac{d\sigma_x}{dx} + 2 \cdot k_x \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \mu) = 0. \quad (3)$$

Mínt hogy

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha,$$

a 3. egyenlet a következőképpen írható fel:

$$2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sigma_x + y \cdot \frac{d\sigma_x}{dx} + 2 \cdot k_x \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \mu) = 0. \quad (4)$$

A szerszám falán fellépő k_x fajlagos nyomás, ill. alakítási ellenállás a folyás feltétele értelmében:

$$k_x = k_{fx} - \sigma_x, \quad (5)$$

ahol k_{fx} az alakítási szilárdság a hely függvényében:

$$k_{fx} = k_{f2} - \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot x. \quad (6)$$

A 6. egyenletben l_d az alakításban közreműködő húzóképfelület magassága.

Ha az 5. és 6. egyenletet a 3. differenciálegyenletbe behelyettesítjük, és a műveleteket elvégezzük, majd feltesszük, hogy

$$-2 \cdot \mu = A_1, \quad (7)$$

$$2 \cdot k_{f2}(\operatorname{tg} \alpha + \mu) = A_2, \quad (8)$$

$$2 \cdot \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \mu) = A_3, \quad (9)$$

akkor a következő differenciálegyenletet kapjuk:

$$A_1 \cdot \sigma_x + y \cdot \frac{d\sigma_x}{dx} + A_2 - A_3 \cdot x = 0. \quad (10)$$

A 10. egyenlet rendezése után egy homogén differenciálegyenlethez jutunk, amelynek megoldása a következő:

$$\begin{aligned} \sigma_x = & + \frac{y_2}{(y_2 + x \cdot \operatorname{tg} \alpha)} \cdot \left\{ \frac{4 \cdot \mu \cdot (k_{f2} - k_{f1}) \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \mu)}{l_d \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot (\operatorname{tg} \alpha - 2\mu)} \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{\operatorname{tg} \alpha - 2\mu}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \cdot \ln \frac{y_2}{y_1}} \right) - \right. \\ & - 2 \left[\frac{(k_{f2} - k_{f1}) \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \mu)}{l_d \cdot \operatorname{tg} \alpha} - \frac{\mu \cdot \sigma_{x2}}{y_2} + k_{f2} \cdot \frac{(\operatorname{tg} \alpha + \mu)}{y_2} \right] \cdot e^{-\left(\frac{\operatorname{tg} \alpha - 2\mu}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \cdot \ln \frac{y_2}{y_1}} \left. \right\} + \\ & + \left[\frac{(k_{f2} - k_{f1}) \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \mu) y_2}{l_d \cdot \mu \cdot \operatorname{tg} \alpha} + \frac{k_{f2} \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \mu)}{\mu} \right]. \quad (11) \end{aligned}$$

Ha feltesszük, hogy

$$\frac{\operatorname{tg} a - 2\mu}{\operatorname{tg} a} = \omega,$$

továbbá a képletben $l_d \cdot \operatorname{tg} a$ helyett $(y_1 - y_2) \cdot t$ írunk, akkor a 11. egyenlet a következőképpen írható fel:

$$\begin{aligned} \sigma_x = & \frac{y_x}{2 \cdot \mu} \cdot \left\{ \frac{4 \cdot \mu \cdot (k_{f2} - k_{f1}) \cdot (\operatorname{tg} a + \mu)}{(y_1 - y_2) (\operatorname{tg} a - 2 \cdot \mu)} \cdot \left[1 - \left(\frac{y_2}{y_x} \right)^\omega \right] - \right. \\ & - 2 \cdot \left[\frac{(k_{j2} - k_{f1}) \cdot (\operatorname{tg} a + \mu)}{(y_1 - y_2)} - \frac{\sigma_{x2} \cdot \mu}{y_2} + \frac{k_{j2} (\operatorname{tg} a + \mu)}{y_2} \right] \left(\frac{y_2}{y_x} \right)^\omega \left. \right\} + \\ & + \left[\frac{(k_{f2} - k_{f1}) \cdot (\operatorname{tg} a + \mu) \cdot y_2}{\mu \cdot (y_1 - y_2)} + \frac{k_{j2} \cdot (\operatorname{tg} a + \mu)}{\mu} \right]. \end{aligned} \quad (11a)$$

Ha $x = 0$, akkor $y_x = y_2$ és $\sigma_x = \sigma_{x2}$. Ha $x = l_d$, akkor $y_x = y_1$ és $\sigma_x = 0$; ennek a feltételnek segítségével a 11a egyenletből σ_{x2} kiszámítható:

$$\sigma_{x2} = k_{f2} \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} a + \mu}{\mu} \right) \cdot \left[1 + \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^{\frac{2\mu}{\operatorname{tg} a}} \right] - \left[2 \cdot (k_{f2} - k_{f1}) \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{d_1 - d_2} \right) \right]. \quad (12)$$

σ_{x2} a kilépő keresztmetszetben a húzott rúd keresztmetszetcsökkenése következtében fellépő tengelyirányú feszültség.

FR. KÖRBER és A. EICHINGER [3] szerint a belépő keresztmetszet mögött a feszültség, mely megfelel az ahhoz szükséges erőnek, hogy az anyag hosszirányú szálait a húzási szögnek megfelelően átvezesse:

$$\sigma_s = 0,192 \cdot (k_{f1} + k_{fx}) \cdot a, \quad (13)$$

úgyhogy a hossz tengely irányában a belépési és kilépési keresztmetszet között

$$\sigma'_x = \sigma_x + 0,192 \cdot (k_{f1} + k_{fx}) \cdot a \quad (14)$$

feszültséggel kell számolni. Ennek következtében a szerszám falán fellépő fajlagos nyomás (alakítási ellenállás):

$$k'_x = k_{fx} - \sigma'_x, \quad (15)$$

azaz

$$k'_x = k_{fx} - [\sigma_x + 0,192 \cdot (k_{f1} + k_{fx}) \cdot a], \quad (16)$$

ahol σ_x a 11a és k_{fx} a 6. egyenlettel van megadva.

A kilépő keresztmetszetben KÖRBER és EICHINGER [3] szerint

$$\sigma''_x = \sigma_{x2} + 2 \cdot \sigma_{xs} \quad (17)$$

feszültség lép fel, és így a rúdhúzáshoz szükséges húzóerő:

$$Z = f_2 \cdot \sigma''_x, \quad (18)$$

azaz

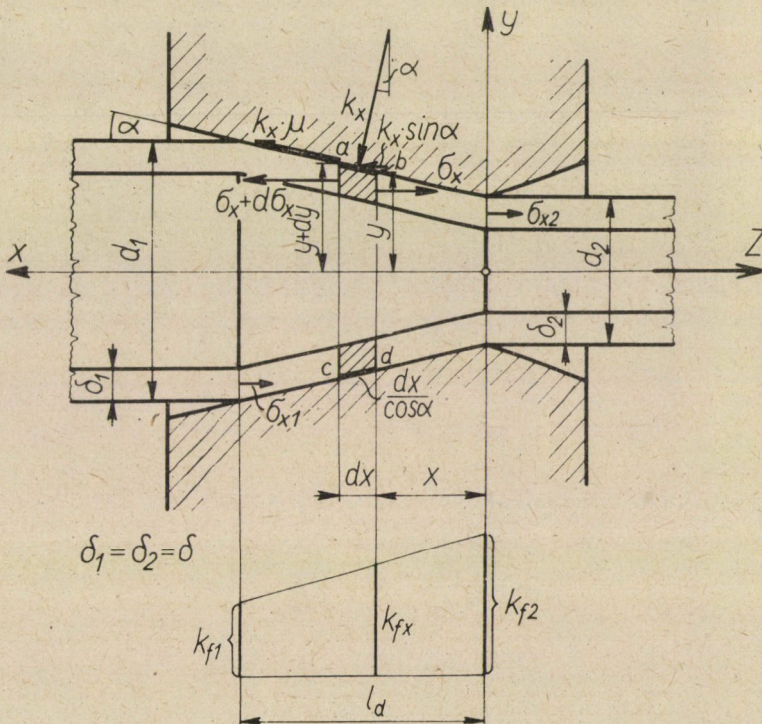
$$Z = \left\{ k_{f2} \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha + \mu}{\mu} \right) \cdot \left[1 + \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^{\frac{2\mu}{\operatorname{tg} \alpha}} \right] - \right. \\ \left. - \left[2 \cdot (k_{f2} - k_{f1}) \cdot \left(\frac{d_1 + d_2}{d_1 - d_2} \right) \right] + 0,385 \cdot (k_{f1} + k_{f2}) \cdot \alpha \right\} \cdot f_2, \quad (19)$$

ahol

$$f_2 = \frac{d_2^2 \cdot \pi}{4}.$$

Csőhúzás dugó nélkül

A húzóüregben alakváltozás állapotában levő csőrészből egy $abcd$ elemi csonkakúp alakú gyűrű (2. ábra) két egymástól dx távolságban levő síkklap által van kivágva. A gyűrűnek van két síkgyűrű fedőlapja és két csonkakúp palást alakú oldala. A külső csonkakúp alakú palástot, amely a húzóüreg falával érintkezik, k_x felületi fajlagos nyomás (alakítási ellenállás) terheli. A kifutási keresztmetszet felé néző síkgyűrű alakú fedőlapot σ_x feszültség,



2. ábra

a belépő keresztmetszet felé néző síkgyűrű alakú fedőlapot $\sigma_x + d\sigma_x$ feszültség terheli. A dx magasságú csonkakúp alakú elemi gyűrűre ható erők egyensúlyi feltételét x irányban a következő egyenlet fejezi ki, feltételezve, hogy $\delta_1 = \delta_2 = \delta$, azaz a cső falvastagsága a húzás folyamán nem változik:

$$-\sigma_x [y^2 - (y - \delta)^2] \pi + (\sigma_x + d\sigma_x) \cdot [(y + dy)^2 - (y + dy - \delta)^2] \pi + k_x \cdot \sin a \cdot df + k_x \cdot \mu \cdot \cos a \cdot df = 0. \quad (20)$$

Ebben az egyenletben:

$$y^2 - (y - \delta)^2 = 2 \cdot y \cdot \delta - \delta^2$$

$$(y + dy)^2 - (y + dy - \delta)^2 = 2(y + dy) \cdot \delta - \delta^2$$

és

$$df = \frac{dx}{\cos a} \cdot 2 \cdot \left(y + \frac{dy}{2} \right) \cdot \pi.$$

A behelyettesítések, majd a műveletek elvégzése után, minthogy $dy/dx = \operatorname{tg} a$, a következő differenciálegyenlethez jutunk:

$$2 \cdot \sigma_x \cdot \delta \cdot \operatorname{tg} a + \frac{d\sigma_x}{dx} \cdot 2 \cdot y \cdot \delta - \frac{d\sigma_x}{dx} \cdot \delta^2 + k_x \cdot (\operatorname{tg} a + \mu) \cdot 2y = 0. \quad (21)$$

Ebben az egyenletben az alakítási ellenállás:

$$k_x = (k_{fx} - \sigma_x) \cdot \frac{\delta}{y} \quad (22)$$

és az alakítási szilárdság:

$$k_{fx} = k_{f2} - \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot x. \quad (23)$$

Ha a 22. és 23. egyenletet a 21. differenciálegyenletbe behelyettesítjük, és a műveleteket elvégezzük, majd feltesszük, hogy

$$B_1 = \operatorname{tg} a - \mu, \quad (24)$$

$$B_2 = k_{f2} \cdot (\operatorname{tg} a + \mu), \quad (25)$$

$$B_3 = \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot (\operatorname{tg} a + \mu), \quad (26)$$

akkor a következő differenciálegyenletet kapjuk:

$$B_1 \sigma_x + \frac{d\sigma_x}{dx} \cdot (2y - \delta) + B_2 - B_3 \cdot x = 0. \quad (27)$$

Továbbá

$$y = y_x = x \cdot \operatorname{tg} a + y_2$$

és

$$x = \frac{y - y_2}{\operatorname{tg} a},$$

valamint

$$B_4 = \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha + \mu}{\operatorname{tg} \alpha} \right), \quad (28)$$

$$B_2 = B_4 \cdot y_2, \quad (29)$$

$$B_6 = B_2 + B_5, \quad (30)$$

ezeknek a 27. egyenletbe való behelyettesítése után a következő differenciál-egyenletet kapjuk:

$$\frac{d\sigma_x}{dx} [(2 \cdot \operatorname{tg} \alpha) \cdot x + (2 \cdot y_2 - \delta)] + [B_6 - (B_4 \cdot \operatorname{tg} \alpha) x - B_4 \cdot y_2 + B_1 \cdot \sigma_x] = 0. \quad (31)$$

Legyen

$$B_7 = 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (32)$$

$$B_8 = 2 \cdot y_2 - \delta, \quad (33)$$

$$B_9 = B_6 - B_4 \cdot y_2, \quad (34)$$

$$B_{10} = B_4 \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (35)$$

akkor a 31. differenciálegyenlet a következőképpen írható fel:

$$\frac{d\sigma_x}{dx} (B_7 \cdot x + B_8) + (B_9 - B_{10} \cdot x + B_1 \cdot \sigma_x) = 0, \quad (36)$$

illetve ez írható úgy is, hogy

$$\underbrace{(B_9 - B_{10} \cdot x + B_1 \cdot \sigma_x)}_P \cdot dx + \underbrace{(B_7 \cdot x + B_8)}_Q \cdot d\sigma_x = 0. \quad (37)$$

Ez az egyenlet integrálszorító segítségével megoldható, és így a húzott cső egyes keresztmetszeteiben a keresztmetszet csökkentéséhez szükséges feszültség:

$$\begin{aligned} \sigma_x = & \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha + \mu}{\operatorname{tg} \alpha - \mu} \right) \cdot \left\{ \left[k_{f2} - \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \frac{(\operatorname{tg} \alpha - \mu) \cdot l_d - (2y_2 - \delta)}{(3 \cdot \operatorname{tg} \alpha - \mu)} \right] \cdot \right. \\ & \cdot \left[\frac{(2y_2 - \delta) + 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot l_d}{(2y_2 - \delta) + 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot x} \right]^{\frac{\operatorname{tg} \alpha - \mu}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}} - \\ & \left. - \left[k_{f2} - \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \frac{(\operatorname{tg} \alpha - \mu) \cdot x - (2y_2 - \delta)}{(3 \cdot \operatorname{tg} \alpha - \mu)} \right] \right\}. \quad (38) \end{aligned}$$

Ha $x = l_d$, akkor $\sigma_x = 0$, ha $x = 0$, akkor a kilépő keresztmetszetben:

$$\begin{aligned} \sigma_{x2} = & \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha + \mu}{\operatorname{tg} \alpha - \mu} \right) \cdot \left\{ \left[k_{f2} - \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \frac{(\operatorname{tg} \alpha - \mu) \cdot l_d - (2y_2 - \delta)}{(3 \cdot \operatorname{tg} \alpha - \mu)} \right] \cdot \right. \\ & \cdot \left[\frac{(2y_2 - \delta) + 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot l_d}{(2y_2 - \delta)} \right]^{\frac{\operatorname{tg} \alpha - \mu}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}} - \\ & \left. - \left[k_{f2} + \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \frac{2y_2 - \delta}{(3 \operatorname{tg} \alpha - \mu)} \right] \right\}. \quad (39) \end{aligned}$$

A belépő keresztmetszet mögött az anyag hosszirányú szálainak a húzási szög irányában való átvezetéséhez szükséges erőnek megfelelő feszültség:

$$\sigma_{xs} = 0,145 \cdot (k_{f1} + k_{fx}) \cdot a, \quad (40)$$

úgyhogy a hossz tengely irányában a belépési és kilépési keresztmetszet között

$$\sigma'_x = \sigma_x + 0,145 \cdot (k_{f1} + k_{fx}) \cdot a \quad (41)$$

feszültséggel kell számolni. Ennek következtében a szerszám falán fellépő fajlagos nyomás (alakítási ellenállás):

$$k'_x = (k_{fx} - \sigma'_x) \cdot \frac{\delta}{y}, \text{illetőleg} \quad (42)$$

$$k'_x = \{k_{fx} - [\sigma_x + 0,145 \cdot (k_{f1} + k_{fx}) \cdot a]\} \cdot \frac{\delta}{y}, \quad (43)$$

ahol σ_x a 38. és k_{fx} a 23. egyenlettel van megadva.

A kilépő keresztmetszet mögött a húzófeszültség:

$$\sigma'' = \sigma_{x2} + 0,29 \cdot (k_{f1} + k_{f2}) \cdot a, \quad (44)$$

és így a csőhúzáshoz szükséges erő:

$$Z = f_2 \cdot \sigma'_{x2}, \quad (45)$$

ahol

$$f_2 = \left[\frac{d_2^2 - (d - 2\delta)^2}{4} \right] \cdot \pi = (d_2 \cdot \delta - \delta^2) \cdot \pi.$$

Csőhúzás dugóval

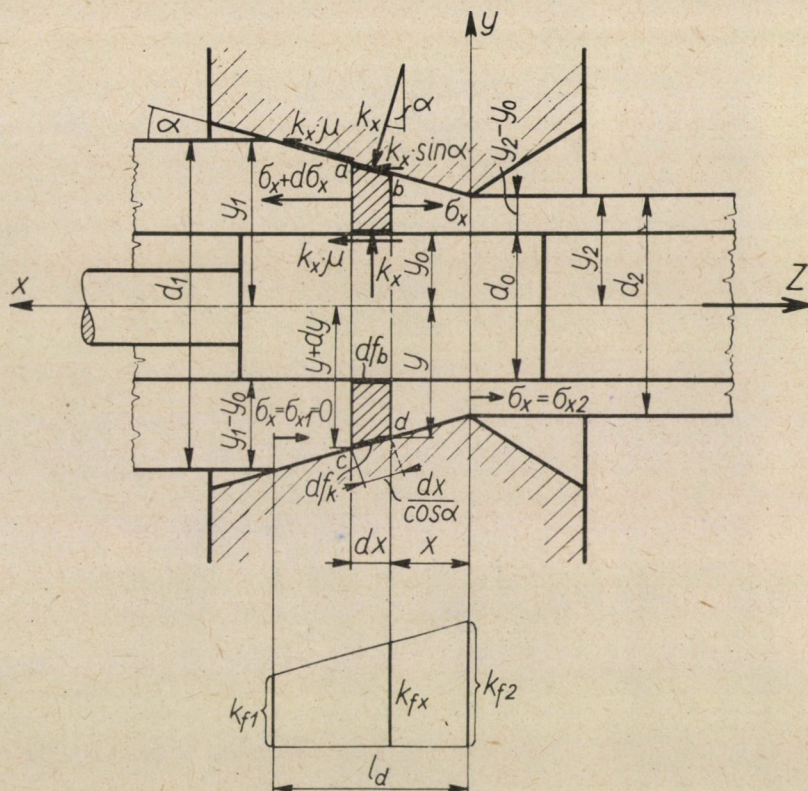
a) eset: A cső belső átmérője a húzás folyamán nem változik (3. ábra).

A húzóüregben alakváltozás állapotában levő csőrészből kivágott $abcd$ elemi gyűrű alakú térfogatot (3. ábra) két egymástól dx távolságban levő sík lappal képzeljük kivágottnak. A gyűrű alakú elemi csőrészt kívülről egy csonkakup palást (df_k) határolja, amelynek mentén a csőrész a húzóüreg felületével érintkezik, belülről egy hengerpalást (df_k) határolja, amelynek mentén a dugó felületével érintkezik. A gyűrű fedőlapja és alaplappja egy-egy körgyűrű. A térfogatelemre ható erők egyensúlyi feltételét x irányban a következő egyensúlyi egyenlet adja meg:

$$\begin{aligned} & -\sigma_x \cdot (y^2 - y_0^2) \cdot \pi + (\sigma_x + d\sigma_x) \cdot [(y + dy)^2 - y_0^2] \cdot \pi + \\ & + k_x \cdot \sin \alpha \cdot df_k + k_x \cdot \mu \cdot df_k \cdot \cos \alpha + k_x \cdot \mu \cdot df_b = 0. \end{aligned} \quad (46)$$

Ebb en az egyenletben

$$df_k = \frac{dx}{\cos \alpha} \cdot 2 \cdot \left(y + \frac{dy}{2} \right) \cdot \pi, \quad (47)$$



3. ábra

$$df_b = dx \cdot 2 \cdot y_0 \cdot \pi, \quad (48)$$

$$k_{fx} = k_{f2} - \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot x, \quad (49)$$

továbbá

$$(y + dy)^2 = y^2 + 2 \cdot y \cdot dy, \quad (50)$$

$$(y + dy)^2 - y_0^2 = (y^2 - y_0^2) + 2 \cdot y \cdot dy.$$

A behelyettesítések és műveletek elvégzése után a következő egyenletet kapjuk:

$$2 \cdot y \cdot dy \cdot \sigma_x + d\sigma_x \cdot (y^2 - y_0^2) + 2 \cdot k_x \cdot (\operatorname{tg} a + \mu) \cdot y \cdot dx + \\ + 2 \cdot k_x \cdot \mu \cdot y_0 \cdot dx = 0. \quad (51)$$

Mint hogy $dy/dx = \operatorname{tg} a$, az 51. egyenlet a következőképpen írható:

$$(2 \cdot \operatorname{tg} a) \cdot \sigma_x + \frac{d\sigma_x}{dx} \cdot \left(\frac{y^2 - y_0^2}{y} \right) + 2 \cdot k_x \cdot (\operatorname{tg} a + \mu) + \\ + 2 \cdot k_x \cdot \left(\frac{y_0}{y} \right) \cdot \mu = 0. \quad (52)$$

A 3. ábrából

$$y = y_x = y_2 + \operatorname{tg} a \cdot x, \quad (53)$$

$$\frac{y_0}{y} = \varphi - \psi \cdot x, \quad (54)$$

ahol

$$y_1 = \frac{d_1}{2}, y_x = \frac{d_x}{2}, y_2 = \frac{d_2}{2} \text{ és } y_0 = \frac{d_0}{2},$$

továbbá

$$\varphi = \frac{y_0}{y_2} = \frac{d_0}{d_2}, \quad (55)$$

$$\psi = \left(\frac{y_0}{y_2} - \frac{y_0}{y_1} \right) \cdot \frac{1}{l_d} = \left(\frac{d_0}{l_d} \right) \cdot \left(\frac{d_1 - d_2}{d_1 \cdot d_2} \right) = \frac{y_0}{l_d} \left(\frac{y_1 - y_2}{y_1 \cdot y_2} \right), \quad (56)$$

és így

$$\frac{y_0}{y} = \varphi - \psi \cdot x. \quad (57)$$

Vegyük továbbá, hogy

$$C_1 = 2 \cdot \operatorname{tg} a, \quad (58)$$

$$C_2 = y_2 - y_0 \cdot \varphi, \quad (59)$$

$$C_3 = (\operatorname{tg} a + y_0 \cdot \psi), \quad (60)$$

$$C_4 = 2(\operatorname{tg} a + \mu), \quad (61)$$

$$C_5 = k_{f2} \cdot C_4, \quad (62)$$

$$C_6 = \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot C_4, \quad (63)$$

$$C_7 = 2 \cdot \mu \cdot k_{f2} \cdot \varphi, \quad (64)$$

$$C_8 = 2 \cdot \mu \cdot k_{f2} \cdot \psi, \quad (65)$$

$$C_9 = 2 \cdot \mu \cdot \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \varphi, \quad (66)$$

$$C_{10} = 2 \cdot \mu \cdot \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \psi, \quad (67)$$

$$C_{11} = 2 \cdot \mu \cdot \varphi, \quad (68)$$

$$C_{12} = 2 \cdot \mu \cdot \psi, \quad (69)$$

$$C_{13} = (C_1 - C_4 - C_{11}), \quad (70)$$

$$C_{14} = (C_5 + C_7), \quad (71)$$

$$C_{15} = (C_6 + C_8 + C_9). \quad (72)$$

Ha a behelyettesítéseket és a műveleteket elvégezzük, akkor a következő egyenlethez jutunk:

$$(C_{13} + C_{12} \cdot x) \cdot \sigma_x + \frac{d\sigma_x}{dx} \cdot (C_2 + C_3 \cdot x) + C_{14} - C_{15} \cdot x + C_{10} \cdot x^2 = 0. \quad (73)$$

Legyen

$$u = C_2 + C_3 \cdot x, \quad (74)$$

továbbá tegyük, hogy

$$C_{16} = \frac{1}{C_3}, \quad (75)$$

$$C_{17} = \frac{C_2}{C_3}, \quad (76)$$

$$C_{18} = C_{12} \cdot C_{16}, \quad (77)$$

$$C_{19} = C_{12} \cdot C_{17}, \quad (78)$$

$$C_{20} = C_{15} \cdot C_{16}, \quad (79)$$

$$C_{21} = C_{15} \cdot C_{17}, \quad (80)$$

$$C_{22} = C_{10} \cdot C_{16}^2, \quad (81)$$

$$C_{23} = 2 \cdot C_{10} \cdot C_{16} \cdot C_{17}, \quad (82)$$

$$C_{24} = C_{10} \cdot C_{17}^2, \quad (83)$$

$$C_{25} = C_{13} \cdot C_{19}, \quad (84)$$

$$C_{26} = C_{14} + C_{21} + C_{24}, \quad (85)$$

$$C_{27} = C_{20} + C_{23}. \quad (86)$$

A műveletek elvégzése után a 73. egyenletből a következő egyenlethez jutunk:

$$C_3 \cdot \frac{d\sigma_x}{du} \cdot u + C_{26} + C_{25} \cdot \sigma_x - C_{27} \cdot u + C_{22} \cdot u^2 + C_{18} \cdot u \cdot \sigma_x = 0, \quad (87)$$

illetve

$$\underbrace{(C_3 \cdot \lambda \cdot u)}_P \cdot d\sigma_x + \lambda \cdot \underbrace{(C_{26} + C_{25} \cdot \sigma_x - C_{27} \cdot u + C_{22} \cdot u^2 + C_{18} \cdot u \cdot \sigma_x)}_Q \cdot du = 0, \quad (88)$$

ahol λ az integrálszorító. Minthogy

$$\frac{\partial P}{\partial u} = \frac{\partial Q}{\partial \sigma_x}, \quad (89)$$

a 88. egyenletből σ_x meghatározható:

$$\sigma_x = \frac{-C_{26} \int_u u^r \cdot e^{s \cdot u} \cdot du + C_{27} \int_u u^{(r+1)} \cdot e^{s \cdot u} \cdot du - C_{22} \int_u u^{(r+2)} \cdot e^{s \cdot u} \cdot du - K_a}{C_3 \cdot u^{(r+1)} \cdot e^{s \cdot u}}, \quad (90)$$

ahol

$$C_3 = (\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi), \quad (60)$$

$$C_{22} = 2 \cdot \mu \cdot \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \frac{\psi}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)^2}, \quad (91)$$

$$\begin{aligned} C_{26} = & 2 \cdot k_{f2} \cdot [\operatorname{tg} \alpha + \mu \cdot (1 + \varphi)] + \left\{ 2 (\operatorname{tg} \alpha + \mu) \cdot \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) + \right. \\ & \left. + 2 \cdot \mu \cdot \left[k_{f2} \cdot \psi + \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \varphi \right] \right\} \cdot \left(\frac{y_2 - y_0 \cdot \varphi}{\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi} \right) + \\ & + 2 \cdot \mu \cdot \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \psi \cdot \left(\frac{y_2 - y_0 \cdot \varphi}{\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi} \right)^2, \quad (92) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{27} = & \frac{2 \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \mu) \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) + 2 \cdot \mu \cdot \left[k_{f2} \psi + \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \varphi \right]}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)} + \\ & + 4 \cdot \mu \cdot \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \psi \cdot \frac{(y_2 - y_0 \cdot \varphi)}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)^2}, \quad (93) \end{aligned}$$

ebből a feltételből a 90. egyenlet segítségével a K_a számítható:

$$\begin{aligned} -C_{26} \int_u u^r \cdot e^{s \cdot u} \cdot du + C_{27} \cdot \int_u u^{(r+1)} \cdot e^{s \cdot u} \cdot du - \\ - C_{22} \cdot \int_u u^{(r+2)} \cdot e^{s \cdot u} \cdot du - K_a = 0. \quad (94) \end{aligned}$$

A 90. egyenletben:

$$u = (y_2 - y_0 \cdot \varphi) + (\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi) \cdot x, \quad (74a)$$

$$r = -1 - 2 \cdot \mu \cdot \left[\frac{(1 + \varphi)}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)} + \psi \cdot \frac{(y_2 - y_0) \cdot \alpha}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)^2} \right], \quad (95)$$

$$s = \frac{2 \cdot \mu \cdot \psi}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)^2}, \quad (96)$$

φ és ψ értékét az 51. és 52. egyenlet adja meg.

A szerszám falán fellépő fajlagos nyomás (alakítási ellenállás), ha $l_d \geq x \geq 0$, a fentiek szerint (5. és 41. egyenlet):

$$k'_x = k_{fx} - [\sigma_x + 0,145 \cdot (k_{f1} + k_{fx}) \cdot \alpha], \quad (97)$$

ahol k_{fx} -t a 49., a σ_x -t a 90. egyenlettel kell meghatározni.

A kilépő keresztmetszet mögött a tengelyirányú húzófeszültség:

$$\sigma'_{x2} = \sigma_{x2} + 0,29 \cdot (k_{f1} + k_{f2}) \cdot \alpha. \quad (98)$$

A csőhúzáshoz szükséges húzóerő pedig:

$$Z = \sigma'_{x_2} \cdot f_2, \quad (99)$$

ahol

$$f_2 = \left(\frac{d_2^2 - d_0^2}{4} \right) \cdot \pi. \quad (100)$$

b) eset. A húzott cső belső és külső átmérője kisebb lesz (4. ábra).

A csőhúzásnak ez a módja a dugó nélküli csőhúzásnak és a dugós csőhúzás *a)* esetének kombinációjaképpen fogható fel. Az I. szakaszban, amely az *AA* egyenesig tart, amikor az x, y_I koordinátarendszer origója O_I pont, a csőhúzása dugó nélkül történik, a II. szakaszban pedig, amely az *AA* egyenestől a kilépési keresztmetszetig tart, amikor x_I koordinátarendszerben O_{II} az origó, a csőhúzása dugóval történik a dugós csőhúzás *a)* esetének megfelelően.

Az *AA* egyenesnek megfelelő keresztmetszetben a tengelyirányú feszültséget a 39. egyenlettel lehet meghatározni, amely ez esetben a következőképpen alakul:

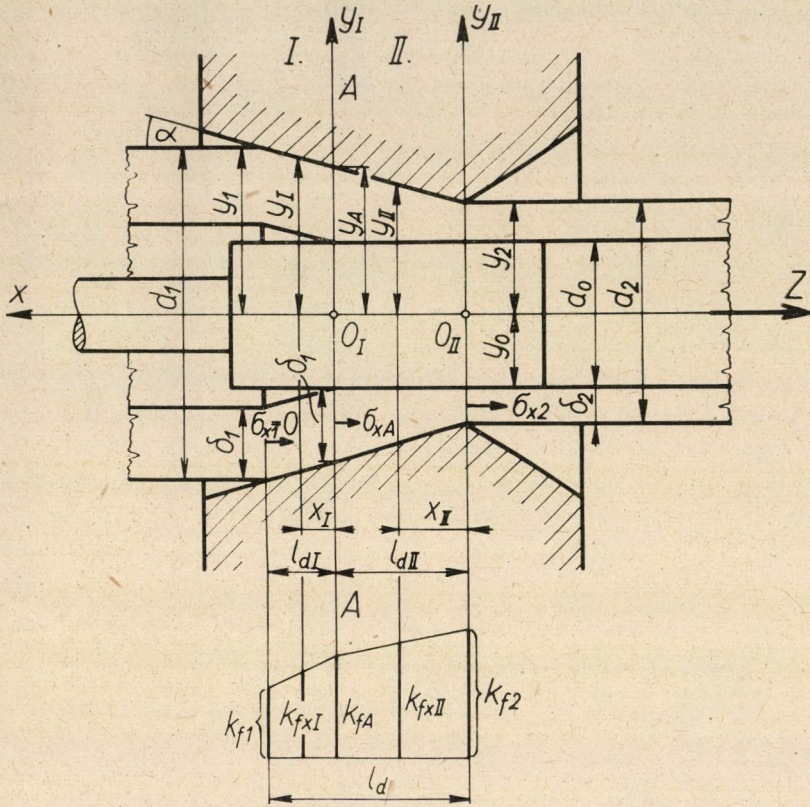
$$\begin{aligned} \sigma_{xA} = & \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha + \mu}{\operatorname{tg} \alpha - \mu} \right) \cdot \left[\left[k_{fA} - \left(\frac{k_{fA} - k_{f1}}{l_{d1}} \right) \cdot \right. \right. \\ & \cdot \left. \frac{(\operatorname{tg} \alpha - \mu) \cdot l_{d1} - (2 \cdot y_A - \delta_1)}{(3 \operatorname{tg} \alpha - \mu)} \right] \cdot \left[\frac{(2 \cdot y_A - \delta_1) + 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot l_{d1}}{(2 \cdot y_A - \delta_1)} \right]^{\left(\frac{\operatorname{tg} \alpha - \mu}{2 \operatorname{tg} \alpha} \right)} - \\ & \left. - \left[k_{fA} + \left(\frac{k_{fA} - k_{f1}}{l_{d1}} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot y_A - \delta_1}{3 \cdot \operatorname{tg} \alpha - \mu} \right) \right] \right]. \quad (101) \end{aligned}$$

Az I. szakaszban a cső egyes keresztmetszeteiben a tengelyirányú feszültség (38. egyenlet):

$$\begin{aligned} \sigma_{xI} = & \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha + \mu}{\operatorname{tg} \alpha - \mu} \right) \cdot \left[\left[k_{fA} - \left(\frac{k_{fA} - k_{f1}}{l_{d1}} \right) \cdot \right. \right. \\ & \cdot \left. \frac{(\operatorname{tg} \alpha - \mu) \cdot l_{d1} - (2 \cdot y_A - \delta_1)}{(3 \cdot \operatorname{tg} \alpha - \mu)} \right] \cdot \left[\frac{(2 \cdot y_A - \delta_1) + 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot l_{d1}}{(2 y_A - \delta_1) + 2 \operatorname{tg} \alpha \cdot x_I} \right]^{\left(\frac{\operatorname{tg} \alpha - \mu}{2 \operatorname{tg} \alpha} \right)} - \\ & \left. - \left[k_{fA} - \left(\frac{k_{fA} - k_{f1}}{l_{d1}} \right) \cdot \frac{(\operatorname{tg} \alpha - \mu) \cdot x_I - (2 y_A - \delta_1)}{(3 \cdot \operatorname{tg} \alpha - \mu)} \right] \right]. \quad (102) \end{aligned}$$

Az I. szakaszban a szerszám falán fellépő fajlagos nyomás (alakítási ellenállás) a 43. egyenlet alapján:

$$k'_{xI} = \left\{ k_{fxI} - [\sigma_{xI} + 0,145 \cdot (k_{f1} + k_{fxI}) \cdot \alpha] \right\} \frac{\delta_1}{y_{xI}}, \quad (103)$$



4. ábra

ahol

$$k_{fxI} = k_{fA} - \left(\frac{k_{fA} - k_{f1}}{l_{dI}} \right) \cdot x_1. \quad (104)$$

A II. szakaszban a cső egyes keresztmetszeteiben a tengelyirányú feszültséget a 90. egyenlet segítségével kell kiszámítani. Ebben az esetben a C_3 , C_{22} , C_{26} és C_{27} állandókat oly módon kell meghatározni, hogy ahol a 60., 91., 92. és 93. képletben k_{f1} szerepel, ott k_{fA} -t, ahol y_1 szerepel, ott y_A -t, ahol l_d szerepel, ott l_{dII} -t kell behelyettesíteni (4. ábra). A φ -t és a ψ -t is ugyanilyen módon kell meghatározni.

A 90. egyenletben szerepel egy K állandó. Ezt az állandót a b) dugós csőhúzási esetben abból a feltételből kell meghatározni, hogy $x = l_{dII}$ -nél $\sigma_{xII} \equiv \sigma_{xA}$. Tehát

$$\begin{aligned} K_b = & \sigma_{xA} \cdot C_3 u^{(r+1)} \cdot e^{s \cdot u} + C_{26} \cdot \int_u u^r \cdot e^{s \cdot u} \cdot du - \\ & - C_{27} \cdot \int_u u^{(r+1)} \cdot e^{s \cdot u} \cdot du + C_{22} \int_u u^{(r+2)} \cdot e^{s \cdot u} \cdot du. \end{aligned} \quad (105)$$

A kilépő keresztmetszetben az alakításból eredő tengelyirányú feszültséget σ_{x_2} -t a 90. egyenlettel a most felsorolt feltételek mellett $x_{11} = 0$ helyen kell meghatározni.

A II. szakaszban a szerszám falán fellépő fajlagos nyomás (alakítási ellenállás) a 97. egyenlet alapján:

$$k'_{x_{11}} = k_{f_{x_{11}}} - [\sigma_{x_{11}} + 0,145 \cdot (k_{f_A} + k_{f_{x_{11}}}) \cdot a], \quad (106)$$

ahol

$$k_{f_{x_{11}}} = k_{f_2} - \left(\frac{k_{f_2} - k_{f_A}}{l_{d_{11}}} \right) \cdot x_{11}. \quad (107)$$

A csőhúzáshoz szükséges húzóerő:

$$Z = f_2 \cdot \sigma'_{x_2}, \quad (108)$$

ahol

$$\sigma'_{x_2} = \sigma_{x_2} + 0,29 \cdot (k_{f_A} + k_{f_2}) \cdot a, \quad (109)$$

f_2 a cső keresztmetszete húzás után.

Csőhúzás (-tolás) rúdon

a) eset. *A húzott cső belső átmérője a húzás folyamán nem változik (5. ábra).*

A csőhúzásnak ez az esete a dugós csőhúzás a) esetétől annyiban tér el, hogy a gyűrű alakú elemi térfogatra ható erők közül a dugó felületén működő súrlódási erő előjele negatív. Az erők egyensúlyi egyenlete tehát a következőképpen hangzik:

$$-\sigma_x \cdot (y^2 - y_0^2) \cdot \pi + (\sigma_x + d\sigma_x) \cdot [(y + dy)^2 - y_0^2] \cdot \pi + k_x \cdot \sin \alpha \cdot df_k + k_x \cdot \mu \cdot \cos \alpha \cdot df_k - k_x \cdot \mu \cdot df_b = 0. \quad (110)$$

Ebben az egyenletben k_x az 5. és 49. egyenlettel, df_k a 47. egyenlettel, df_b a 48. egyenlettel van kifejezve. A 110. differenciálegyenlet σ_x -re megoldva a 90. egyenletet adja, amikor

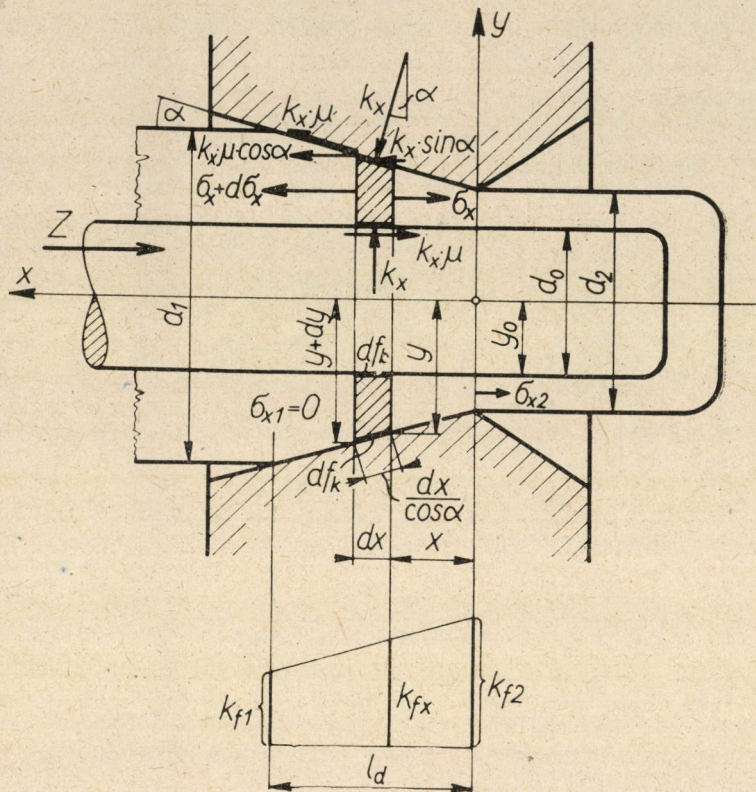
$$u = (y_2 - y_0 \cdot \varphi) + (\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi) \cdot x, \quad (74a)$$

$$r = 2 \cdot \mu \cdot \left[\frac{(\varphi - 1)}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)} + \psi \cdot \frac{(y_2 - y_0 \cdot \varphi)}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)^2} \right] - 1, \quad (111)$$

$$s = - \frac{2 \cdot \mu \cdot \psi}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)^2}. \quad (112)$$

Az állandó pedig a 90. egyenletben:

$$C_3 = \operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi, \quad (60)$$



5. ábra

$$C_{22} = -2 \cdot \mu \cdot \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \frac{\psi}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)^2}, \quad (113)$$

$$C_{26} = 2 \cdot k_{f2} \cdot [\operatorname{tg} \alpha + \mu(1 - \varphi)] + \left\{ 2(\operatorname{tg} \alpha + \mu) \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) - \right. \\ \left. - 2 \cdot \mu \cdot \left[k_{f2} \cdot \psi + \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \varphi \right] \right\} \cdot \left(\frac{y_2 - y_0 \cdot \varphi}{\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \beta} \right) - \\ - 2 \cdot \mu \cdot \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \psi \cdot \left(\frac{y_2 - y_0 \cdot \varphi}{\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi} \right)^2, \quad (114)$$

$$C_{27} = \frac{\left[2 \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \mu) \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \right] - 2 \cdot \mu \cdot \left[k_{f2} \cdot \psi + \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \varphi \right]}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)} - \\ - 4 \cdot \mu \cdot \left(\frac{k_{f2} - k_{f1}}{l_d} \right) \cdot \psi \cdot \frac{(y_2 - y_0 \cdot \varphi)}{(\operatorname{tg} \alpha + y_0 \cdot \psi)^2}. \quad (115)$$

A σ_x egyenletében (90) szereplő K_a állandót a 94. egyenlet segítségével kell meghatározni, abból a feltételből, hogy $\sigma_x = 0$, ahol $x = l_d$. A rúdon való csőhúzás esetében a változókat és állandókat a 74a., 111., 112., 60., 113., 114. és 115. egyenlettel kell meghatározni.

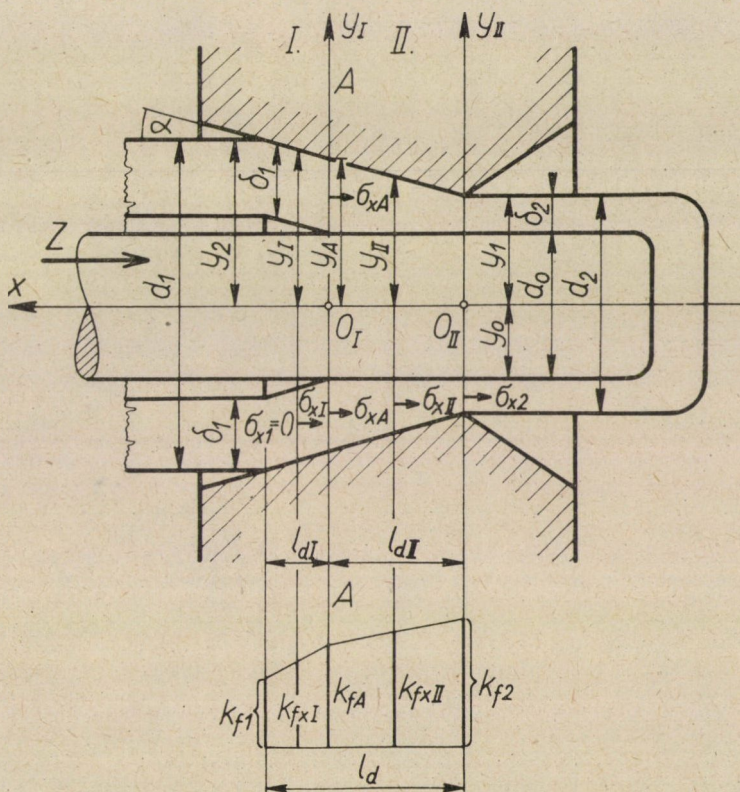
Az alakítási ellenállást a 97. egyenlet, az alakítási szilárdságot a 49. egyenlet segítségével lehet meghatározni. A húzóerő:

$$Z = \sigma'_{x2} \cdot f_2, \quad (116)$$

ahol σ'_{x2} a 98. egyenlettel határozandó meg.

b) eset. A húzott cső külső és belső átmérője változik a húzás folyamán (6. ábra).

A csőhúzásnak ez az esete a dugó nélküli csőhúzásnak és a rudas csőhúzás a) esetének kombinációjaképpen fogható fel. Az I. szakaszban, amely a belépési keresztmetszettől az AA egyenesig tart, amikor az xy_1 koordináta-



6. ábra

rendszer origója O_I pont, a cső húzása dugó nélkül történik. A II. szakaszban pedig, amely az AA egyenestől a kilépési keresztmetszetig tart, amikor az xy_{II} koordináta-rendszer origója O_{II} , a cső húzása rúdon történik, a rúdon való csőhúzás (tolás) a) esetének megfelelően.

Ezek szerint az I. szakaszban bármelyik keresztmetszetben a σ_x tengelyirányú feszültség a 38. egyenlettel határozható meg, amikor is ez egyenletben l_d helyett l_{d1} , k_{f2} helyett k_{fA} és δ helyett δ_1 helyettesítendő be. A felületi fajlagos nyomás (alakítási ellenállás) az I. szakaszban a 43. egyenlettel határozható meg, amelyben k_{fx} a 23. egyenlettel van megadva.

Az AA egyenesnek megfelelő keresztmetszetben a tengelyirányú feszültség, σ_{xA} a 39., illetve a 101. egyenlettel határozható meg.

A II. szakaszban, a cső egyes keresztmetszeteiben a tengelyirányú σ_x feszültséget a 90. egyenlet segítségével kell meghatározni. A benne előforduló u változó és az állandók a 74a., 111., 112., 60., 113., 114. és 115. egyenlettel határozandók meg. A 90. egyenletben szereplő K_b állandót pedig ugyanúgy, mint a 105. egyenlet esetében abból a feltételből kell meghatározni, hogy $x = l_{d11}$ -nél $\sigma_{xII} = \sigma_{xA}$. Az állandókat itt is a rúdon való csőhúzás a) esetének megfelelően kell megválasztani.

A II. szakaszban a szerszám felületén fellépő fajlagos nyomás a 106. és 107. egyenlet segítségével határozható meg.

A húzáshoz szükséges húzóerő:

$$Z = \sigma'_{x2} \cdot f_2, \quad (117)$$

ahol σ'_{x2} az a feszültség, amely $x_{II} = 0$ -nál, azaz a kilépő keresztmetszetben lép fel. f_2 a húzott rúd keresztmetszete a húzás után. A húzóerő képletében:

$$\sigma'_{x2} = \sigma_{x2} + 0,29 \cdot (k_{fA} + k_{f2}) \cdot a. \quad (118)$$

IRODALOM

1. POMP, A., SIEBEL E. u. HOUDREMONT E.: Über den Kraft- und Arbeitsbedarf beim Kaltziehen von Drähten. Mitt. K. Wilh.-Inst. Eisenforsch. 11 (1929), S. 53–72.
2. SACHS, G.: Zur Theorie des Ziehvorganges. Z. ang. Math. u. Mech. (ZAMM), 7 (1927), S. 235–236.
3. KÖRBER, FR. u. EICHINGER A.: Die Grundlagen der bildsamen Verformung. Mitt.-K.-Wil.-Inst. Eisenforsch. 22 (1940), S. 57–80.
4. GELEJI, A.: Die Berechnung der Kräfte und des Arbeitsbedarfs bei der Formgebung im bildsamen Zustande der Metalle. Verlag der Ung. Akademie der Wiss. Budapest, 1955. S. 240–263.
5. GELEJI, A.: Bildsame Formung der Metalle in Rechnung und Versuch. Akademie-Verlag, Berlin, 1960. S. 430–460.
6. HOFFMANN, O. u. SACHS, G.: Introduction to the Theory of Plasticity for Engineers. McGraw-Hill, New York, 1953. S. 164–203.
7. HILL, R.: The Mathematical Theory of Plasticity. Oxford at the Clarendon Press, 1950.
8. SCHNEIDER, M.: Die Berechnung der Ziehkraft beim Ziehen von Rohren. Stahl u. Eisen, 82 (1962), S. 354–356. Vergl. Hutnik 28 (1961), S. 79–84.
9. SCHNEIDER, M.: Ciagarstwo. Wydawnictwo Górniczo-Hutnicze, Katowice 1961. S. 144–173.

AZ 50-PERIÓDUSÚ VASÚTVILLAMOSÍTÁS TOVÁBBFEJLŐDÉSE HAZÁNKBAN ÉS KÜLFÖLDÖN*

RATKOVSKY FERENC

AKADÉMIKUS

Szerző vázolja a világon elsőként Magyarországon 1923—1931-ben kifejlesztett és üzembekevert 50-periódusú vasútvillamosítás (Ganz—Kandó-rendszer szerint) külföldi országokban való elterjedésének akkori nehézségeit. Ezeket a nehézségeket az 1938—1944-ben ugyancsak Magyarországon kifejlesztett és legyártott tetszőleges teljesítményre és sebességre alkalmas, periódusváltós rendszerű járművek, amelyeknek sebessége veszteség nélkül folytonosan változtatható volt, továbbá a Francia Államvasutak 1950—1955-ben keresztülvitt nagyszabású kísérletei, valamint a francia és más külföldi gyárak által kifejlesztett ignitronos mozdonyok teljesen elhárították. Összehasonlítja a háború után Magyarországon, sajnos, nem szerencsésen választott csúsztatógyűrűs hajtómotorú 5 fix sebességfokozattal rendelkező periódusváltós mozdonyok műszaki adatait és üzemi tapasztalatait a Francia Államvasutak által megrendelt és az üzemben igen jól bevált rövidrezárt hajtómotoros, veszteség nélkül folytonosan változtatható sebességű periódusváltós mozdonyokéval, és rámutat a magyarországi 50-periódusú vasútvillamosítást, valamint mozdonyipart az 1947—48. évi helytelen típusválasztás miatt ért hátrányokra.

Hangsúlyozza a Francia Államvasutak és gyárak nagyszabású fejlesztési munkáinak döntő fontosságát, ami végül az ignitronos mozdonyok kifejlesztése által véglegesen eldöntötte a vasútvillamosítás gazdaságos rendszerét a Magyarországon már 20 évvel azelőtt kifejlesztett és megvalósított 50-periódusú rendszer javára. Ez a legújabb száraz egyenirányító (Si) mozdonyok kifejlesztése következtében még döntőbb mértékűvé vált. Végül rámutat az 50-periódusú mozdonyok még egy továbbfejlesztési lehetőségére, amely szerint az egyenirányítók és a rövidrezárt motorok előnyei a jövőben esetleg egyesítve lesznek felhasználhatók az 50-periódusú járművekben. Ez a megoldás a legegyszerűbb és legüzembiztosabb villamosított járműveket fogja eredményezni.

I. Az 50-periódusú rendszer fejlődése a második világháború előtt

1952. évi első székfoglalómat** az 50-periódusú vasútvillamosításról tartottam, egyrészt, mert Magyarország — amely a Valtellina vasút 1898. évben kezdett villamosítása által a nagyteljesítményű és nagyfeszültségű vasutak villamosításában általában is első volt az egész világon — a hegyeshalmi 187 km kétvágányú fővonalnak 1931—1932-ben a Ganz—Kandó-rendszer szerint történt villamosítása által az 50-periódusú vasútvillamosítás út-

* RATKOVSKY Ferenc akadémikus 1961. december 3-án tartott székfoglalója. A székfoglaló megtartásakor az elnök közölte a hallgatósággal, hogy bár az alapszabályok értelmében vitának helye nincs, ha a hallgatóság részéről valakinek az elmondottakkal kapcsolatban megjegyzése, illetve hozzászólása lenne és azt az Akadémia Műszaki Osztályához eljuttatja, az előadó készséggel válaszol a hozzászólásokra akár írásban, akár egy esetleg külön megrendezendő ülés keretében szóbelileg. A székfoglaló hallgatósága részéről az Akadémiához megjegyzés vagy felszólalás nem érkezett.

** MTA Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei, 1953.

törője volt, és ezzel Magyarországnak világhírnevet szerzett, másrészt, mert Magyarország az 50-periódusú mozdonyoknak első székfoglalóban részletesen ismertetett korszerű továbbfejlesztése által élenjáró szerepét az egész világgal szemben 1935-től 1950-ig tovább is megtartotta.

Jelen második székfoglalómat ugyanebben a témakörben kívánom megtartani, egyrészt, mert az 50-periódusú vasútvillamosítás, nagy gazdasági jelentősége miatt, úgy nemzetközileg, mint hazai viszonylatban, ma is az érdeklődés gyújtópontjában van, másrészt, mert a Magyarország által továbbfejlesztett periódusváltós mozdonyok által elért tényleges, világviszonylati eredményeket az eddig elterjedt hiányos és gyakran nem is egészen helyes információkkal szemben, a ma már rendelkezésre álló *tényleges statisztikai adatok* ismertetésével Magyarország presztízse és a szükséges konzekvenciák levonása érdekében világosan *közismertté* kívánom tenni, és végül, mert a ma már az egész világ előtt győztes 50-periódusú járművek még további — ismét magyarországi kezdeményezésű — továbbfejlesztési lehetőségére is rá kívánok röviden mutatni.

Bevezetőül, az első székfoglalóban ismertettekre hivatkozva, néhány szót szeretnék általánosságban szólni az 50-periódusú rendszer fejlődésével kapcsolatban.

Mint már említettem — és mint ez az egész világon közismert — az 50-periódusú vasútvillamosítási rendszer úttörője Magyarország volt, amely KANDÓ Kálmán nagyjövőjű elgondolása és szerkezete alapján már *ezelőtt 30 évvel* 50 periódussal villamosította ténylegesen a budapest—hegyeshalomi fővonalat, több mint *20 évvel előzve* meg ezzel a világ összes többi országait, melyeknél ez a periódus csak 1952 után kezdődött.

KANDÓ konkrét elgondolásait — mint ismeretes — már 1918-ban kezdte meg. Az első világháború után, a 20-as években készültek el az első nagyteljesítményű 50-periódusú kísérleti mozdonyok, 1923-ban, 38 évvel ezelőtt került már üzembe az első 50-periódusú budapest—alagi vonal, amelynek alapján a hegyeshalomi fővonal villamosítása 1931—32-ben megvalósíthatóvá vált.

A 20-as és 30-as évek óta KANDÓ Kálmán, VEREBÉLY László és a szerző állott az egész világ műszaki véleményével szemben, egészen a második világháború végéig azzal, hogy a gazdaságos vasútvillamosításnak — amelynek mind nagyobb gazdasági jelentősége lesz a jövőben — egyedüli jövője az 50-periódusú rendszer, a *döntő mértékben kisebb beruházási költségek miatt*. A vasútvillamosításnak, mely mint ismeretes, igen nagymértékű szénmegtakarítást okoz, és számottevően fokozza a pályák kihasználhatóságát, legfőbb akadálya — mint szintén ismeretes — mindig az volt, hogy igen nagy beruházási költségeket igényel. A villamosítás elterjedése tehát döntő módon meggyorsulhat az egész világon, ha a beruházási költségek számottevően csökkenthetők, és éppen ezt a döntő előnyt biztosította az 50-periódusú rendszer.

Ezzel nem azt akarom mondani, hogy a $16^{2/3}$ -periódusú és egyenáramú vasútvillamosítás annak idején nem volt helyes, ellenkezőleg, meg kívánom állapítani, hogy abban az időben, amikor Svájc, Franciaország, Németország, Svédország, Olaszország és Ausztria stb. a nagyobbarányú villamosítást megkezdte — tehát az első világháború előtt és közvetlenül utána — a villamosítást *helyesen kezdték el és folytatták* $16^{2/3}$ -periódussal vagy egyenárammal, mert abban az időben 50-periódusú járművek megfelelő tulajdonságokkal még korántsem állottak rendelkezésre, és az országos hálózati viszonyok sem tették indokolttá az 50 periódus alkalmazását.

Akkoriban ugyanis — az első világháború előtt és közvetlenül utána — az 50-periódusú országos hálózatok még igen kevésbé voltak kifejlesztve, egyrészt nem is hálózták be kellőképpen az országot, másrészt teljesítményük is kicsi volt ahhoz, hogy a vasút részére a feltétlenül szükséges üzembiztonságot nyújtani tudták volna. Indokolt volt tehát akkor, hogy a vasutak feltétlen üzembiztonság elérésére saját nagyteljesítményű hálózatot kívántak építeni és fenntartani. Saját hálózat esetén azonban a felhasznált áram részben függetleníthető volt az 50-periódusú országos hálózatoktól, és így a vasutak olyan rendszert választhattak, amelynek megfelelő nagyteljesítményű és nagysebességű járművek a technika akkori fejlődési szintjének megfelelően, már kifogástalan minőségben rendelkezésre állottak. Erre való tekintettel abban az időben, amikor még megfelelő tulajdonságokkal bíró (nagyteljesítményű, nagysebességű, aránylag kis súlyú és áru) 50-periódusú járművek nem voltak ismeretesek, az egyes országok államvasutai *helyesen* választották a $16^{2/3}$ -periódusú vagy egyenáramú rendszert.

Amikor Magyarország a budapest—hegyeshalomi vonalat villamosította, akkor ezek a szempontok úgy a hálózatok kiterjedése és teljesítménye, mint a járműveket illetően még nagyrészt fennállottak. Tisztában kell lennünk ugyanis azzal, hogy a Kandó-mozdony — az első nagyteljesítményű 50-periódusú mozdony a világon — zseniális alkotás és úttörő lépés volt, amely a magyarországi vasúti viszonyoknak *akkor* kifogástalanul meg is felelt, azonban a külföldi nagy vasutak fokozott követelményeinek — teljesítmény, sebesség — távolról sem tudott megfelelni. A külföldi országok államvasutai tehát helyesen jártak el az első világháború után még a 30-as években is — amikor a hegyeshalomi vonal 50 periódussal már üzemben volt —, hogy vonalaikat továbbra is 16 periódussal vagy egyenárammal villamosították, mert az ő céljaiknak megfelelő teljesítményű és sebességű 50-periódusú mozdonyok és motorkocsik ebben az időben még egyáltalán nem voltak beszerezhetőek.

KANDÓ Kálmánnak és VEREBÉLY Lászlónak — akikhez a harmincas évek elején a magam részéről is teljes mértékben csatlakoztam — nagy érdeme az volt, hogy egyrészt a magyarországi akkori viszonyoknak teljesen megfelelő megoldást ténylegesen létre tudtak hozni, másrészt, hogy ezzel *elindították* az 50-periódusú villamosítási folyamatot, mert nem volt kétséges — amit hang-

súlyoztunk is annak idején állandóan —, hogy ha az egyes országok vasutainak és a villamosmozdonyokat gyártó nagyvállalatoknak érdeklődése kellőleg felébred az 50-periódusú villamosítással kapcsolatban, az 50-periódusú járművek fejlődése is általánosan megindul, és hamarosan nemcsak eléri a 16 periódusú és egyenáramú járműveket — úgy műszaki tulajdonságokban, mint gazdaságosságban és korszerűségben —, hanem túl is fogja haladni azokat, mint ahogy ez ma már az elért eredmények által bebizonyíthatóan be is következett.

Első székfoglalómban a Kandó-féle rendszert és a budapest—hegyeshalmi fővonal villamosítását részletesen ismertettem. Ugyancsak ismertettem a rendszer továbbfejlődését is, a höllentali kísérleti üzemet, tovább a Francia Államvasutak nagy körületekintéssel végzett Annecy—Aix les Bains-i kísérleteit, egészen a Francia Államvasutak nagyszabású 50-periódusú villamosításának küszöbéig, amely időszakot az 50-periódusú rendszer továbbfejlődése első periódusának kívánom nevezni.

A továbbfejlődés első periódusában az első lépéseket a Német Államvasutak a német és svájci villamosmozdonyiparral közösen tette meg azzal, hogy a *Höllentalbahn*-t kísérleti célokra 50 periódussal villamosította négy különféle rendszerű kísérleti mozdonnyal. Mint ezt első székfoglalómban részletesen ismertettem, a kísérlet annak idején kellő eredménnyel nem járt. A négy kísérleti mozdony tulajdonságai nem voltak olyanok, amelyek a már bevált $16\frac{2}{3}$ -periódusú mozdonyokkal felvehették volna a versenyt, és ezért az 50-periódusú villamosítás sem Németországban, sem más országban annak idején nem terjedt tovább. A höllentali vonal 50 periódussal egyelőre tovább is elszigetelten üzembn maradt, és mint ismeretes, a legközelebbi múltban került átalakításra a német országos hálózatnak megfelelőleg $16\frac{2}{3}$ -periódusúvá.

A továbbfejlesztés első periódusában a második lépés a Ganz—Ratkovszky-féle *periódusváltós rendszer* feltalálása és kifejlesztése volt, melyet első székfoglalómban szintén teljes részletességgel ismertettem, és ezért ennek részleteire ezúttal nem kívánok rámutatni. Csak azt kell megjegyezmem, hogy míg a Kandó-rendszer KANDÓ zseniális elgondolása alapján a 30-as évek magyarországi igényeit kifogástalanul ki tudta elégíteni, a tapasztalatok alapján ez a szerkezet kb. 2500 Le-nél és 100 km/óra sebességnél nagyobb teljesítményre, illetve sebességre nem volt elkészíthető, és ezért ahhoz, hogy az 50-periódusú rendszer tovább terjedhessen a világon, feltétlenül szükséges volt olyan 50-periódusú jármű kifejlesztésére, amely a korszerű teljesítmény- és sebességigényeket kifogástalanul ki tudja elégíteni. Ennek a feltételnek teljes mértékben megfelelt az általam a Ganz Villamossági Gyárban közvetlenül az első világháború előtt, illetőleg alatt kifejlesztett periódusváltós rendszer, amely *bármely teljesítményű és sebességű* mozdonyok gyártását gazdaságos és korszerű kivitelben lehetővé tette. E rendszer szerint a második világháború alatt egy motorkocsi és néhány 4000 Le-s teljesítményű, 125 km/óra maximális sebességű mozdony készült Magyarországon.

Ebben az időben, a 30-as évek végén, Magyarország tehát az 50-periódusú villamosítás, illetve villamosjárművek gyártása terén *ismét a legelső volt* az egész világon.

II. Az 50-periódusú rendszer fejlődése a második világháború után

Az 50-periódusú járművek továbbfejlesztése a második világháború után tovább folytatódott, egyrészt Magyarországon, további vonalak 50 periódusú villamosítása és további járművek építése által, másrészt — sokkal nagyobb dimenziókban — Franciaországban, ahol az Államvasutak belátva azt, hogy az 1500 volt egyenárammal elkezdett villamosítás továbbfejlesztése gazdasági ellehetetlenüléshez vezet, kényszerítve volt rendszert változtatni. A Francia Államvasút igen nagy alapossággal tanulmányozta a különféle rendszerek gazdaságosságát, és nagyszabású kísérleteket kezdett el az 50-periódusú villamosítás esetleges bevezetése érdekében. Mint ismeretes, az Annecy—Aix les Bains-i vonalat kísérleti célból 50-periódussal villamosította, és 1950-ben e kísérleti vonalhoz különböző típusú mozdonyokat és motorkocsikat rendelt meg. E mozdonyok és motorkocsik kipróbálása után a kedvező műszaki és gazdasági eredmények következtében elhatározta, hogy *a további villamosítást Franciaországban 50-periódussal fogja végezni, és 1952-ben megkezdődött Franciaország nagyszabású 50-periódusú villamosítása*, kezdve a Valenciennes—Thionville-i vonallal, melyhez a Francia Államvasutak 1952-ben százöt nagyteljesítményű 50-periódusú mozdonyra adott ki rendelést. Miután a leggazdaságosabb mozdonytípus véglegesen eldönthető még az Annecy-i kísérletek után sem volt, a Francia Államvasutak egyrészt hatvanöt 2740 Le-s Ward-Leonard rendszerű 50-periódusú Co—Co mozdonyt rendelt, melyek ugyan nem feleltek meg a leggazdaságosabb és legkorszerűbb mozdonyok követelményének, azonban évtizedek óta ismert szerkezetű elemekből állván, feltétlenül üzembiztos mozdonyokat jelentettek. Ezenkívül a korszerű továbbfejlesztés érdekében megrendelésre kerül még húsz 4100 Le-s periódusváltós Co—Co mozdony, tizenöt 3000 Le-s kommutátor motoros Bo—Bo mozdony és öt 3450 Le-s ignitronos Bo—Bo mozdony azzal, hogy ezek közül fogja a Francia Államvasutak megfelelő tapasztalatok után a legjobban megfelelő típust kiválasztani. Mint a rendelt darabszámokból is látható, legmegfelelőbb típusnak a Francia Államvasutak abban az időben a magyarországi eredetű Ganz—Ratkovszky rendszerű periódusváltós mozdonyt tartotta.

Az annecy-i kísérleti mozdonyokkal és azok eredményeivel első székfoglalómban már részletesen foglalkoztam, tehát ezekre ezúttal részletesebben rátérni már nem kívánok. Székfoglalóm azzal a végkövetkeztetéssel zárult, hogy a jövőt illetően minden valószínűség szerint a periódusváltós mozdony mellett a legnagyobb jövőt az egyenirányítós mozdonyok részére lehet előre

látni, amelyekkel szemben a váltakozóáramú kommutátoros motorú mozdony és motorkocsi mindinkább háttérbe fog szorulni, azzal, hogy a periódusváltós és egyenirányítós típusok egy ideig valószínűleg paralel fognak alkalmazásra kerülni mindaddig, míg a tapasztalatok az egyik — éspedig valószínűleg az egyenirányítós — javára a kérdést végleg el nem döntik. Jelen székfoglalóban ettől az időponttól kezdve megindult fejlődéssel és annak eredményeivel, továbbá a jövő lehetőségeivel kívánok részletesebben foglalkozni.

Mindenekelőtt meg kell állapítani, hogy a fejlődés teljes mértékben első székfoglalóban előrelátottaknak megfelelően történt: a kezdeti időben a periódusváltós és egyenirányítós rendszer egymás mellett került megrendelésre (20 : 5 arányban a periódusváltós rendszer javára), majd a kísérleti eredmények alapján az egyenirányítós kivitel került a vezető helyre, a váltakozóáramú kommutátoros kivitel pedig teljesen háttérbe szorulva, még motorkocsik részére sem került már alkalmazásra.

III. A vasútvillamosítás fejlődése Magyarországon a második világháború után

Ugyanebben az időben, mint már említettem, Magyarországon is tovább fejlődött az 50-periódusú villamosítás. A budapest—miskolci 200 km-es fővonal villamosításának munkálatai megkezdődtek, és a kormányzat — felismerve a villamosítás óriási gazdasági jelentőségét — további számos fővonal 50-periódusú villamosítását határozta el. Egyidejűleg gyártásba kerültek a 3200 Le-s 125 km maximális sebességű 5 sebességfokozatú periódusváltós Bo—Co mozdonyok prototípusai, melyeket folytatólágyosan követett egy annak idején kb. 30 db-ra tervezett sorozat gyártása.

Sajnos, az ipar által gyártásba vett fix sebességű, vízindítós, csúsztatógyűrűs motorú mozdonytípus — amely típust a következőkben röviden Bo—Co-nak fogom nevezni, beleértve ebbe a megnevezésbe a tengelyelrendezésen kívül a mozdony villamosrendszerét is — a periódusváltós rendszernek *legkevésbé* megfelelő kiviteli formáját képezte.

Ennek a kiviteli formának a terve már 1938-ban is felmerült, azonban előre látva a típus igen súlyos hátrányait és beláthatatlan nehézségeit, ezek gyártásbavételét akkor — mint a Ganz Villamosági Gyár akkori felelős vezetője — még el tudtam hátrítani. Helyette a periódusváltós rendszernek az akkori lehetőségeknek megfelelő legjobb műszaki tulajdonságokkal bíró *rövidrezárt* motorú kétféle kivitele került gyártásba, melyek közül az egyik átmeneti típusként készült — addig, míg a Ganz-gyár a nagyteljesítményű egyenáramú gépek gyártására képessé válik — a jövő, már *akkori* megállapítás szerint is, a másik gyártásba került típusé, a *folytonosan változtatható sebességű kivitelé volt*. A második világháború után, amikor a gyártandó típust illetően a döntés 1947-ben és 1948 elején kellő tapasztalat nélkül megtörtént, és ezzel

a továbbfejlesztés *jóvátehetetlenül* helytelen irányba indult, sajnos nem volt módom a szerencsétlen választást ezúttal is megváltoztatni, és a népgazdaságot a bekövetkező súlyos károktól mentesíteni.

1949-től kezdve — amikor a Ganz-gyár kifejlesztési munkájába *bizonyos mértékben* ismét bekapcsolódtam, sajnos a helyzet már adott volt, és csak az a lehetőség állt még nyitva, hogy az alapjában helytelenül választott szerkezet üzembiztonsága — amennyiben az a túl komplikált szerkezet miatt egyáltalán lehetséges volt — egyes szerkezeti részek egyszerűsítése és biztonságának emelése által megnöveltessék. (Igy pl. a periódusváltó tekercselés mechanikus megfogásának és szigetelésének erősítése, az 5-ik sebességet elhagyva, két tekercselés helyett egy tekercselés alkalmazása, a csúsztató gyűrűk kerületi sebességének csökkentése stb. által.)

Hangsúlyozni kell, hogy sajnos a helytelenül választott Bo—Co típus sem *műszaki*, sem *vontatási tulajdonságok*, sem *üzembiztonság* szempontjából nem lehetett és nem is volt kellő mértékben korszerű.

E típus vízellenállásos indítóval 5 fix sebességre készült — tehát már azért sem tudott volna a nemzetközi korszerű követelményeknek megfelelni —, ezenfelül azonban vonóereje sem volt kielégítő, mert a választott rendszer igen kedvezőtlen tapadási tulajdonságai miatt maximális indító vonóereje kicsi volt. Rendkívül bonyolult szerkezete miatt pedig üzembiztonsága mélyen alatta maradt annak, amit a sokkal egyszerűbb szerkezetű általánosan használatos típusok biztosítani tudnak.

A periódusváltós rendszer lehetőségei között ennek a legkevésbé szerencsés típusnak választása és erőltetése által Magyarország az 50-periódusú villamosítás és villamosjárművek gyártása terén az első világháború végéig megőrzött vezető pozícióját tovább tartani már nem tudta, és ezzel sajnos *végleg lekerült* az élvonalbeli 50-periódusú mozdonyokat kifejlesztő és gyártó országok közül, ami természetesen népgazdaságunknak felbecsülhetetlen nagyságú morális és gazdasági károkat okozott.

Mint ismeretes, a Francia Államvasutak az Oerlikon cégnél húsz periódusváltós mozdonyt rendelt meg, amelyek teljes egészükben a magyarországi 1938. évi — Franciaországban és Németországban is megadott — Ganz—Ratkovszky-féle szabadalom szerint készültek. Tekintve, hogy a hazai ipar a már megadott francia szabadalmat érthetetlen módon nem tartotta fenn, a Francia Államvasutak és a külföldi gyártó cégek a szabadalmat sajnos minden Magyarországnak fizetendő ellenszolgáltatás nélkül felhasználhatták. A Francia Államvasutak 1952. évben ezt a rendszert tekintették a legjobbnak és legfejldésképesebbnek. Ha Magyarország 1948-ban a szerencsétlenül választott Bo—Co kivitel helyett ugyanezt a rendszert választotta volna (melyből egy kísérleti kivitel a világháború alatt el is készült, mely azonban érthetetlen módon még kipróbálásra sem került), *amely rendszer a legkorszerűbb vontatási karakterisztikákat biztosította maximális tapadó erővel*, és veszteség nélkül

szabályozható tetszőleges sebességgel járó kivitel képezett —, akkor Magyarország a nagy francia vasútvillamosítás előestéjén újból nemzetközi világsikert aratott volna, és egyrészt *vezetőpozícióját az egész világon legalább 1956-ig fenntartotta volna*, másrészt biztos sikerrel *részt vehetett volna a Francia Államvasutak részére 1952—1955-ben történt nagyszabású mozdonyszállításokban*. Természetes ugyanis, hogy ebben az esetben az Oerlikon helyett teljes egészében vagy legalább nagy részben Magyarország kapta volna meg a *saját szabadalma* szerint gyártandó húsz periódusváltós mozdony kb. 6 millió dollár értékű szállítását. Mindezen túlmenően pedig e nagyszabású mozdonyszállítás következtében *ma Magyarország nyilvánvalóan benne volna az 50-periódusú mozdonyokat gyártó európai munkaközösségben is*, melyben *mindazon* cégek benn vannak ma, amelyek a Francia Államvasutak részére az első nagyszabású és sikeres mozdonyszállításokat végezték. Ezzel természetesen Magyarország külföldön *beláthatatlan értékű erkölcsi és anyagi* sikerekhez jutott volna.

A helyzet világos megítélésének és az ebből folyó tanulságok levonásának lehetővé tételére alábbiakban néhány összehasonlító adatot kívánok ismertetni, a hazai ipar által 1947—48-ban sajnos helytelenül választott Bo—Co típusú, és a Francia Államvasutaknál üzemben levő — ugyancsak magyar találmányt képező — rövidrezárt motoros periódusváltós mozdonyokra vonatkozólag.

A *Bo—Co típusú* periódusváltós mozdony egyrészt csak fix sebességfokozatokon tud gazdaságosan vontatni (25, 50, 75, 100, 125 km/óra), másrészt a gyorsítások idejére az energia felemésztésére víz reosztátot kell alkalmazni, amely egyrészt mint szerkezet sem tekinthető korszerűnek egy mozdonyon, másrészt mint ismeretes, gyorsításkor igen nagy energiavesztéseket okoz (indításkor 2000—2500 kW veszteség lép fel!). Mint ismeretes továbbá, a víz reosztáttal induló aszinkron motorokkal meghajtott kerekek tapadási tulajdonságai igen kedvezőtlenek, ezért a Bo—Co mozdonyok, bár induláskor a víz reosztátban elvesző energia következtében igen nagy energiát vesznek fel a hálózathoz — amely gyakran fázisból való kiesésekre is vezetett —, maximális indító vonóerejük, a kerekek megesészsása miatt aránylag kicsiny.

Mindezen nem kedvező üzemi tulajdonságokhoz járult még az a számottevő szerkezeti hátrány, hogy a már amúgy is kényes szerkezetű fázisváltó, a vele egybeépített kétkerkeseléses periódusváltó miatt oly rendkívül költséges és bonyolult gépcsoporttá vált, melynek üzembiztonsága — mint az teljes mértékben előrelátható volt — számottevően lecsökkent. A szerkezet bonyolultsága és nem kellő mértékű üzembiztonsága egyrészt hosszú évekig tartó súlyos kifejlesztési nehézségeket okozott, amelyek a vasútvillamosítás kellő ütemben való fejlesztését hazánkban több mint 5 évig akadályozták, másrészt a gyakori meghibásodások az üzemben sok zavart okoztak.

Ezzel szemben a *Francia Államvasutak által* rendelt, ugyancsak *magyarországi találmány szerint épült periódusváltós rendszer* fix sebességek helyett *folytonos sebességű görbével* rendelkezik, vagyis a mozdony bármely sebességgel

járhat jó hatásfokkal, mind az indítás, mind a gyorsítás *veszteségmentes*. A lassítás megállásig *rekuperációval* történik, a kerekek *tapadása* az egyenáramú és kommutátoros 50-periódusú mozdonyokat messze felülmúlva, a lehető legkedvezőbb, *ugyanolyan jó, mint az ignitronos mozdonyoké*. A mozdonyok kezelése valamennyi rendszer között a világon a legegyszerűbb, és végül a mozdonyok *semmilyen bonyolult szerkezetű gépet nem tartalmaznak*, az alkalmazásra kerülő gépek egyszerűbbek, mint a Ward—Leonard mozdonyok gépei, a hajtómotorok *súlya pedig kisebb, mint bármely más rendszeré*.

Sajnos a fentiekben felsorolt — a két típus műszaki tulajdonságai között *nagyságrendben* mutatkozó különbségek a típus kiválasztásánál nálunk kellőképpen nem vették figyelembe. A Bo—Co mozdonyokkal a gyakorlatban ténylegesen bekövetkezett kedvezőtlen tapasztalatok után is — mereven kitartva a fix sebességű, csúsztatógyűrűs motorú, vízindítós rendszer mellett, különböző, azonban kellőképpen egyáltalán nem helytálló okokra (pl. elégtelen indítóerő, rezonanciajelenségek stb.) hivatkozva — *határozott állásfoglalás* történt amellet, hogy a Bo—Co, a periódusváltós rendszer egyetlen helyes kiviteli szerkezete, és hogy a rövidrezárt hajtómotorú rendszer megfelelően egyáltalán nem is használható, avval, hogy a Francia Államvasutak Oerlikon-nál megrendelt mozdonyai sem fognak beválni az üzemben.

Ennek az álláspontnak — amely természetesen homlokegyenest szemben állt úgy az én, mint a Francia Államvasutak részletes tanulmányokban is kifejtett véleményével — tarthatatlanságát annak idején érvelésen túlmenőleg tények által sajnos nem lehetett bebizonyítani, és így az ipar gyártási programját megváltoztatni, mert a folyamatos sebességű rövidrezárt motoros mozdonyok üzemi tapasztalatai — minthogy az 1944-ben készre gyártott ilyen rendszerű motorkocsi még csak ki sem próbáltatott — nem álltak rendelkezésre, és ezért a Bo—Co mozdonyok gyártását, a MÁV *súlyos mozdonyhiánya miatt*, a Bo—Co mozdonyok gyártásával és üzemével tett és még a jövőben is folyamatosan várható kedvezőtlen tapasztalatok ellenére is, folytatni kellett, mert a nagy mozdonyhiány miatt a gyártás *abbahagyása még súlyosabb károkat okozott volna* a népgazdaságnak, mint az üzemzavarok.

Ma azonban, miután a francia mozdonyok évek óta üzemben vannak, és tényleges üzemi statisztikai rendelkezésre állanak, célszerűnek látszik ezek alapján az alábbiakban világosan közismertté tenni a valóságos helyzetet.

Kétségtől fennáll, hogy az első Oerlikon-mozdony üzembehelyezésénél egy, az Oerlikon-cég részére váratlan nehézség mutatkozott, amely a mozdonyok sorozatos üzembehelyezését kb. 2 évvel eltolta. Nyomatékosan hangsúlyozni kell evvel kapcsolatban azonban, hogy abban az esetben, ha e mozdonyokat Magyarország szállította volna, ez a nehézség egyáltalán nem is mutatkozott volna, mert a magyar erőáramú ipar — mint ismeretes, az 1940. évben végzett előkísérletek alapján, valamint MÁNDI Andornak vonatkozó alapos

elméleti munkája következtében — az Oerlikon-cég által figyelmen kívül hagyott azt a jelenséget, hogy az indításkor fellépő egészen kis periódusszámoknál az ohmikus ellenállások már nem hanyagolhatók el, és emiatt az indító vonóerő, megfelelő intézkedések híján, nem kielégítő, már annak idején — 1940-ben — megállapította. Így ez az üzembehelyezéskor mutatkozó zavar — amelynek következtében a mozdonyok motorait és az indítás módját kisebb mértékben meg kellett változtatni — Magyarországból történő szállítás esetén teljes mértékben elkerülhető lett volna.

Ettől a kezdeti nehézségtől eltekintve — egyes kis jelentőségű gyermekbetegségeken kívül (mint csapágymelegedés, csúsztatógyűrű szigetelési hiba a gépcsoportokban stb.), más lényeges hiba e mozdonyoknál egyáltalán nem mutatkozott, így pl. a nálunk e rendszer hátrányaként hangoztatott rezonanciajelenségek egyáltalán nem léptek fel *sohasem*. E mozdonyok *kezelés szempontjából a legegyszerűbbek* valamennyi között, és a Francia Államvasutak hivatalos véleménye szerint e mozdony össztulajdonsága a kommutátoros motorú rendszert is messze megelőzve az ignitronos mozdony *után a legjobb valamennyi 50-periódusú mozdony között*.

A közben eltelt idő alatt a Francia Államvasutak periódusváltós mozdonyai — miután a gyár a fentebb említett hibát teljesen kiküszöbölte — sorozatosan üzembe kerültek, jelenleg állandó, kifogástalan használatban állanak, s ma már rendelkezésre állanak az összes tényleges üzemi tapasztalatok.

A mozdonyok általános műszaki jellemzése után, azok tényleges üzemi viselkedését illetően összehasonlításuképpen a következő jellemző konkrét üzemi adatokat kell közölni:

Amíg a Francia Államvasutaknál az 1960. év első felében (tehát a prototípus közforgalmi üzembehelyezésétől számított 4. évben) az állandó üzembehelyezett 19 mozdony összes üzemidejének *88,2%-ában* volt üzemképes állapotban, addig a magyarországi 10 Bo—Co mozdony (az I. és II. prototípusokat nem is számítva) — ha nem is mutattak oly kedvezőtlen üzemi eredményt, mint ez néhány évvel ezelőtt nyilvánosságra lett hozva — de mégis, a prototípus közforgalmi üzembehelyezése utáni 10. évben, 1960-ban, az összes üzemidőnek csak *66,4%-ában* volt üzemképes.

Javításra és karbantartásra a Francia Államvasutaknál 1960-ban ezer km-enként összesen 11 munkaóra volt szükséges, ezzel szemben a Bo—Co mozdonyoknál ugyanezen célra ugyancsak 1960. évben ezer km-enként több mint háromszor annyi munkaórát kellett fordítani, amely utóbbi értékben *a gyárban végzett javítások ideje nincsen benne*.

A kétféle típus legjellemzőbb tulajdonságait egymás mellé állítva tehát a következőket kell megállapítani:

A *Ganz-gyár* által választott Bo—Co rendszer csak 5, illetve 4 fix sebességen használható, az indítás és gyorsítás vízreosztással és igen nagy — 2000—2500 kW-ot kitevő — veszteséggel jár.

A Francia Államvasutak által választott típus tetszőleges sebességgel járhat egyaránt jó hatások mellett, az indítások és gyorsítások *veszteségmentesek*, a lassítás megállásig rekuperációval történik.

A legfőbb műszaki és üzemi jellemző adatok pedig a két rendszerre a következők:

A villamosberendezés *fajlagos súlya*; francia: 13,6 kg/Le; Bo—Co: 13,8 kg/Le.

Önköltség: Miután a Bo—Co fázis- és periódusváltós gépcsoportjának kg-onkénti ára igen bonyolult szerkezete miatt kb. 50%-kal magasabb, mint az egyszerű szerkezetű forgógépeké, a Bo—Co fajlagos önköltsége kb. 15—20%-kal nagyobb, mint az egyszerű gépekből álló kivitel.

Max. indító vonóerő (megcsúszás nélkül) francia: kb. 35% (amely még fokozható), ill. Bo—Co: kb. 27%.

Üzemképtelen napok/év francia: 11,8%, ill. Bo—Co: 33,6%.

Karbantartási munkaórák/1000 km francia: 11, ill. Bo—Co: több mint háromszoros.

Az Oerlikon-mozdonyokra vonatkozó adatok a Francia Államvasutak közlése alapján vannak feltüntetve, amivel kapcsolatban a Francia Államvasutak még azt is közölte, hogy az 1960. évben a 11,8%-ot kitevő üzemképtelen napok számát (ahol a meghibásodásokat 49%-ban a mozdonyon levő készülékek kisebb hibái okozták) 2 éven belül — tehát a közforgalmi üzembehelyezés 6-ik évében — kb. 6—7%-ra fogják — a készülékek még fennálló kisebb tökéletlenségeinek kiküszöbölése által — leszállítani.

Ezek szerint tehát a sokkal kedvezőtlenebb műszaki és egyéb tulajdonságokon felül az 1947—48. években nem kellő és tárgyilagos megfontolások alapján választott fix sebességű csúsztatógyűrűs, vízindítós Bo—Co rendszer gyakorlatilag azonos lóerőnkénti súly mellett

önköltségben kb. 15—20%-kal drágább,

tapadási max. vonóereje azonos súlynál legalább 25%-kal kisebb,

a gyakori meghibásodások miatt évenként kb. háromszor annyi időn át üzemképtelen a közforgalmi üzembehelyezés utáni 10-ik évben, mint a folytonos sebességű francia periódusváltós mozdonyok a 4. évben, és

karbantartása is többszörösét igényli munkaórákban (több mint 3-szorosát).

Azt hiszem, hogy fenti adatok alapján — melyek *tényleges üzemstatistikai adatok* — további megjegyzésre a két mozdonyrendszer összehasonlításához nincsen szükség. Sajnos meg kell állapítani, hogy 1947—48-ban a rendszer kiválasztása igen szerencsétlenül történt, amely szerencsétlen választás népgazdaságunknak sajnos igen súlyos következményeket okozott.

Azonkívül ugyanis, hogy Magyarország ily módon teljesen lekerült az 50-periódusos mozdonyokat kifejlesztő és gyártó világcégek közül — noha 1948-ig a vezetőhelyet foglalta el — a súlyos presztízssérvelmen kívül számottevő exportról is lemaradt. Ezenfelül a Bo—Co mozdonyok csaknem 10 évig tartó

súlyos gyermekbetegségei és egyéb kedvezőtlen tulajdonságai miatt, a kormányzat által — más országokat megelőzve — már 1949-ben elhatározott és a tervekbe be is épített 50-periódusú nagyszabású vasútvillamosítást megfelelő mozdonyok híján abba kellett hagyni, illetve el kellett halasztani, és ebből úgy a MÁV-nak, mint az egész országnak mérhetetlen nagy kára származott.

Mint ismeretes, a Bo—Co mozdonyok gyártását azok kedvezőtlen tulajdonságai, igen magas ára, állandó meghibásodásai és karbantartási nehézségei miatt, a kb. 30 mozdonyra tervezett első sorozattal szemben előbb 19 mozdonyra, majd 14 mozdonyra kellett redukálni, végül pedig a MÁV és az Országos Tervhivatal kívánságára 12 mozdony után abba is kellett hagyni.

A Bo—Co mozdonyok gyártásában és azok üzemeltetésében gyakorlatilag előállott súlyos helyzet miatt Magyarország kénytelen volt 1957-ben a villamosmozdonygyártást *teljesen beszüntetni*, és így az az ország, ahonnan az 50-periódusú villamosmozdonyok kiindultak, és amely hivatott lett volna ilyeneket az egész világnak szállítani, a Bo—Co típus helytelen választásával elkövetett hibás lépés következtében kénytelen volt ezt a területet teljesen feladni. Nemcsak nem tudott exportálni, hanem *saját szükségletét* is csak import útján tudta volna *megfelelő minőségű* mozdonyokkal kellő időben fedezni. A helyzet olyan súlyos volt, és annyi kár keletkezett, hogy az illetékes szervek — véleményemmel szemben — arra az elhatározásra jutottak, hogy mindennemű villamosmozdony hazai gyártását egyelőre teljesen fel kell adni, avval, hogy a MÁV szükségletét továbbiakig *import* útján fedezze.

Hogy ma, 1961-ben ez az álláspont már megváltozott, és a villamosmozdonyok gyártását a jövőben Magyarország mégis tovább fogja folytatni, az csak annak köszönhető, hogy a MÁV részére szükséges időkre nem volt lehetséges elegendő mennyiségű villamosmozdonyt importálni, és így az ország kényszerült a villamosmozdonyok gyártását ismét felvenni, és pedig megfelelő korszerű rendszer kifejlesztésének elmulasztása miatt, a megfelelő vontatási tulajdonságokkal bíró, azonban egyébként már nem korszerű, kisteljesítményű Ward—Leonard (WL) mozdonyokét.

A MÁV legsürgősebb szükségletének fedezésére harminc 1300 Le-s ilyen Ward—Leonard mozdony gyártása van jelenleg folyamatban, melyeket még további kb. 10—15 olyan WL mozdony fog követni, amelyeknél a teljesítmény lényegtelen súly- és önköltségtöbblet mellett 2000 Le-re van megemelve.

1300 Le mozdonyteljesítmény ugyanis általános használatra még a MÁV csökkentett igényeinek sem tud megfelelni. Ezt a kis teljesítményt kizárólag azért kellett választani, mert amikor világosan kitűnt hogy a Bo—Co mozdonyok a MÁV-nak — az addig befektetett nagy költségek ellenére — *semmiképpen* sem felelnek meg, a MÁV — a mind súlyosabbá váló mozdonyhiányra való tekintettel — *a lehető legrövidebb időn belül* egy kisebb sorozat Ward—Leonard mozdony leszállítását igényelte az ipartól. A gyors leszállítás lehetővé tétele érdekében a MÁV e mozdonyok alsó teljesítményhatárát 1100 Le-ben

adta meg. Ezáltal a MÁV részére igen sürgős Ward—Leonard mozdonyok szállítása meglevő (csak kisebb átalakítást igénylő) szerkezetek felhasználása által addig is lehetővé vált, amíg az általam már akkor javasolt, a MÁV részére szükséges, de még kikísérletezendő lényegesen nagyobb (kb. 2000 Le) teljesítményű típus kifejlesztése megtörténik. Sajnos azonban a WL-mozdonyok megrendelését nagyon hátráltatta az a már említett 1957—58-ból származó elhatározás, mely szerint a villamosmozdony szükségletet hazai gyártás helyett továbbiakig import útján kell fedezni.

A nagyobb teljesítményű típus felső teljesítményhatárát a Klement Gottwald-gyár, a mozdony megengedhető súlyhatárán belül — több mint 15%-kal kedvezőbb fajlagos súlyt érve el ezáltal a francia WL mozdonyokhoz képest — 2000—2100 Le-ben határozta meg, a meglevő, már üzemben is kipróbált és bevált vontatómotorok felhasználásával, melyek teljesítménye POLYÁK László, a Klement Gottwald-gyár mérnökének alapos tanulmánya és javaslata alapján megfelelő biztonsággal kellőképpen felemelhető volt. Sajnos azonban, a KG-gyár által idejében meg is tervezett 2000 Le-s mozdonyok prototípusainak megrendelésére vonatkozó döntés nagyon későn történt. Lényeges előnyt jelentett volna a MÁV részére, ha — ismételt sürgető javaslataimnak megfelelően — a 2000 Le-s prototípus idejében elkészülhetett volna, ami lehetővé tette volna egyrészt, hogy gyermekbetegségei és esetleges hibái alapos kipróbálás után teljes mértékben kiküszöbölhetőkké váltak volna, másrészt, hogy a megrendelt harminc Ward—Leonard mozdony legnagyobb része már 2000 Le-s kivitelben készülhetne, ami a fajlagos önköltség közel 30%-os csökkentésének felelt volna meg.

A harminc már gyártásban levő általános jellegű használatra túl kisteljesítményű 1300 Le-s WL mozdonyok jobb kihasználására figyelembe kell venni esetleg azt a lehetőséget, hogy igen nehéz tehervonatok vontatása 2 ily mozdony által történjen közös vezérléssel. A két mozdony kb. 145 tonna összsúlya ez esetben 2000—2500 tonnás tehervonatok vontatását is lehetségessé teszi. Ez esetben még azt a lehetőséget is figyelembe kell venni, hogy a második mozdonynak a szerelvényhez való hozzákapcsolása esetleg csak a nehezebb útszakaszokon válik szükségessé.

A szükségmegoldásként jelenleg gyártásban levő WL mozdonyokkal kapcsolatban sajnos ismét rá kell mutatnom arra, hogy ha az ipar 1947—48-ban a Bo—Co rendszer helyett a Francia Államvasutak által 1952-ben helyesen választott és *világviszonylatban is bevált típusú* (amelyből Magyarországon egy próbadarab már 1944 óta le is volt gyártva, de sajnos érthetetlen módon kipróbálásra nem került) periódusváltós mozdony gyártását kezdte volna el, akkor a már eddig említett előnyökön kívül még az az előny is fennállana, hogy az 1300 Le-s és 2000 Le-s Ward—Leonard mozdonyok helyett kb. *ugyanabból a súlyból és árból kb. 2500—2700 Le-s* — a legjobb vontatási karakteri sztikákkal bíró — Bo—Bo mozdonyok volnának folyamatosan gyárthatók,

amelyek a MÁV minden mai és a legközelebbi jövőben elkövetkező igényének teljesen meg tudnak felelni.

A Francia Államvasutaknak szállított WL és periódusváltós mozdonyok műszaki adataiból ugyanis, mint ismeretes, megállapítható, hogy azonos súlyból a periódusváltós mozdonyok kb. 50%-kal nagyobb teljesítményt tudnak szolgáltatni. Bár a francia periódusváltós mozdonyok termikus igénybevétele valamivel magasabb volt, mint a WL mozdonyoké, a teljesítménytöbblet még ennek figyelembevételével is legalább 40%-ot tesz ki. A francia periódusváltós mozdonyok fajlagos súlya 30 kg/Le (mechanikus résszel együtt) volt az első kivitelnél. Utánrendelés esetén az Oerlikon-cég a teljesítményt azonos súly mellett 5000 Le órás teljesítményre, azaz 22%-kal magasabbra volt hajlandó garantálni, ami természetes következménye annak, hogy az első típus tapasztalatainak kihasználásával a következő típus mindig tökéletesíthető. Ennek a teljesítménynek 24 kg/Le fajlagos súly felel meg. Még ha azonban ezt a tökéletesítést nem is vesszük figyelembe, és a leszállított mozdonyok tényleges adataival, 30 kg/Le-vel számolunk, egy 80 tonnás Bo—Bo mozdony részére ennek alapján is 2650 Le órás teljesítmény adódik, nem véve figyelembe azt sem, hogy a magyarországi mozdonyoknál a mechanikus rész fajlagosan számottevően kisebb súlyú, mint a külföldi mozdonyoknál, és ezért összesen 80 tonna súlyból a villamos részre aránylag több súly marad. Az előzőekben említett rövidrezárt motoros periódusváltós Bo—Bo mozdonyokkal elérhető teljesítményre megadott 2500—2700 Le tehát feltétlenül reális, és inkább minimális értéknek tekintendő. Valószínűnek látszik, hogy F osztályú szigeteléssel 2800—3000 Le órás teljesítmény is elérhető lett volna. A kiváló tapadási tulajdonságok miatt a mozdony súlya által meghatározott maximális vonóerő értéke e típusnál 28—30 t-t ért volna el.

Ha a magyar ipar a MÁV részére — és esetleg exportcélokra is — Bo—Co és WL mozdonyok helyett a periódusváltós rendszerű 2500—2700 Le-s Bo—Bo mozdonyokat gyártotta volna sorozatosan, a külföldi licencia szerint gyártandó korszerű szilícium egyenirányítós mozdonyok kérdése sem lett volna olyan égetően sürgős, és ezen, egyrészt nyugati valutát igénylő, másrészt számottevően magasabb önköltségű típusnak gyártása sokkal kisebb mértékben lett volna szükséges, illetve sürgős, minthogy a MÁV összes szüksége belátható időnkig 80—90%-ban a 2500—2700 Le-s folytonos sebességű, legjobb vontatási tulajdonságokkal bíró hazai rendszerű mozdonyokkal fedezhető lett volna, esetleg egészen nehéz, 1500—2500 tonnás tehervonatok részére ezt a típust azonos teljesítményű villamos berendezéssel — 40—45 tonna max. vonóerővel — Co—Co kivitelben is gyártva.

A periódusváltós rövidrezárt motoros mozdonyokkal kapcsolatban meg kell még jegyezni, hogy bár a Si egyenirányítós mozdonyok kétségkívül sokkal korszerűbbek, fajlagos súlyuk jóval kisebb, hatásfokuk lényegesen jobb, összgazdaságosság tekintetében bizonyos mozdonyteljesítményekig a különbség

mégis aránylag kicsi, különösen hazai viszonylatban, tekintettel arra, hogy egyrészt az egyenirányítós mozdonyok egyelőre elég számottevő nyugati devizát igényelnek, másrészt, hogy a Budapest—Hegyeshalom vonal 25 kV helyett 16 kV-al van villamosítva, amely feszültség, mint ismeretes, egyenirányítós mozdonyok nagyobb mértékű forgalmához nem kielégítő.

Az egyenirányítós mozdonyok lényegesen kisebb fajlagos súlyával és sokkal jobb hatásfokával szemben áll ugyanis az, hogy

rövidrezárt motoros periódusváltós mozdonyok kg-onkénti egységára elég lényegesen alacsonyabb,

a hatásfokkülönbséget csökkenti a periódusváltós mozdonyok $\cos \varphi = 1$ teljesítménytényezője miatt lényegesen kisebb munkavezeték- és alállomás-veszteség, továbbá e mozdonyok rekuperációja,

a vonalak villamosításának beruházási költségei kisebbek annak következtében, hogy azonos munkavezeték-feszültség mellett, a szükséges alállomások száma lényegesen kisebb.

Ehhez járul még a r vidrezárt motoros periódusváltós rendszernek az az előnye, hogy lejtőn állandó jelleggel, és lassításkor megállásig rekuperációval fékezik.

Az összes körülményeket figyelembe véve végeredményben azt lehet megállapítani, hogy bár a Si egyenirányítós rendszert korszerűbbnek kell tartani, közepes mozdonyteljesítményekig, továbbá igen nehéz tehervonatokhoz szükséges nehéz mozdonyok esetén gazdaságosságban a különbség aránylag igen kicsi, és ezért olyan vonalak részére, melyek igen hosszú erős lejtőkkel bírnak, a periódusváltós rendszer esetleg bizonyos esetekben még kívánatos is lehet. Mindenesetre meg kell állapítani, hogy hazai viszonylatban Bo—Co és WL mozdonyok helyett azonos súlyú Bo—Bo 2500—2700 Le-s teljesítményű periódusváltós mozdonyok szállítása a MÁV részére döntő mértékben jobb és gazdaságosabb lett volna. Ezenfelül e típus gyártásának kellő időben való felvétele esetén a magyar ipar nyilvánvalóan tagja lenne az Európai 50-periódusú Villamosmozdony Munkaközösségnek, aminek következtében a korszerű egyenirányítós mozdonyok gyártási jogának és dokumentációjának fejében egyrészt valószínűleg *nem* kellene hét mozdonyt közel 2 millió dollárért megvásárolnia, másrészt, mint a munkaközösség tagjának *nem* kellene a jövőben nyugati valutában licencia díjat fizetnie.

Sajnos a Bo—Co rendszer elhibázott választása által okozott igen nagy morális és anyagi kárt — úgy külföldi, mint belföldi vonatkozásban — ma már csak tudomásul lehet venni, az már kellőképpen nem tehető jóvá a jövőben sem. Az egyetlen, amit ezzel kapcsolatban tenni lehet és kell: a jövőben elkerülni azt a lehetőséget, hogy hasonló súlyos hibák a kellő tapasztalatok és műszaki judicium hiányában előforduljanak, ami a legnyomatékosabban mutat rá arra, hogy milyen *döntő fontosságú* a népgazdaság szempontjából *a kellő látókörrrel, tudással és tapasztalattal rendelkező dolgozók, illetve vezetők nevelése.*

IV. A vasútvillamosítás külföldi fejlődésének irányzatai

Az előbbieken a magyarországi fejlődési lehetőségeket és a helytelen típusválasztást ismertettem, mellyel Magyarország élvonalbeli pozícióját sajnos elvesztette.

A következőkben, első székfoglalóm óta a külföldön bekövetkezett fejlődést kívánom röviden ismertetni.

Mint ismeretes, a Francia Államvasutak 1952-ben 50-periódusú kivitelben a 65 WL mozdonytól eltekintve 20 periódusváltós mozdonyt, 15 kommutátor-motoros mozdonyt és 5 ignitronos mozdonyt rendelt.

Mint már a számokból megállapítható, a Francia Államvasutak a legnagyobb jövőt 1952-ben a Ganz—Ratkovszky-szabadalom szerinti periódusváltós mozdonyban látta, és legkevésbé az ignitronos mozdony jövőjében bízott. A mozdonyok leszállítása és kipróbálása azonban a véleményeket ez utóbbit illetően döntően megváltoztatta. Bár a periódusváltós mozdony a már említett gyermekbetegségének kiküszöbölése után a gyakorlat tapasztalatai alapján is — a Francia Államvasutak megállapításai szerint — *a második legjobb* típusú mozdonynak mutatkozott, az ignitronos mozdony, kitűnő tulajdonságai következtében, az élvonalra ugrott. Tapadása a lehető legjobb volt, lényegesen jobb, mint a Francia Államvasutak addig használt egyenáramú mozdonyaié. Ezen felül a mozdony a garantált teljesítménynél lényegesen — kb. 15%-kal — nagyobb teljesítményt tudott kifejteni, aminek következtében a kommutátoros motorú versenytársának minden vonalon lényegesen elébe tudott lépni. Azonos súlyból kb. 25%-kal nagyobb teljesítményt és több mint 30%-kal nagyobb indítási vonóerőt tudott az ignitronos mozdony nyújtani. Ezenfelül hatásfoka is — kb. 10%-kal — kedvezőbb, hajtómotorainak fajlagos súlya pedig kb. 40%-kal kisebb volt, mint a kommutátoros motorú mozdonyoké. Az eredmények minden tekintetben olyan kitűnőek voltak, hogy a Francia Államvasutak 1956-ban a jövő részére kizárólagosan ignitronos mozdonyok további rendelését határozta el Bo—Bo kivitelben azzal, hogy egész nehéz tehervonatok részére esetleg Co—Co kivitelű periódusváltós mozdonyok is szóba kerülhetnek.

A váltakozóáramú kommutátoros motorú — addig élvonalon levő — 50-periódusú mozdonyokat a Francia Államvasutak a gyakorlati tapasztalatok alapján teljesen elejtette még motorkocsik részére is.

Az 50-periódusú kommutátoros vontatómotorokkal kapcsolatban meg kívánom említeni, hogy bár ilyen típusokat Magyarország soha sem gyártott, azonban ezek tökéletesítésére két magyar eredetű szerkezeti megoldás is készült. Az első, a szovjet irodalomban Benedikt-motor néven ismert elrendezés, melynek az a lényege, hogy az állórészen a soros gerjesztő tekercselésen kívül egy arra villamosan 90° alatt elhelyezett második állórész-tekercselés is el van helyezve, melyben az áram transzformátor hatás alatt jön létre. E meg-

oldás *ugyanakkora* transzformátorikus kommutációs feszültségnél, kisebb forgórészvesztés és jobb $\cos \varphi$ mellett, nagyobb *indító* nyomatékot tud kifejteni, amellet, hogy indulás után a transzformátorikus feszültség széles sebességtartományban gyakorlatilag kompenzálódik.

A kommutátoros 50-periódusú járművek tökéletesítésére szolgáló második magyar találmány ugyancsak BENEDIKT professzortól ered, amely megoldás egy, a mozdonyban elhelyezett aránylag kisméretű, kommutátor nélküli segédgép által — két egymásra szuperponált periódusú (25 és 50 Hz) áram felhasználásával — úgy induláskor, mint tetszőleges sebéségnél — egy a főfluxussal egyenesen és a fordulatszámmal fordítottan arányos segédpólusfluxus komponens által — javítja a jármű motorainak kihasználhatóságát és kommutációját, valamint egyben egyszerű módon szabályozható villamos fékezést is biztosít.

Ezen rendszer felhasználásával a Német Demokratikus Köztársaság henningsdorfi villamosmozdony gyára egy 50-periódusú kommutátoros mozdony prototípusának kifejlesztését el is határozta, azonban időközben az egyenirányítók, és pedig főleg a rendkívül egyszerű szerkezetű Si egyenirányítók olyan rohamos fejlődést mutattak, hogy a henningsdorfi gyár is kénytelen volt az 50-periódusú kommutátoros motorú mozdonyok tervbe vett általános gyártását elejteni, és kizárólag egyenirányítós mozdonyok kifejlesztésére áttérni, melyek első prototípusa közeljövőben már üzembe is fog kerülni.

Az egyenirányítók rohamos fejlődése és az általuk biztosított kitűnő tulajdonságok — mint az előre látható volt — olyan messze szárnyalták túl az 50-periódusú kommutátoros járműveket, hogy ezek eredendő hátrányain már az említett két tökéletesítés sem tudott annyit javítani, hogy a kommutátoros motorú járművek a versenyt az egyenirányítósokkal felvehették volna, és így e két hazai eredetű találmány sajnos gyakorlatba már nem kerülhetett.

V. Az 50-periódusú vasútvillamosítási rendszer előretörése világviszonylatban

A Francia Államvasutak kitűnő eredményei alapján az 50 periódusú vasútvillamosítás *az egész világon megindult*, és számottevő mennyiségben rendeltek más országok is 50-periódusú mozdonyokat, mint pl. Portugália, Kongó, India, Anglia, Szovjetunió, Kína és Japán. A kedvező eredmények alapján a fejlődés olyan nagy volt, hogy 1960-ban a Francia Államvasutaknak kb. 400 ignitronos mozdonya volt üzemben, illetve rendelés alatt.

A mozdonyok természetesen, annak ellenére, hogy már az első kivitel is rendkívül kedvező eredményt adott, rohamosan tovább fejlődtek, így pl. míg az első kivitel fajlagos súlya 24 kg/Le volt, addig a legutóbbi időben rendelt, illetve leszállított ignitronos mozdonyok fajlagos súlya már csak 15,5 kg/Le (35%-os fajlagos súlycsökkenés).

A jó tapadási tulajdonságok miatt csaknem valamennyi ignitronos mozdonyt 4 motoros Bo—Bo, illetve újabban csaknem kizárólag 2 motoros B—B kivitelben rendelte a Francia Államvasutak (a forgószámoly mindkét tengelyét utóbbinál egyetlen motor hajtja meg), amely kivitelnél a tapadóerő még nagyobb. A legkülönbözőbb mozdonyok készültek 100—160 km maximális sebességig, a határvidékek részére olyanok is, amelyek 50-periódusú tápláláson kívül 16 periódussal, sőt közvetlenül 1500, illetve 3000 Volt egyenárammal is üzemeltethetők.

Mint a fentiekből is megállapítható, az ignitronos mozdonyok üzembe kerülésük után egész rövid idő alatt (5 év) teljesen meghódították a világot, és kitűnő tulajdonságaik következtében minden más rendszert az 50-periódusú mozdonyok közül kiszorítottak.

Egyben azt is biztosították, hogy az 50-periódusú mozdonyok már semmiféle tekintetben nincsenek hátrányban a $16^{2/3}$ -periódusú mozdonyokkal szemben, vagyis bekövetkezett az az általunk már 30 év előtt megjósolt állapot, hogy az 50-periódusú mozdonyok olyan fejlődési fokot fognak hamarosan elérni, amely a $16^{2/3}$ -periódusú mozdonyokkal árban, súlyban és műszaki tulajdonságokban teljesen egyenértékű, sőt el is hagyják azokat, és így a 16 periódussal és egyenárammal való villamosítás a jövőben teljesen elveszti gazdasági és műszaki alapját.

Ez a tény az elmúlt években be is következett. Míg Magyarország — KANDÓ, VEREBÉLY és én — 30 évvel ezelőtt egyedül állt azzal a véleményével a világon, hogy az 50 periódus a jövő rendszere, addig ma már az egész világon elfogadott tény, hogy az 50-periódusú vasútvillamosítás a leggazdaságosabb és az *egyedüli helyes út*, amelyet mindazon országnak, ahol még vasútvillamosítás nem, vagy csak kisebb mértékben történt, választania kell. Ilyen országok részére ma már — akkor hangoztatott elveinknek megfelelően — sem egyenáram, sem $16^{2/3}$ -periódus még csak tekintetbe sem jöhet. A vita ma már csak azon van, hogy azok az országok, amelyek már elkezdték a villamosítást egyenárammal vagy $16^{2/3}$ -periódussal, hogyan folytassák azt tovább, illetve milyen mértékűnek kell a már megtörtént egyenáramú vagy $16^{2/3}$ -periódusú villamosításnak lenni, hogy a további vonalak villamosítására az 50 periódus bevezetése már különösebb előnyt nem jelent.

Az ignitronos mozdonyok kedvező eredménye azok rohamos tökéletesítését eredményezték. Így pl. míg a Thyonville részére rendelt ignitronos mozdony 84 tonnás súlyával 3450 Le-s garantált teljesítménnyel bírt, addig ma már ugyanebből a súlyból 5400 Le-s teljesítményt tudnak biztosítani.

Alábbiakban néhány különféle mozdonyrendszer fajlagos súlyát említem meg az órásteljesítményre változtatva (francia adatok):

Ward—Leonard 43 kg/Le;*

periódusváltós rövidrezárt motoros (Oerlikon-gyártmány) 30 kg/Le;

* A magyar 2000 Le-s WL Bo-Bo mozdony fajlagos súlya 40 kg/Le.

kommutátor motoros 27 kg/Le;
 első ignitronos 24 kg/Le;
 jelenlegi korszerű ignitronos 15,5 kg/Le.

Az ignitronos mozdonyok kitűnő eredményei alapján az 50-periódusú villamosítás döntő előnye a $16^{2/3}$ -periódusú és egyenáramú rendszerek fölött vitathatatlanul vált. Ez a nagy eredmény Magyarország úttörő munkássága után kétségkívül a Francia Államvasutak érdeme.

Magyarország ugyanis kétségtelenül úttörője volt az 50-periódusú rendszernek, mert több mint 20 évvel előzte meg a magyarországi budapest—hegyeshalmi vonal a többi országok 50-periódusú üzemi elektrifikálását, azonban annak idején — bár a magyarországi viszonyoknak megfelelő teljesítményű és sebességű mozdonyt tudott a magyar ipar KANDÓ zseniális elgondolásainak alapján produkálni — ez a típus a korszerű külföldi nagyteljesítményű és nagysebességű feltételeknek nem tudott megfelelni, és ezért annak idején a külföld az 50-periódusú rendszert nem vehette át. Közvetlenül a második világháború előtt és alatt ugyan a magyar találmány szerinti rövidrezárt motoros, Ganz—Ratkovszky-féle periódusváltós rendszer e nehézséget már megszüntette, mert e rendszer szerint még ma is — 20 évvel a rendszer feltalálása után — korszerű mozdonyt lehet gyártani tetszőleges teljesítményre és sebességre, azonban ez a rendszer annak idején a világháború következtében nem tudott elterjedni, sőt közismertté válni sem. Ezért az 50-periódusú villamosítás mindaddig, míg annak nagy lehetőségeit a Francia Államvasutak fel nem ismerték, s nagyszabású tanulmányok és kísérletek alapján azt el nem határozták, világviszonylatban nem tudott tovább jutni. Hogy a magyar eredetű 50-periódusú villamosítás a holtpontról tovább került, és ma már vitathatatlanul az egyetlen rendszernek tekinthető, amelyet minden olyan országban választani kell, ahol más rendszerrel eddig még nagyszabású villamosítás nem történt, ez kétségtelenül a Francia Államvasutak és a francia gyártó cégek érdeme.

Az ignitronos mozdonyokkal elért eredmények olyan kiválóak voltak, hogy bár, mint említettem, a Francia Államvasutak eredetileg a periódusváltós rendszerben látták a legnagyobb jövőt, az ignitronos rendszerrel szerzett kitűnő tapasztalatok teljesen ebbe az irányba terelték a fejlődést.

Az 50-periódusú rendszer fejlődése ezzel az eredménnyel óriási léptekben megindult. Mint ismeretes, az első 5 ignitronos mozdonyt 1955-ben kezdték kipróbálni. 1960-ig, tehát 5 év alatt csak a francia cégek 530 ignitronos mozdonyt gyártottak, ami mutatja, hogy az 50-periódusú villamosítás ettől az időponttól kezdve milyen rohamos léptekkel indult meg. Az 530 ignitronos mozdony közül 340 a Francia Államvasutak részére készült, 100 India részére, 15 Portugália részére, 50 a Szovjetunió és 25 Kína részére.

A francia gyáron kívül természetesen más országok gyárai is bekapcsolódtak az ignitronos mozdonyok kísérleti és sorozatgyártásába. Így a

Szovjetunióban is nagyszámú ignitronos mozdony készül az importált 50 darabon kívül, továbbá Nyugat-Németországban, Svájcban és Angliában is gyártottak egyenirányítós mozdonyokat. Az ignitronos mozdonyok nyomán az excitronos kivétel is újra előtérbe került, és ma már gyakorlatilag azonos eredményeket lehet elérni ignitronos és excitronos mozdonyokkal.

Anglia, ahol a vasútvillamosítás eddig igen kismértékű volt, szintén elhatározta az 50-periódusú rendszer bevezetését, és nagyszabású villamosítási programot állapított meg. Jelenleg 25 excitronos 3000 Le-s mozdony és harmincöt 1000 Le-s excitronos motorkocsi van már üzemben.

Az egyenirányítós mozdony, amely műszaki tulajdonságokban és árban teljesen egyenrangú, sőt bizonyos mértékben előnyöket is tud felmutatni a 16-periódusú mozdonyokkal szemben, az 50-periódusú villamosítás Magyarországról kiindult gondolatát teljesen győzelemre vitte.

A fejlődés azonban ezzel sem állt meg.

Az egyenirányítók területén régóta folytak kísérletek a higanygőzlámpák kiküszöbölésére, részint kényesebb szerkezetük, részint elég nagy veszteségeik miatt.

Mint ismeretes, a félvezetők kitűnő tulajdonságainak kihasználásával nagyarányú kísérletezés indult meg nagyteljesítményű száraz egyenirányítók kifejlesztésére. Germánium felhasználásával a kísérletek igen jelentős eredményt hoztak, és a germánium egyenirányítók úgy ipartelepeken, mint járműveken mind nagyobb mértékben alkalmazásra találtak.

E félvezetős egyenirányítók ugyanis, bár gyártásuk rendkívül kényes, meglepően kis súlyúak, kis térfogatúak, és igen nagy üzembiztonságúak, úgyhogy járművek részére rendkívül előnyösen használhatók fel, azonkívül, hogy teljesen stabil szerkezet lévén, semmiféle gondozást vagy fenntartást nem igényelnek. Ma már a germánium egyenirányítók tömeggyártásban készülnek, egy-egy elem általában 50 amper üzemárammal terhelhető, és 150—300 Volt egyenirányítására használható, a gyártó cég által létrehozott minőségtől függően. Feszültségességük rendkívül kicsi, kb. 0,4 Volt, ami 200 V-ra vonatkoztatva 0,2% veszteségnek felel meg, ami azt jelenti, hogy ezen egyenirányítóknak hatásfoka 99,8%, nagyságrendben múlva felül ezzel a higanygőz egyenirányítókat. Hőmérsékletre viszont nagyon érzékenyek, 75° C fölött a germánium egyenirányító tönkremegy, és ezért olyan üzemárammal tarthatók csak üzemben, amely kb. $\Delta t = 10\text{ C}^\circ$ túlmelegedést hoz csak létre.

Az egyenirányító elemek rendkívül érzékenyek túlterhelésre és rövidzárlatra, minthogy hőkapacitásuk olyan kicsi, hogy már néhány tized, illetve század másodpercig tartó zárlati áramok is tönkreteszik. Ezért a száraz egyenirányítóknak egész különleges védelmet kell biztosítani túlterhelések és rövidzárlatok ellen.

Rá kívánok mutatni, hogy Magyarországon is megtörtént már Dr. LUKÁCS Józsefnek a Villamosipari Kutató Intézet keretében végzett egészen kimagasló

kutatásai és munkássága alapján a Ge egyenirányítók kifejlesztése, és gyártásuk a szükséges nagyságokban és minőségben már sorozatban történik. Ez a kimagasló eredmény lehetővé teszi pl., hogy — természetesen a Si mozdonyok licencia adatainak és tapasztalatainak felhasználásával — megfelelő teljesítményű 50-periódusú motorkocsikat fejlesztve ki, azok esetleges hazai gyártású Ge egyenirányítókkal legyenek már üzemeltethetők.

A Francia Államvasutak, miután a germánium további lehetőségeknek nyitott utat — bár az ignitronos mozdonyok üzemével a legnagyobb mértékben meg voltak elégedve —, tovább kívántak haladni az 50-periódusú járművek tökéletesítésében. Ezért 1956-ban két motorkocsit rendeltek meg germánium egyenirányítókkal.

E motorkocsik azonban ebben a formában már nem kerültek üzembe, mert a technika újra továbbfejlődött. Más félvezető anyagokkal is folytak ugyanis kísérletek, és a Siemens Schuckert Műveké az érdem, hogy az igen nehéz technológiát igénylő szilícium egyenirányítókat kifejlesztette. A szilíciumnak igen nagy előnye a germánium fölött, hogy 75 C° helyett csak 150 C° fölött megy tönkre, aminek következtében a germániumnál megengedett 10° túlmeleg helyett 75 C° túlmeleggel lehet őket igénybe venni ugyanolyan biztonsággal. A szilícium egyenirányítók, kiváló tulajdonságaik miatt, rohamosan fejlődtek, és ma már Siemensen kívül más cégek is, mint pl. az AEG, BBC, Schneider—Westinghouse, General Electric stb. hasonló kifogástalan minőségben gyártják azokat. E típusok kifejlesztése nagy erővel folyik a Szovjetunióban és Csehszlovákiában is.

A szilícium egyenirányítók a kémiai iparban nagyon sok területről már ki is szorították a higanygőzátalakítókat, valamint a mechanikus átalakítókat, a járműiparban pedig a jövő jelenleg teljesen a szilícium egyenirányítóké. A Si egyenirányítókat 150—200 amperes egységekig gyártják, 1200 V zárófeszültség próbával. Feszültségesésük kb. 1,1 volt, ami 550 volt üzemi feszültségre vonatkoztatva 0,2%-nak felel meg, tehát kb. ugyanolyan kiváló hatásfokot biztosít nagyfeszültségű egyenáram esetén, mint a germánium egyenirányító. Kisfeszültségű kémiai üzemekben a germánium egyenirányító természetesen jobb hatásfokú (pl. 100 voltnál a germánium 99,6% hatásfokkal, a szilícium 98,9% hatásfokkal rendelkezik).

A Francia Államvasutak két, eredetileg germániumra megrendelt motorkocsijukat szilíciumra alakították át, és már így kerültek kísérleti üzembe. Egy meglevő ignitronos 5000 Le-s mozdonyt is átalakítottak szilícium egyenirányítós kivitelre. Ez a mozdony több mint 2 év óta van kifogástalan üzemben. A szilícium egyenirányítók a 2 év alatti üzemben semmiféle sérülést nem szenvedtek, és semmiféle karbantartást nem igényeltek.

A Német Szövetségi Köztársaságban több mint 2½ évvel ezelőtt egy kísérleti tolató mozdony került üzembe 16 periódussal szilícium egyenirányítókkal. A múlt év folyamán pedig 3 különböző cég, az AEG, a BBC és az SSW

egy-egy 50 periódusra és 16 periódusra alkalmas 4000 Le-s szilícium egyenirányítós kísérleti mozdonyt helyezett üzembe.

Angliában negyvenöt 1200 Le teljesítményű germániumos motorkocsi van üzemben, azonban 1959-ben már az Angol Államvasutak is tíz 3000 Le-s szilíciumos mozdonyt rendelt, amelyek első darabja múlt év végén került üzembe.

Ugyancsak 1959-ben rendelt a Szovjetunió a Siemens Schuckert Művek-nél húsz 6000 Le-s szilíciumos mozdonyt, és a múlt év végén a Francia Államvasutak is 15 szilíciumos mozdonyra adott ki rendelést.

Amint látható, a szilícium egyenirányítós mozdonyok terén megindult a rohamos fejlődés, és az eddigi eredmények alapján nem látszik kétségesnek, hogy a legközelebbi években minden más egyenirányító (ignitron, excitron, germánium) a járművekből kiszorul, és az egyeduralmat a szilícium egyenirányító veszi át, mindaddig, amíg egy újabb, még jobb tulajdonságokkal rendelkező típust ki nem fejlesztenek. Mint hangsúlyoztam, ezek az egyenirányítók egyrészt határfokban kiválóak (99%-on felül), másrészt a kész egyenirányítók — a precíz és igen bonyolult gyártás ellenére — rendkívül egyszerűek és kis helyet foglalnak el, stabil elemekből állanak, és semmi karbantartást nem igényelnek. Egyedüli hátrányuk a rendkívül kis hőkapacitás következtében fennálló igen nagy érzékenység túlterhelésekkel és rövidzárlatokkal, továbbá túlfeszültséggel szemben. Ezeket a hátrányokat azonban teljesen ki lehet küszöbölni megfelelő igen gyors rövidzárlati védelemmel, és kellő biztonságu méretezéssel úgy az áram okozta, mint a feszültség okozta igénybevételeket illetően.

Az 50-periódusú mozdonyok történetében tehát, alig 5 évre az ignitronos mozdonyok óriási térfoglalása után, ismét új korszak kezdődik, a szilíciumos mozdonyok korszaka, amely megtartva az ignitronos mozdonyok összes jó tulajdonságait, azok hátrányait teljes mértékben kiküszöbölte.

Mint ismeretes, a magyarországi szükséglet fedezésére, továbbá exportcélokra Magyarország is fog a közeljövőben szilíciumos mozdonyokat gyártani, minthogy az Európai Munkaközösséggel, amelyben a legnagyobb európai cégek foglalnak helyet, mint AEG, BBC, Charlerois, Jeumont, Oerlikon, Schneider—Westinghouse, Siemens-Schuckert Művek, a múlt év végén kedvező licen szerződést tudott kötni, melynek értelmében az Európai Munkaközösség által szállított 7 mozdony átvétele után saját gyártásban fog szállítani a MÁV-nak és exportcélokra 3200 Le-s B—B szilícium egyenirányítós mozdonyokat. Ezzel Magyarország végre — ha sajnos nem is saját rendszere szerint, mint azelőtt — de mindenesetre újra a *legkorszerűbb* kivitelű mozdonyokat fogja sorozatban gyártani.

A forgó vázankint egy motoros kivitelű — a legjobb tapadási tulajdonságokkal bíró — szilícium egyenirányítós mozdonytípus ma kétségkívül a legkorszerűbb kivitelnek tekinthető. A legkorszerűbb rajzok és technológia

alapján Magyarországon gyártandó B—B típusú szilícium egyenirányítós mozdonyok tehát ma kétségkívül világviszonylatban is a legkorszerűbb mozdonyok lesznek.

E mozdonyok gyártására vonatkozó korszerű licencia azonban e típus gyártásán túlmenően is rendkívül fontos, úgy a magyar ipar, mint a MÁV részére. A külföldi tapasztalatok felhasználása által ugyanis a magyar erőáramú ipar — amely egyenáramú gépek tervezésében és technológiájában a második világháború előtt rendkívül el volt maradva, s amely elmaradását azóta is csak kis részben tudta behozni — a birtokába jutott legkorszerűbb tervek és technológia alapján, az egyenáramú trakciós motorok, illetve gépek tervezését és gyártását általában is teljesen korszerűsíteni tudja. A megszerzett tapasztalatok alapján módja lesz a magyar iparnak teljesen megbízható és korszerű saját tervezésű trakciós motorokat és villamosberendezéseket kifejleszteni, és legkorszerűbb minőségben gyártani motorkocsik és más típusú — pl. Co—Co — mozdonyok részére is, melyek lehetővé teszik pl. a jövőben mindinkább szükségessé váló egészen nehéz (1500—2200 tonnás) tehervonatok gazdaságos, rendszeres vontatását. E járművek teljes villamosberendezése — a szerzett legkorszerűbb tapasztalatok alapján — már magyar tervezésű lehet anélkül, hogy azokat külön költségek terhelnék. A hozzájuk szükséges egyenirányítókat sem lesz szükséges nyugati országokból importálni, mert arra az időre teljesen felfejlődik már a baráti országok szilícium egyenirányító gyártása is — sőt a Villamosipari Kutató Intézetben Dr. LUKÁCS József kiemelkedő kutatásai és irányítása alapján végzett igen biztató eredmények következtében esetleg Magyarország is fog szilícium egyenirányítókat gyártani.

A legkorszerűbb villamosmozdony típusra kötött licencia szerződés tehát, azonfelül, hogy biztosítja Magyarországot és a MÁV részére a legkorszerűbb és a legjobb tapadási tulajdonságokkal bíró B—B mozdonyok azonnali kifogástalan sorozatgyártását, lehetőséget ad egyben más, a MÁV részére még szükséges típusú járművek — pl. Co—Co mozdony, motorkocsi — legkorszerűbb hazai megtervezésére és szállítására is, sőt biztosítja még a *Diesel villamosjárművek villamosberendezésének teljes korszerűsítését* is, úgy tervezésben, mint technológiában.

A korszerű licencia szerinti gyártás biztosítása által tehát megnyílt a lehetőség Magyarországot részére, hogy az 50-periódusú járművek és a Diesel villamosjárművek villamosberendezésének gyártásában — behozva eddigi elmaradását — ismét az élvonalra kerüljön. Evvel a magyar jármű- és villamosipar előtt igen nagy belföldi és exportlehetőségek nyíltak meg, amelyek kellő időben való kihasználása érdekében a továbbfejlesztési munkákat kellő kapacitással a legsürgősebben folyamatba is kell tenni.

VI. A szilícium egyenirányítós járművek további fejlesztésének lehetőségei

Befejezésül még egy elgondolást kívánok röviden ismertetni, amely a jelenleg már bevált és az 50-periódusos mozdonyokat teljes győzelemre vezető, a legkiválóbb vontatási tulajdonságokkal bíró szilícium egyenirányítós járműveknek még további fejlesztését teszi esetleg lehetővé.

Mint ismeretes, a magam részéről a legnagyobb súlyt fektettem mindenkor arra, hogy hajtómotorként rövidrezárt forgórészű motorok legyenek alkalmazhatók. A rövidrezárt motort ugyanis — amely sem kommutátort, sem csúsztató gyűrűt, sem kefét nem tartalmaz, semmiféle karbantartást nem igényel, és igen kis súllyal készíthető — vontatás céljaira a legideálisabb megoldásnak kell tekinteni, amelynek előnyei *semmi más szerkezet* által nem érhetők el.

A rövidrezárt motorokkal kapcsolatos véleményemet teljes mértékben osztotta a Francia Államvasutak is, amelyre Armand vezérigazgató 1952. évben, az 50-periódusú elektrifikálásra vonatkozó nagy jelentőségű beszédében kihangsúlyozottan rámutatott. Hasonló véleményen van a Szovjetunió is, ahol a kérdés jelentősége még azáltal is növekszik, hogy a helyenként fellépő rendkívül nagy hidegek, havazások és eljegesedések miatt az egyszerű szerkezetű és semmi karbantartást nem igénylő motorok fokozott előnyt jelentenek.

Mint ismeretes, a rövidrezárt motorok felhasználásának lehetőségét biztosította a Ganz-gyárban kifejlesztett és Franciaországban üzemben levő Ganz—Ratkovszky-féle periódusváltós rendszer, és ez a lehetőség volt a periódusváltós rendszernek egyik legnagyobb jelentőségű előnye.

A rövidrezárt motorok előnyével azonban szemben állott a működésükhöz szükséges forgóátalakítók tekintélyes költsége és súlya, valamint az ezek következtében adódó összhatásfoknak kisebb értéke. Az ignitronos egyenirányítók és különösképpen a száraz egyenirányítók olyan egyszerű és üzembiztos szerkezeteket képeztek, hogy ezekkel a forgóátalakítós mozdonyok nem tudtak a rövidrezárt forgórészű hajtómotorok nagy előnye és a jó teljesítménytényező ($\cos \varphi = 1$) ellenére sem versenyképesek maradni, különösen abban az esetben, ha kis súly mellett igen nagy mozdonyteljesítményre van szükség. Azonos járműsúlyból ugyanis ignitronos vagy száraz egyenirányítós kivitelnél kb. 20—40%-kal nagyobb teljesítményt lehet kihozni, mint forgóátalakítós rövidrezárt hajtómotoros mozdonyoknál.

A két rendszernek tehát a döntő előnyei a következők:

A periódusváltós rendszernél a jó teljesítménytényezőtől kívül az egyszerű szerkezetű, karbantartást egyáltalán nem igénylő igen könnyű, rövidrezárt motorok;

az egyenirányítós rendszernél a szilícium egyenirányítók egyszerű, könnyű és karbantartást nem igénylő szerkezete, és ezek kiváló hatásfoka.

Vontatási tulajdonságban és tapadásban a két rendszer egyformán kiváló.

Közelfekvő tehát a gondolat, hogy valamely módon a két rendszer előnyeit párosítani kellene, azaz olyan járművet kellene kifejleszteni, amelynek rövidrezárt motorai vannak, azonban forgó áramátalakító helyett szilícium egyenirányítók használhatók fel. Ennek a feltételnek felel meg az a rendszer, melyet csak egész röviden, néhány szóban kívánok vázlatosan ismertetni a következőkben:

Ha valamely járműben a már ismert módon létrehozott pulzáló egyenáramot valamely ismert berendezéssel úgy befolyásolunk, hogy az az idő függvényében különböző nagyságúvá válik, akkor megfelelően választott befolyásolással el lehet érni, hogy a pulzáló egyenáram pillanatnyi értéke tetszőleges periódusszámú sinus félhullám szerint változik.

Ha pedig olyan kapcsolást alkalmazunk, amely lehetővé teszi a motorok áramkörében az egyenáramú áram értelmének is a megváltozását, akkor egyenáram helyett a motorok áramköre részére egy tetszőleges periódusszámú sinus alakú áramot lehet létrehozni. Ez azt jelenti, hogy több áramkört alkalmazva, többfázisú áramokat is létre lehet hozni, amelyek a fázisszámnak megfelelően időben egymáshoz képest el vannak tolva. Ily módon akár háromfázisú, akár, még célszerűbben — mert ez esetben csak két áramkörre van szükség — kétfázisú áramot lehet létrehozni. Mód van tehát arra, hogy két- vagy háromfázisú rövidrezárt motorok az ismert egyenirányítók által létrehozott egyenáramból oly módon tápláltassanak, hogy az egyenáram, megfelelő befolyásoló szervek által legalább két áramkörben egymáshoz képest megfelelő fáziseltolással bíró változtatható periódusszámú sinus alakú váltakozóárammá alakíttatik át.

Jelen előadás keretében nem kívánok a kérdés részleteibe belemenni, csak rá akarok mutatni, hogy ilyen vezérlés ismert módon elérhető. Vezérelhető egyenirányítókkal megfelelő ismert kapcsolások által ugyanis elérhető, hogy egyenáramból — nagy teljesítmények esetén is — váltakozó áramot lehet létrehozni. Ilyen módon történik pl. a mind nagyobb mértékben tért hódító nagyteljesítményű egyenáramú erőátvitel igen nagyfeszültségű egyenáramának háromfázisú váltakozóárammá való átalakítása is. A kívánt cél tehát: rövidrezárt hajtómotorok alkalmazása, és egyenirányítók felhasználása biztosítható.

Az előzőkben röviden vázolt elv szerint excitronos egyenirányítókkal ily járművek a technika mai állása mellett — mint ezt az egyenirányítók és azok vezérlésében megfelelő gyakorlattal bíró külföldi cégekkel történő megbeszéléseken megállapítást nyert — bár bonyolult módon, de már létrehozhatók. A váltakozóáramnak vezérlés útján való létrehozását ugyanis megkönnyíti az, hogy többfázisú váltakozóáramot kell létrehozni, mert ennek következtében a motoráramkörben folyó eredő áramot és energiát nem kell megszakítani, hanem csak egyik fázis áramköréből a másikba átterelni.

Nincs kifejlesztve azonban még kellő mértékben a száraz egyenirányítók megfelelő vezérlése, minthogy egyrészt vezérelhető száraz egyenirányítók ma még csak kb. 40—60 amperes cellákban készülnek meglehetősen nagy költséggel, másrészt vezérlésük karakterisztikája sem kielégítő még. Ez az elv szerinti járművek akkor tekinthetők azonban csak valóban további haladásnak a jelenlegi száraz egyenirányítás egyenáramú kommutátoros motorokat tartalmazó járművekkel szemben, ha az egyszerű szerkezetű és kitűnő hatásfokú száraz egyenirányítók megfelelő vezérlése nagyobb teljesítményekre is gazdaságosan megoldást nyert. Ha tekintetbe vesszük azonban, hogy a nagy teljesítményű szilícium és germánium egyenirányítóknak a múltja alig 6 esztendő, a vezérelhető kivitelű száraz egyenirányítók múltja pedig mindössze kb. 3 esztendőre nyúlik vissza, akkor azt hiszem nem lehet túl optimiztikusnak tekinteni azt a feltételezést, hogy a kellő teljesítményű megfelelően vezérelhető száraz egyenirányítók és a szükséges segédberendezések egyszerű és gazdaságos kivitelben a legrövidebb időn belül — néhány év alatt — már rendelkezésre fognak állani. Ez esetben pedig, a ma még csak excitronnal és csak bonyolult módon kivitelezhető rövidrezárt forgórészű mozdonyok száraz egyenirányítókkal is készíthetők lesznek, tehát minden valószínűség szerint az ideális legjobb megoldást fogják nyújtani egyfázisú 50-periódusú váltóáramú járművek részére. Ezekben a járművekben egyesítve lesz a kiváló vontatási és tapadási tulajdonságok megtartása mellett, a rövidrezárt hajtómotorú és a száraz egyenirányítás járművek, műszaki, gazdasági, üzembiztonsági és karbantartási előnyei.

VII. Zárószó

Az elmondottakban igyekeztem a Magyarországról kiinduló 50-periódusú vasútvillamosítás műszaki fejlődésének — amelyben magam is tevékeny részt vettem — lényeges szempontjaira és eredményeire rávilágítani, amennyire ez a rendelkezésre álló időben lehetséges volt.

Az 50-periódusú vasútvillamosítás, akár az erősáramú transzformátor — mint világszerte ismeretes — magyarországi találmány, és általa Magyarország világviszonylatban nagy tekintélyt vívott ki magának.

Magyarország a budapest—hegyeshalmi fővonalnak 50-periódusú Ganz—Kandó rendszer szerinti villamosítása által 20 évvel előzte meg az egész világot. 50-periódusú mozdonyok fejlesztésében és gyártásában a Ganz—Ratkovszky periódusváltós rendszer kifejlesztése által további 20 éven át, kb. 1950-ig világviszonylatban vitathatatlanul az első volt. Bár 1952-től — tehát kb. 10 év óta — e pozícióját megőrizni nem tudta, egyrészt saját hibája, másrészt az egész világon megindult óriási fejlődés következtében, a Magyarország által feltalált és mindig képviselt elv — az egész világ 20 éven át tartó ellenzése dacára — ma már teljes győzelmet aratott.

Ma már az 50-periódusú mozdonyok százai járnak az egész világon — elsősorban Franciaországban, továbbá Angliában, a Szovjetunióban, Kínában, Indiában, Afrikában, Japánban stb. — mind tökéletesebb és tökéletesebb kivitelben, és ma már nemcsak utolérték gazdaságosságban és műszaki tulajdonságokban a $16^{2/3}$ -periódusú és az egyenáramú mozdonyokat, hanem túl is haladták azokat.

A Magyarországról kiinduló rendszer vitathatatlanul meghódította az egész világot, a legkülönbözőbb országok és a világ legnagyobb gyárai dolgoznak a rendszer még további tökéletesítésén, és reméljük, hogy e további tökéletesítésben a jövőben Magyarország — amely jövő évtől kezdve sorozatban fogja gyártani saját és exportcélokra a legkorszerűbb Si-mozdonyokat — régi tradícióihoz híven, a továbbfejlesztési munkába is ismét bekapcsolódik, és ebben megint az élvonalon levők közé fog kerülni.

A HIDRAULIKUS KÖTŐANYAGOK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJA FEJLŐDÉSÉNEK MAGYAR VONATKOZÁSAI

WESSELY IMRE

A KÉMIAI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1962 szeptemberében]

1. Bevezetés

Az építészet — különösen a víz melletti településeknél — már évezredek óta használ hidraulikus jellegű kötőanyagokat. Azonban kezdetben a használt anyag nem volt olyan egységes készítmény, amit ma cementnek nevezünk, hanem két anyagnak keveréke, melyekből az egyik az *oltott égetett mész*, a másik pedig mai nomenklatúránk szerint *latens hidraulikus anyagnak* nevezett természetes vagy mesterséges készítmény volt, mint a puccolán, szantorin, trasz, őrölt téglapor, stb.

Ilyen hidraulikus keverékkel épültek i. e. 1000 évvel építmények Jeruzsálemben, vagy i. sz. 90-ben a rómaiak által Eifel és Köln között épített 80 km hosszú, ma is még jó állapotban levő vízvezeték. Magyarországon 1855-ben a Lánchíd feljárójának betontömbjét REITER Ferenc még trasz + mészkeverékkel készült betonból építette.

A vízben keményedő kötőanyag technológiájának fejlődésében a rómaiak után hosszú szünet következett, amit 1756-ban J. SMEATON angol mérnök tört meg az eddystone-i világítótorony építéséhez készített agyagtartalmú mészkő égetéséből származó *hidraulikus mésszel*. SMEATON ismerte fel, hogy agyagtartalmú mészkő égetésénél hidraulikus tulajdonságú vegyületek keletkeznek. 40 évvel később 1796-ban PARKER a rendes mészégetésnél alkalmazott hőfoknál kb. 200° C-sal magasabb temperatúrán égette a márgát, aminek következtében vízzel már nem oltódott meg és felhasználás előtt finom porrá kellett megőrölni. PARKER *római cementnek* nevezte el ezt a terméket, amivel azt akarta kifejezni, hogy ez olyan vízálló építőanyag, mint a rómaiak által használt hidraulikus kötőanyag volt. A római cement vagy *románcement* elterjedt az egész világon. Magyarországon 1840-ben a Lánchíd építésénél használtak először románcementet. A különböző lelőhelyeken található márga változó összetételű volt és ennek következtében a románcementek is egyenlőtlen minőségűek voltak. Ezért megkísérelték a nyersanyag összetételét állandósítani az agyag és a mészkő mesterséges összekeverésével. A XIX. század 20-as éveiben egymástól függetlenül három országban: Oroszországban I. E. CSELIJEV, Angliában J. ASPDIN és Franciaországban L. J. VICAT [7] égetett mesterséges keverékből cementet.

ASPDIN *portlandcementnek* nevezte el gyártmányát, mert a lekötött cement színe hasonló volt az angliai építkezéseknél használt portlandi kő színéhez. Ez az elnevezés elterjedt az egész világon.

A portlandcementnek a románcement feletti nagy előnye nemcsak az egyenletes minőségben mutatkozott meg, hanem abban is, hogy a nyersanyagot jóval magasabb hőfokon — egészen a zsugorodásig — égették ki, ami által a románcementnél lényegesen nagyobb szilárdságú terméket kaptak. A portlandcement minőségét még az is javította és vitte magasabb színvonalra, hogy készítésének gyári iparrá történő felfejlődésével egyidejűleg megindult a vegyészek feltáró munkája a nyersanyagok kémiai összetételére, a kapott termékek tulajdonságaira és az okok és okozatok közötti összefüggés egzakt megállapítására vonatkozólag. Ezzel kezdődött meg az empirikus gyártási mód felszámolása és a cementgyártás technológiájának tudományos alapokon való fejlődése.

Az alábbiakban a hidraulikus kötőanyagok hazai gyártástechnológiáinak fejlődésével kívánunk foglalkozni, külön-külön tárgyalva a latens hidraulikus anyagokkal készült cement, a nem zsugorodásig égetett márgából készült románcement, a zsugorodásig égetett nyersanyagból előállított portlandcement és a különleges cementek gyártását.

2. Latens hidraulikus anyagokból készült cement

A trasz egyike a legrégebb építőanyagoknak. Az eruptív tufákból készül, melyeknek szilikáttartalmát a vulkán tüze „feltárta” és a kovasav egy részét kémiaiilag aktívvá, vagyis alkalmassá tette arra, hogy mésszel egyesüljön, kalciumhidroszilikátokat képezzen, ami alapja a hidraulikus kötőanyagok habarcestechikai alkalmazhatóságának. Magyarország gazdag ilyen eruptív kőzetekben. SCHAFARZIK Ferenc 1904-ben megjelent munkájában pontosan rámutat azon tufa-félék hazai előfordulási helyeire, melyek traszcement készítése szempontjából számításba jöhetnek. Újabban JUGOVICS Lajos foglalkozott ezen bányakincsünkkel. Az évszázad kezdetén NAGY Dezső műegyetemi tanár volt lelkes apostola a tufák technikai értékesítésének. Az ő kezdeményezésére alakult meg a „Magyar Vulkáncementgyár” Selypen, amely 1909-ben kezdte meg üzemét. Vezetői voltak GELLÉRI Soma és jelen tanulmány szerzője. A gyár termékéről, a trasz tulajdonságairól, felhasználásáról részletesen olvashatunk LAMPL Hugó és SAJÓ Elemér 1914-ben megjelent „A beton” c. könyvében. A gyár aránylag rövid működése ellenére úttörő eredményeket ért el a trasz kémiája, technológiája és felhasználása területén. Ezekről szerző kimerítően 1924-ben számolt be „A trasz értékelése és felhasználása, különös tekintettel a magyarországi traszra” c. disszertációjában. A Magyar Aszfalt R. T. útépítéseinél, a soroksári Duna-ág kamara-

zsilipjei építésénél, a Mura folyó szabályozásánál, Kolozsvár hidegszamosi vízierőtelepének völgyzárógátja építésénél és még számos más építkezési munkálatoknál beigazolódott, hogy 1. A trasz a portlandcement kilúgozható szabad meszt leköti és így a szabad mész kilúgozásával járó jelentékeny károkat megszünteti. 2. Bizonyos mértékig a portlandcementhez adagolva a beton szilárdságát nem csökkenti, sőt még növeli. 3. A beton vízhatlanságát (tömörségét) fokozza. 4. Jelentékenyen olcsóbb, mint a portlandcement és így a fenti előnyök mellett alkalmazása a betont még olcsóbbá teszi.

A trasz alkalmazásának tehát jelentékeny műszaki és gazdasági előnyei vannak. Felhasználása népgazdasági fontosságú.

A „Magyar Vulkáncementgyár”-at 1911-ben a Beocsini Cementgyár Unió bekebelezte és a trasz gyártását — félretéve a népgazdasági érdekeket — megszüntette.

3. Márgából készült zsugorodásig égetett románcement

Mint a bevezetésben szerző jelezte, ez volt az őse a későbbi portlandcementnek. A márgának azon fajtájából égették, melyekben a mész és agyag természetes keverékének aránya közel áll azon kémiai összetételhez, amit később a portlandcement-nyersliszt készítésére megállapítottak. Kb. 25% mész és 75% agyag. Az 1880 előtt alapított cementgyáraink elindulása az alkalmas márgából égetett *románcement* gyártása volt. Ilyenek voltak a legjobb nyersanyaggal rendelkező beocsini gyár, a lábatlani gyár, amit KONKOLY István és PLESCHA Mátyás alapított, a budai Józsefhegyi Cementgyár, amit később Melocogyár néven ismertünk, továbbá a lábatlani gyár szomszédságában levő nyergesújfalusi cementgyár, amit BENKŐ Károly és KOLBENHAYER Ferenc épített, a mogyorócskai (Szepes megye) Benzur-féle cementgyár, az Arad—Csanádi Egyesült Vasutak tulajdonában levő gurahonci (Arad m.), a Kugler és Társa-féle brassói, a Schenk Adolf-féle ledeci és zsolnai cementgyárak. Ezeket 1869—1870-ben alapították. Össztermelésük kb. évi 400 000 t volt, aminek felét kb. 200 000 t-át a beocsini cementgyár termelte.

Azonban — ha a folyamatos románcementgyártást csak 1870 körül kezdtük is meg — a magyarországi románcementgyártásnak van két nagyon érdekes történelmi dátuma, amivel az európai kontinens összes országait megelőztük. Az egyik: 1838, mikor CLARK Ádám, a Lánchíd építője, a Magyar Tudományos Akadémia akkori üres telkén aknakemencét állított fel és beocsini és budai márgából románcementet égetett a hídépítéshez szükséges hidraulikus kötőanyagszükséglet fedezéséhez. A románcement dicsőségére említtem meg, hogy azok a betontömbök, amit akkor ebből a románcementből készítettek, még ma is — 120 esztendő után! — intaktak és ellentállnak az idő és a Duna-víz korróziós hatásának.

A másik kiemelkedő dátum 1854, a Ferenc-csatorna dunai torkolatának építése. Az építő MIHALIK János volt, a legkitűnőbb és legleleményesebb magyar mérnökök egyike. Clarkhoz hasonlóan, ő is maga égette a románcementet kamenicai márgából.

A két elszigetelt románcementgyártás után csak 30, ill. 20 év múltán indult meg a folyamatos gyári előállítás. Kb. 40 éven keresztül használta az építőipar ezt a hidraulikus kötőanyagot. A fejlődés ismert elvénél fogva, hogy „jónak ellensége a jobb”, az univerzális alkalmazhatóságú és mindig nagyobb és nagyobb szilárdságban előállított portlandcement lassanként kiszorította a románcementet az építőipar területéről. 1911-ben, mikor szerző Selypről a Lábatlani Cementgyár üzeméhez került, még ott gyártottak románcementet. Dietsch-kemencékben égették. Az őrlését az ún. „ó-gyárban” malomkövekkel végezték. Ugyanakkor az „új-gyárban” már forogtak a korszerű golyós csőmalmok és maxekon-malmok, hogy készítsék a nyerslisztet a legmodernebb forgókemencék részére. Rövid idő után beszüntették a románcement gyártását, miután 1910-ben már a beocsini cementgyár is leállította ezen üzemét. Legkésőbb szüntette meg a románcementgyártást a Budai Cementgyár (volt Melocco), ahol — NAGY István cementtechnikus értesítése szerint — még 1922—1928-ban az ő és LÖVENTRITT Andor üzemvezetése alatt gyártottak románcementet.

4. Portlandcementgyártás zsugorodásig égetett nyersanyagokból

Ezen cementfajta előállítása a vegyész- és a gépész-cementtechnikusok összehangolt együttes munkájának eredménye.

A vegyészek megállapították, melyik az a legjobb kémiai összetétel és a legjobb technológiai folyamat, amellyel a jó minőségű klinker (így nevezik az égetéssel zsugorított cementnyersanyagot) készíthető, a gépészmérnökök pedig megkonstruálták a zúzás, őrlés, keverés, magasfokú égetés, homogenizálási műveleteket elvégző gépeket, amelyekkel sikerült kitűnő minőségű, nagy szilárdságú portlandcementet előállítani. A fejlődés természetesen hosszú, több évtizedes munka eredménye volt.

A portlandcement-technológia kifejlődésében a magyar mérnököknek is elismerést érdemlő szerepük volt.

WENDLAND Károly, a lábatlani cementgyár igazgatója 1875-ben állított fel portlandcement égetésére alkalmas aknakemencéket. Ő volt az első Magyarországon, aki itthon gyártotta az eddig csak külföldről importált portlandcementet. 1903-ban 2 db 25 m hosszú forgókemencét szerelt fel, amit Fellner és Ziegler szállított. Utódai, SPITZER Ignác mérnök és SELÉNYI Vilmos gépészmérnök 1907-ben felcserélték a kisméretű kemencéket 53×2,4×2 m méretű, Polysius-féle száraz üzemű forgókemencékre és egyidejűleg a gyár őrlőmalmaikat és erőtelepét korszerűsítették.

Úttörő munkát végzett a lábatlani cementgyárnál DORMANN Ottó vegyész, aki megkísérelte a vegyileg hiányos nyersanyagot megfelelő korrekúrával javítani. Az alacsony SiO_2 pótlására 5—8% homokot adagolt a mészkő és márga keverékéhez, ami által a lábatlani portlandcement akkori normák szerinti 28 napos kb. 300 kg/cm^2 nyomó szilárdsága kb. 400 kg/cm^2 -re emelkedett. Ez a nyersanyagkorrekció abban az időben merész újítás volt, amiről a *Zeitschrift für Angewandte Chemie* 1911-ben be is számolt. — A száraz üzemű forgókemencéket 1924-ben átcserélték nedves eljárású, Smith-féle kemencékre.

1911-ben szerelték fel Selypen a szintén Polysius-féle száraz eljárással dolgozó, kb. 40×3 méretű forgókemencét. Ezzel kapcsolatban annak idején feltűnést keltő újításáról számolhat be szerző. Ugyanis a portlandcementet mindenütt márga + mészkőkeverékből készítették. Selypen kísérelték meg először márga helyett traszt (tdkp. tufát) szilikátkomponensként alkalmazni. A kísérlet nagyszerű eredményt adott és nemcsak hogy kitűnő minőségű portlandcementet kaptak, hanem még az égetésre felhasználandó hőmenyiség is kisebb volt és jelentékeny szénmegtakarítás mutatkozott. A selypi gyárnak — mint portlandcementgyárnak — továbbfejlesztésében eredményesen működtek RÉVÉSZ Ármin és VARGA Imre mérnökök.

A portlandcementgyártás során meg kell emlékeznünk HAUENSCHILD Albertről, a beocsini cementgyár vegyészmérnökéről. Ő volt az, aki a már teljesen elhanyagolt, figyelmen kívül helyezett aknakemencék üzemét újra életre keltette és GULYÁS József művezető segítségével megteremtette a ma már világszerte használt automatikus gép módjára működő cementégető aknakemencét. 1911—1912-ben, mikor szabadalmát megkapta, szerző együtt dolgozott velük és alkalma volt megfigyelni azt a sok fáradsággal járó megfeszített munkát, amellyel az eredmény megszületett. Minderről KÜHL: *Zementchemie*, WECKE—KAMISKY: *Zement c. szakkönyvekben*, valamint a *Tonindustrie Zeitung* és *Zement c. szaklapokban* olvashatunk. HAUENSCHILD kiválóan értette a portlandcement kémiaiáját is. 1915-ben jelent meg „A portlandcement hidraulikus modulusáról” c. tanulmánya, amelyben a magas színvonalon, alapos tudással és biztos természettudományos logikával vitte előbbre az akkor még zavaros tudományt, úgyhogy megállapításai ma is helytállóak.

Mikor azt az úttörő munkát keressük, amelyet a magyar cementipar világvizonylatban végzett, nem szabad megfeledkeznünk a Magyar Általános Kőszénbánya felsőgallai gyár alapításáról. SPIEGEL Béla, a koppenhágai F. L. Schmidth-cég által olyan mintaszerű, nedves eljárású gyárat épített 1911-ben, amelyre akkor az egész világ cementtechnikusai felfigyeltek. Ebben a gyárban alkalmaztak először olyan nyersanyagelőkészítést, amely nem iszapolható kemény anyagok őrlésével állította elő a forgókemencék részére a nyersiszapot,

Munkatársai voltak LÖVENTRITT Andor vegyész-mérnök, aki a laboratórium ifjú gárdáját vezette be a cementkémia tudományába, KREITEN József kohómérnök, BERGMANN Ernő vegyész-mérnök, NAGY István vegyész-technikus és LOBENVEIN János gépésztechnikus.

Végül meg kell még emlékeznünk — mint úttörő munkáról — az 1913—1914. években készült Tordai Cementgyárról. Európában elsőnek égettek itt földgázzal portlandcementet. A gondolatot PFEIFFER Ignác műegy. tanár adta, aki Amerikában járt a földgáz értékesítésének tanulmányozására. Az előmunkálatokat a Pesti Magyar Kereskedelmi Bank megbízásából szerző végezte. A nyersanyag alkalmasságának megállapítása végett a bányafúrásokat Szász Imre eszközölte, aki akkor a torda—topánfalvi vasútépítkezésnél működött. A gyártási technológiát szerző Berlinben a „Tonindustrie Laboratórium”-ban végzett elemzései és próbaégetései alapján dolgozta ki. A cement-nyersanyag szilikátkomponensei közé felhasználta a tordai traszt is — és kísérleti égetéseiben a legmagasabb szilárdságú, 28 napra 700 kg/cm^2 -t elérő portlandcementet sikerült előállítani.

A magyar portlandcementgyártás kifejlesztése során igen érdemes tevékenységet fejtett ki GOTTLIEB István vegyész-mérnök is. Előbb BEREZKY Endre mellett dolgozott Csehszlovákiában, majd SPIEGEL Béla oldalán a haifai cementgyárban. Külföldi szaklapokban feltűnést keltő cikkei jelentek meg az automatikus aknakemencéről, a generátorgázzal fűtött aknakemencéről, a tűzálló bélésről, a mineralizátorokról, a cementörlés finomságáról, legutóbb pedig a mi iparunkat is nagyon érdeklő gyenge minőségű, lángos szenek használatáról aknakemencékben.

5. Különleges cementek gyártása

A magyar cementipar a portlandcement mellett háromfajta különleges cement gyártására is berendezkedett. Ezek: a bauxitcement, a korrózióálló S 54 cement és a fehércement.

5.1. A *bauxitcementet* „Citadur-cement” néven a Magyar Általános Kőszénbánya felsőgallai gyára készítette. A történelmi hűség kedvéért azonban meg kell jegyezni, hogy már 1926-ban a Lábatlani Cementgyár főmérnöke, SELÉNYI Vilmos és JÓKUTHY Gyula üzemvezető mérnök is foglalkoztak az akkor Európában, különösen Franciaországban divatba jött Lafarge-féle „ciment fondu” (olvasztott cement) készítésével. A bauxitcementet BIED francia mérnök találta fel már 1908-ban. Az első világháborúban a franciák a nehéz tűzérség részére épített beton alapokat ezzel a cementfajtaival készítették s ezeket az alapokat az elkészítés után néhány órával már üzembe is tudták venni.

SELÉNYI és JÓKUTHY azonban a kísérleti gyártásnál és Tát és Nyerges-újfalui közötti bauxitcementtel készült útépitésnél nem ment tovább, a

lábatlani gyár a folyamatos gyártást nem vette fel. Ellenben SPIEGEL Béla, a Magyar Általános Kőszénbánya igazgató-főmérnöke és munkatársai: KREITEN József kohómérnök, BERGMANN Ernő vegyészmérnök, NAGY István cement-technikus a kísérleteket folytatták és Biedtől eltérően egy új eljárást dolgoztak ki. A kísérletekbe bekapcsolódott VARGA József műegyetemi tanár is. Az új gyártási módban nem olvasztják meg a bauxitnyerslisztet, hanem csak zsugorodásig, kb. 1100° C-ig hevítik, amikor a kalciumaluminátok képződése már megtörténik. Az eljárást szabadalmaztatták és 1928-ban Amme, Giesecke & Konegen, braunschweigi cég — mint a felsőgallai cementgyár külön részlegét — megépítette a bauxitcementgyárat. Az égetést egy átalakított mészégető körkemencében végezték. A „citadur” cementgyártásra az egész világon felfigyeltek és mint speciális magyar bauxitcementgyártmányt ismeri a szakirodalom. A gyártmány a maga nemében egyenrangú volt az olvasztott Lafarge-féle cementtel. Hogy a bauxitcement viselkedése körül az utóbbi évtizedben kifogások hangzottak el a kalciumhidroaluminát átkristályosodása miatt és ezért gyártását egyelőre beszüntették — ennek tárgyalása és a viták ismertetése nem tartozik jelen tanulmány keretébe. TALABÉR József, a Dunai Cement Művek főmérnöke kandidátusi disszertációjában részletesen foglalkozik ezzel a problémával. Tény azonban, hogy a külföld még mindig élénken érdeklődik a citadur technológiája iránt és kéri a gyártás dokumentációját. A Szovjetunióban több új bauxitcementgyárat építenek. BUDNIKOV P. P. kiváló szovjet szilikátechnikustól kapott értesülésem és irodalmi közlemények szerint nekik sikerült megállítani a bauxitbeton bomlási folyamatát és stabilizálni a szilárdságot.

5.2. *A szulfátálló portlandcement gyártását* 1937-ben a Lábatlani Cementgyár kezdte meg. Az előzetes kísérleteket JÓKUTHY Gyula mérnök és PÁLYI Árpád vegyész végezték. A kísérletek eredményre vezettek. Az elnevezés onnan eredt, hogy „S” a szulfátállóságra mutat, az „54” szám pedig a 0,54 alumínium-modulusra. A hasonló típusú cement gyártását 1920-ban FERRARI olasz mérnök kezdte el s ezért általában ezeket *Ferrari-cement*nek nevezik. Miután pedig a cement-klinker ásványi összetételében a tetrakalciumaluminát-ferrit az uralkodó, ezen vegyületnek feltalálójáról, *Browmillerit-cement*nek is hívják. JÓKUTHY és PÁLYI a hatóvegyület képződését piritpörknek és homoknak a nyersiszaphoz való jelentékeny mennyiségben hozzáadásával érték el. Kb. 70 féle keverési kombinációval kísérleteztek elektromos ívkemencében és ezek közül a 0,54 alumínium-modulusú mutatkozott legjobbnak. Világszerte készítik hasonló összetételben a szulfáttartalmú vizek korróziós hatásának jól ellenálló cementet és a magyar készítmény minőségben egy nívón áll a külföldi gyártmányokkal.

5.3. *A fehércementgyártás* a Bélapátfalvi Cementgyár specialitása volt. „Üstökés” név alatt hozta forgalomba és nemcsak a hazai építőipar igényeit elégítette ki, hanem jelentős exportot is lebonyolított vele. 1931—1932. évben

kezdtek el gyártani a Miag braunschweigi cégtől (Amma, Guisecke & Konegen) átvett szabadalom alapján. Miután a nyersanyagoknak lehetőleg vasmentesnek kell lenni, a szilikátkomponenst — a kaolint — Beregszászról hozták. A gyártásban részt vettek HOLECZ Balázs, ZLAMÁL Ottó, PAULINI Árpád, BERDE László vegyész-mérnökök és CHIKÁN János gépészmérnök. A gyártást 1950-ben beszüntették.

* * *

A hidraulikus kötőanyagok gyártástechnológiája fejlődésének magyar vonatkozásait tárgyaló fenti tanulmány megírásában írásban vagy szóbelileg szerző segítségére voltak BEREZKY Endre professzor, BEKE Béla kandidátus, HOLECZ Balázs iparági igazgató, PÉNTEK László főmérnök, NAGY István és PÁLYI Árpád nyugdíjas kartársak, továbbá a cementgyári vállalatok igazgatói. Szíves támogatásukért szerző ez úton fejezi ki hálás köszönetét.

IRODALOM

1. *Magyar Mérnök- és Építészegylet*: Technikai fejlődésünk története 1867—1927. 575. o.
2. DESCH: The Chemistry and Testing of Cement 1911.
3. BOGUE: The Chemistry of Portland-Cement New York 1946.
4. BUSING—SCHUMANN: Der Portlandzement und seine Anwendung im Bauwesen, 1905.
5. JUNG, V. N.: Mész- és Cementipari Technológia, 1953.
6. LEA—DESCH: Die Chemie des Zements und Betons, 1937.
7. BLANC, E. C.: Le Ciment Portland, Paris et Liege 1927.
8. SZKRAMTAJEV, B. G.: Építőanyagok, 1953.
9. SCHAFARZIK, F.: A magyar korona országai területén létező kőbányák, 1904.
10. JUGOVICS, L.: A vulkáni tufák, mint építő kőzetek. Építőanyag, 1954. 399. o.
11. NAGY, D.: Magyarország traszanyagai, 1905.
12. SAJÓ—LAMPL: A beton, 1914. 124. stb. o.
13. BEREND—BÁNKI: Magyarország gyáripara 1900—1914.
14. VÉGH J. tatabányai cementgyári igazgató magánközleménye.
15. Budapest székesfőv. polgármestere a hidraulikus pótlékok alkalmazásáról szóló 316,783/1940/III. ü. o. sz. rend.
16. PALOTÁS, L.: Minőségi beton és hazai heterogen cementek felhasználása az építőiparban. VI. Osz. Közl. II.
17. LÖW M.: Hazai traszainkról. *Anyagvizsgálók Közlönye* (1937), 4. sz.
18. BICZÓK I.: Betonkorrozó — betonvédelem 1956.
19. BEREZKY E. magánközleménye és BEREZKY E.: Hidraulikus kiegészítő anyagok szilárdulásával kapcsolatos anyagszerkezeti kérdések. *Építőanyag* 1956, 82. o.
20. NAGY I. magánközlése.
21. WESSELY I.: A cement minőségi kérdései. Mérnöki Továbbképző Intézet 1953.
22. DORMANN, O.: *Zeitschrift Angew. Chemie* (1911), 24—157.
23. WESSELY I.: A portlandcementgyártás kémiai technológiájának fejlődéstörténete. *Építőanyag* (1956), 56. o.
24. HAUENSCHILD A.: A portlandcement hidraulikus modulusáról (1915).
25. PÁLYI Á. magánközlése.
26. NAGY I. magánközlése.
27. *Zschf. Angew. Chemie* 1928.
28. TALABÉR J.: Az alumínátcementek (kand. disszert.).
29. BUDNIKOV, P. P. magánközlése és „A kalciumszulfát szerepe a hidraulikus kötőanyagok szilárdulásában”. *Építőanyag* (1958).
30. PÁLYI Á. magánközlése.
31. Az EAKKI kutatási jelentése a fehércementgyártásról.
32. Az ÉM cementipari igazgatóságnak jelentése a fehércementgyártásról.

33. APRÓ A.: A szocialista országok gazdasági együttműködésének legfontosabb kérdései. 1960.
34. WESSELY I.: A trasz értékelése és felhasználása, különös tekintettel a magyarországi traszra (1924).
35. PASSOW, H.: Die Hochofenschlacke in der Zementindustrie (1908).
36. TETMAYER, L.: Mittlg. d. Anst. z. Prüfung v. Baustoffen am Eidgen. Polytechnikum, Zürich 1894. Heft. 7.
37. BEKE B.: A körfolyamatos őrlés (kand. dissz.).
38. SPALDING G. naplója a Lábatalani Cementgyár múltjáról és *Esztergom és Vidéke* 1897. okt. 24. száma.

A MAGYARORSZÁGI KŐOLAJ- ÉS FÖLDGÁZKUTATÁS AZ 1780-TÓL 1945-IG TERJEDŐ IDŐSZAKBAN*

II. RÉSZ**

PAPP SIMON

A FÖLD- ÉS ÁSVÁNYTANI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1962 szeptemberében]

3. Az European Gas and Electric Co. és a Magyar—Amerikai Olajipari Részvény Társaság kutatásai

3.1. A MAORT megalapítása és annak tevékenysége

Az 1924 és 1933 közötti években csakis a magyar kincstár által végzetett kutatások folytak az országban. Az angolok nem kívántak tovább foglalkozni a magyar területek petróleum lehetőségével. Ennek okai az angolok geológus szakértői, mert nem ismerték fel a magyar területek szerkezetét és értékét. Ennek az angol kudarnak a következménye az lett, hogy sem más idegen olajvállalatok, sem a magyar szénbánya vállalatok, sem a magyar bankok nem kívántak részt venni a szerintük bizonytalan kimenetelű vállalkozásban. Ezért elsősorban a magyar államkincstár és az akkori magyar állami vezető geológusok okolhatók, mert az utóbbiak PÁVAI VAJNA Ferencen kívül, nem fejtettek ki megfelelő tevékenységet. BÖCKH Hugó 1923—1929 között a külföldet járta, helyét a pénzügyminisztériumban PÁVAI VAJNA Ferenc foglalta el, mint egyedüli geológus.

Ifj. Lóczy Lajos csak 1932-től kezdve hallathatta szavát, amikor a Földtani Intézet megbízott igazgatója lett. Szerző 1920 óta külföldön dolgozott, de 3 évenkénti szabadságát itthon töltötte és ilyenkor megkísérelte fellelkesíteni az állami bányászati kutató osztály vezetőit, a szeneseket, hogy kíséreljék meg a zalai területek további kutatását. 13 évi távollét alatt elveszítette azt a tekintélyét, amelyet az erdélyi és egebelli olaj- és földgáz-, valamint érc- és szénkutatási tevékenységével szerzett. Reá mint elfelejtett emberre itthon nem hallgattak és csak akkor fedezték fel, amikor megtalálta és feltárta a lispei olajat. Külföldi szolgálata alatt igyekezett külföldi geológus és olajmérnök kollégáinak (WHINTHROP HAYNES, BOWEN, J. C. TEMPLETON stb.) figyelmét a magyarországi olajlehetőségekre ismét ráirányítani mind Angliában, mind Kanadában és az USA-ban.

Ilyen előzmények után jelent meg gázkoncesszióért a magyar pénzügyminisztériumban 1932. év telén az Ausztriában már dolgozó *European Gas*

* Ez a dolgozat szerző egy részletesebb tanulmányának kivonata, mely az MTA kéziratárában Ms 10 398 sz. a. van letétbe helyezve.

** I. rész megjelent a Műszaki Tudományok Osztálya Közleményeinek 32. kötetében.

and Electric Co. (röviden: *Eurogasco*) két vezetője: Henry J. PIERCE elnök és Paul RUEDEMANN alelnök.

Ezt a vállalatot az államnak nem kellett úgy ide csalogatni, mint 1916-ban a *Deutsche Bankot* Erdélybe (Magyar Földgáz R. T.), vagy az angol *D'Arcy Exploration Company Ltd.*- t. (*Hungarian Oil Syndicate*) az 1920. év végén.

1933. június 28-án, a két régebbi gáz- és olajkoncessziós szerződés irányvonalát követve, egy „Egyezmény” és „Szerződés” jött létre a magyar állam és az *Eurogasco* között, amely nemcsak a földgázra, hanem olajra is vonatkozott. A koncesszió kiterjedt az egész Dunántúlra, amelynek a területe körülbelül 32 375 km².

Az Egyezményben biztosított opciós időszak 5 évre szólt, amelyet később 2 évvel meghosszabbítottak. Ez alatt az *Eurogasconak* legalább 350 000 arany dollárt kellett befektetni. Az opciós időszak letelte előtt az *Eurogasco* köteles volt nyilatkozni, hogy megalakítja-e vagy sem az önálló magyar részvénytársaságot. Ez utóbbinak az alaptőkéje 500 000 arany dollárnak megfelelő összeg kell hogy legyen. A koncesszió időtartama 40 év, amely 20 évvel meghosszabbodik, ha a 35-ik évig legalább 10 millió dollárnak megfelelő értéket fektetett be a Társaság magyarországi vállalataiba. 1938. június 24-én a magyar állam és az *Eurogasco* között létrejött még egy *Pótszerződés* is, amely megváltoztatta az eredeti Szerződés egyes pontjait. A MAORT ezen Pótszerződés előírásait szem előtt tartva működött. A magyar állam a Szerződés többi összes feltételeinek megállapításában nagy gonddal járt el. Kikötötte, hogy a Társaságnak a kitermelt olaj 15%-át, a gáz 12%-át, a bután-propán 15%-át, a gázolin 15%-át természetben vagy készpénzben kell az államnak átengednie.

Az *Eurogasco*, mivel kutatásai sikerrel jártak, 1938. július 15-én, tehát éppen az 5 éves opciós időszak letelte után megalapította a *Magyar—Amerikai Olajipari Részvénytársaságot*, vagy röviden MAORT-ot.

Az iparügyi minisztérium 1935-ben történt megalakulásáig BÖHM Ferenc miniszteri tanácsos volt a kinevezett ellenőre az *Eurogasconak* és 1936-tól kezdve 1944 végéig telegdi RÓTH Károly min. osztályfőnök, egyetemi tanár. Ezután 1948-ig csak a budapesti bányakapitányság és az iparügyi minisztérium egyes főtisztviselői (FALUDI Béla, FALLER Gusztáv, GOMBOSI Zoltán 1945 utáni iparügyi államtitkár és FORGÁCS László) ellenőrizték a MAORT tevékenységét.

Az *Eurogasconak* 1936 szeptemberéig Budapesten nem volt önálló irodája. Az Egyezmény aláírása után a dunántúli geológiai és geofizikai kutatások megszervezésével és vezetésével szerzőt, az adminisztrációs ügyek lebonyolításával ÁBEL Bódogot bízták meg.

A MAORT első igazgatóságának a tagjai között csak három magyar állampolgár és 6 külföldi szerepelt.

Az *Eurogasco* amerikai vállalat volt. A Chicagói Kereskedelmi Kamara egykori elnöke, Henry J. PIERCE alapította Wilmington városában, Delaware államban. Ennek a vállalatnak a megbízásából Paul RUEDEMANN végig tanulmányozta Lengyelországot, Németországot, Franciaországot, Jugoszláviát, Ausztriát és végül Ausztriában állapodott meg. Itt, miután a szénhidrogén-kutatás nem volt monopólium tárgya, zártkutatmányokat szerzett és a Bécs melletti Oberlaa területén sikerült neki egy kicsi gázmezőt feltárni 1931-ben. Ez a gázmező azonban rövid életű volt. Ezért csökkentették ausztriai kutatási tevékenységüket és irodájuk legnagyobb részével áttették székhelyüket 1936-ban Budapestre. Bécsi irodájuk egy részét még megtartották TAUSSIG Oszkár gépészmérnök, alelnök vezetése alatt.

Bécsből RUEDEMANN Pál az *Eurogasco* alelnöke és vezérigazgatója jött át Budapestre, magával hozván BANNANTINE György. amerikai fúrési felügyelőt, továbbá MOLNÁR Erich osztrák vegyészt is.

A MAORT utolsó előtti 9 igazgatósági tagja (1941—1945) közül 4 magyar állampolgár volt.

A MAORT utolsó 6 tagú igazgatóságában (1945—1948) 3 magyar állampolgár volt.

A második világháború alatt a magyar kincstár használatba vette a MAORT üzemeit. A használatba vételt 1946 decemberében oldotta fel BÁN Antal akkori iparügyi miniszter, aki ugyanakkor visszahelyezte a MAORT-ot összes jogaiba. A kincstári használatba vétel ideje alatt PAPP Simon egyedüli vezetője volt úgy a MAORT-nak, mint a kincstári üzemeknek.

A kincstári használatba vétel 1941. december 20-án történt. A használatba vétel okai a következők voltak:

1. Az Amerikai Egyesült Államoknak a háborúba való belépése előtt, 1941. év végén elterjedt a hír miniszteriális körökben, hogy a *Standard Oil Co. of New-Jersey* és a németek azon alkudoznak, hogy a *Farben Industrie* Amerikában levő érdekeltségeinek megváltása fejében szeretnék a MAORT-ot megkapni a *Jersey*-től. A *Jersey* 25 millió dollárt kért a MAORT-ért. Ezt az összeget a németek nem akarták elfogadni.

2. A magyar iparügyi minisztérium, a MAORT vezetőségével együtt arra törekedett, hogy a MAORT ne kerüljön közvetlenül német vezetés alá, amiként ez Romániában történt az ottani testvérvállalattal, a *Romano Americana*-val. Az volt az elképzelés, hogy ha a MAORT magyar állami kezelésben lesz, akkor a németek nem erőltetik az amerikai vagyonnak teljes átvételét. Ez az okoskodás sántított, mert 1944 márciusában az ország megszállása idején már egy német olajos katonai csoport Székesfehérváron állomásozott arra készen, hogy a MAORT olajterületeit megszállják és hogy a kutatást és termelést kezelésükbe vegyék. Ezt csak úgy tudtuk elkerülni, hogy szerző hosszú évek óta ismerte a németek legfőbb olajszakértőjét — BENTZ Alfréd olajgeológus professzort, akinek a közbenjárására a német

katonaság elállott a MAORT igazgatóságának és az olajterületek átvételének a szándékától.

Az *Eurogasconak* megvolt a maga geológiai és geofizikai osztálya. Minden fúrólyuknál állandó geológiai felügyelet volt és a geofizikusok korszerű módszereket, automatikus torziós ingákat, gravimétereket, magnetométereket, szeizmikus felszereléseket használtak. Rendszeresen végeztek elektromos fúrólyukvizsgálatokat.

3.2. A mihályi fúrás

Az első mélyfúrást szerzőnek a Kisalföldön *Mihályiban* kellett megtelepítenie. Ez a fúrás 1935. február 20-án kezdődött és ugyanezen év július 26-án fejeződött be, 1603,60 m mélységben, kristályos palákban. Két okból kellett ezt a fúrást megtelepítenie. Először azért, mert itt egy nagyon szép nagy, északkelet—délnyugati irányú, 60 km hosszú szerkezetet állapítottak meg, amelynek két magas pontja van. Egyik Mihályinál, a másik Répcelaknál. A másik ok, amely az itteni fúrás mellett szólott, hogy ez a hely Bécs és Budapest között van. Ha gázt tárunk fel, akkor nagyon könnyű lesz az értékesítés a két nagyváros között. Nos, 1935. július 23-án gázt tártunk fel. Megdugattyúzva a kutat, nagy mennyiségű, benzinszagú gáz áramlott ki az 1510—1525 m és az 1550—1557 m közötti homokrétegből. Rövidesen, még aznap kiderült, hogy a kiáramló gáz, dacára az erős benzinszagnak, nem földgáz, hanem 95—96%-ban szénsav és 4—5% olajjal szennyezett metán. 1935 augusztusában 1 m³ kiáramló gázban 10 gramm olaj volt. A gáznyomás az első kísérleteknél 73—78 atm volt a termelés alatt. 1937—1938-ban még az *Eurogasco*, majd a MAORT megkezdte ennek a terméknek a felhasználására vonatkozó kísérleteit. Szárazjeget, tisztított szénsavat állított elő belőle. Az első nehézség az volt, hogy a szénsavból el kellett távolítani a kellemetlen ízű és szagú szénhidrogéneket. Ez nem sikerült 100%-osan. Felhasználták a szárazjeget konténerekben való élelmiszer szállítására. Ugyanis főképpen gyümölcsöt, zöldséget szállítottak Angliába. Ez előnyösnek bizonyult, mert megrövidítette a szállítási időt. Nem kellett útközben jegelni a vasúti kocsikat, mert egy szárazjégtöltés jól kitartott Londonig. Az amerikai tulajdonosok kezdetben nem akartak ezzel a nagyon gazdag szénsavelőfordulással törődni, mondván, hogy erre a koncessziójuk nem szól. Biztosítékként azonban az *Eurogasco* mégis megvásárolta ezt az egy hold földet, amelyen a szénsavkút áll, hogy a földtulajdonos jogán rendelkezhesen vele. A szénsavval 1941 után kezdtünk valamivel erősebben foglalkozni, akkor, amikor a MAORT-üzemeket kincstári használatba vették. A fejlesztés ekkor is lassú volt. Megnehezítette a fejlődést a mesterséges szénsavat előállító gyár versenye.

A mihályi szénsavkút teljesítőképességét akkoriban nem ismertük pontosan, de 20 mm-es fúvókán könnyen adott napi 500 000 m³ gázt. Kiter-

melésre érdemes olajmennyiséget ez a kút nem adott, de a szárazjég készítése közben néhány hordó olaj mégis összegyűlt a szénsavból.

Itt kell megemlíteni, hogy szerző későbbben 1945—1946-ban még egy szénsavkutat furatott Répcelakon (M—5b.). Ennek a fúrásnak a mélysége 1466 m. Az 1454—1466 m közötti nyitott lyukban a Lajtamészke és fillit-rétegeket vizsgálva, 10 mm fúvókával napi 60 000—80 000 m³ petróleumszagú szénsavgázt és egészen csekély mennyiségű sárgásbarna olajat és az 1432—1438 m közötti szakaszból napi 76 000 m³ szénsavgázt nyertek. Ennek a gáznak az összetétele: 93,7% szénsav, 4,1% szénhidrogén és 2,2% nitrogén. Termelés közben a béléscsőnyomás 82 atm, a termelőcsőnyomás 75—85 atm volt.

Szerző a répcelaki fúrást is természetesen elsősorban olajra és gázra tűzte ki. Másodsorban úgy vélte, ha szénhidrogéneket nem találunk itt, akkor legalább a szénsavat itt is megtaláljuk, amely esetben lesz egy tartalék szénsavkútunk, amelyből pótolni tudjuk, ha Mihályiban valamely okból kiesés történik. Répcelakon 1954—1956 között meg is épült egy korszerű szénsav- és szárazjéggyár.

3.3. A görgetegi fúrás

A mihályi fúrás után szerző vissza szándékozott térni a diszkreditált zalai területekre. Közben elkészültek az Eötvös-ingával végzett nehézségi mérések. Ezek Lábod—Görgeteg—Babocsa környékén egy észak—déli irányú, nagy kiterjedésű nehézségi szerkezetet mutattak ki, amelynek csapásiránya nem volt összeegyeztethető a délzalai területeken megismert csapásirányokkal. Az akkor éppen nálunk időző amerikai bizottság egyik tagja, E. L. ESTABOOK, ragaszkodott ennek a nagy, jól záródó szerkezetnek mielőbbi megfúrásához. Így került sor a görgetegi 1. számú fúrásra. Ezt 1935—1936-ban fúrták. Mélysége 2059 m volt. Fúrás közben éghető gáznyomokat észleltek benne. Ez a fúrás műszakilag elszerencsétlenedett és ezért nem volt lehetséges egyes rétegeket megvizsgálni.

Ez volt Magyarországon az *első* fúrás, amelyben *elektromos fűrőlyukvizsgálatokat* is végeztek. (Schlumberger-módszer.)

3.4. Az inkei 1. sz. fúrás

Ez 1936. május 10—1936. október 2. között készült el. Mélysége 2140,5 m. Átfúrta az egész pannon rétegsort és a miocén helvétii emeletében végződött. Az 1350—1360 m és az 1368—1378 m közötti alsó-pannon rétegekből, 20 mm-es fúvókával napi 100 000 m³ kevert gázt és néhány hordó sárgás színű olajat adott. A nyert gáz összetétele nagyjában 70% szénsav és 30% metán. Volt olyan elemzés is, amely szerint a szénhidrogéntartalom 76,6%.

3.5. A lispei vagy budafapusztai felfedező fúrás

A B—1. jelű kutat 1936. július 13—1936. december 2. között, tehát az inkei 1-es kúttal közel egy időben fúrták. Ez volt tehát az *Eurogasco* 4-ik magyarországi fúrása. Mélysége: 1764 m. Az 1066—1805 m közötti alsó-pannon korú homokrétegekből 15 mm-es fúvókán át napi 418 000 m³ földgázt szolgáltatott. Heti 30 000—40 000 m³ gáz felhasználása mellett eleinte heti 2,5 vagon paraffinbázisú, 0,799 fajsúlyú (15 fok C), 37,5% benzint tartalmazó nyersolajat adott. A termelés kezdete 1937. február 9. Utoljára 1940. augusztus 5-én termelt ez a kút, ekkor napi 15 m³ olajat és 16 477 m³ gázt adott. Ez a kút összesen 1602 m³ olajat és 3 773 082 m³ gázt termelt. Ez volt tehát a trianoni Magyarországon az első olajkút, amelyikkel Magyarország is belépett az olajtermelő országok sorába.

A 2. sz. kút fúrása 1937. április 14—szeptember 29-ig tartott. Mélysége 1801 m. Ezzel a fúrással megkezdődött a lispei (budafapusztai és Báza—Kerettyeinek is nevezik) mező feltárása. 1948 végéig mintegy 135 kút készült el ezen a lispei szerkezeten, s ezek közül csak alig volt néhány meddő fúrás.

Amíg az *Eurogasco* a második lispei fúráshoz eljutott, sok nehézségen ment át. Az *Eurogasco* nem volt tőkeerős vállalat. Hiába kapott a magyar kormány jó értesüléseket az *Eurogascoról*, azok nem feleltek meg a valóságnak. Az az *Eurogasco*, amelyről a pénzügyminisztérium információt kapott, nem volt azonos az amerikai *The European Gas and Electric Company* nevű vállalattal, hanem az egy hasonló nevű, nagyon előkelő és gazdag londoni vállalat volt. Az 1930 körüli években, amikor az egész világra kiterjedő gazdasági mélypont nehezedett, nem volt könnyű pénzt szerezni egy ilyen kutató vállalat céljaira. Végre az *Eurogasco* akkori elnökének, PIERCENEK sikerült 250 ezer dollár kölcsönt szerezni a New-Yorkban székelő *Standard Oil Co. of New-Jersey-től*. Ezt egy év múlva részvényekké konvertálták. A *Jersey* mind több és több részvényt vett át és így 1937 vége felé már a *Jersey* kezében volt a részvények 90%-a. 1936 decemberében itt járt Ralph BOLTON, aki a *Jersey-t* mint elnök képviselte az *Eurogasco*ban. Ebben az időben a budafapusztai 1. sz. fúrással már 1053—1076 m között átfúrtak egy olaj- és gáztartalmú réteget és biztosra vettük, hogy ez a fúróluk olajat fog termelni, mert a kihúzott fúrómag teljesen át volt itatva olajjal és gázzal. Ezért sikerült BOLTONT rávenni, eszközölnön ki részükre a *Jersey-től* még 50 000 dollárt a kút további fúrásához és a homokrétegek megvizsgálásához, valamint a 2. sz. fúrás lemélyítéséhez. Erre engedélyt is kaptak. Tovább folytatva a munkálatokat, a 2. fúrólukban, az alsó-pannon rétegekben 7 olajtartalmú réteget tártak fel, különböző mélységekben. Megnyitva az 1204—1208 m mélységben levő Alsó-Lispének és az 1168—1179 m mélységben levő Felső-Lispének nevezett homokrétegeket, 1937. november 21-én 10 mm-es fúvó-

kával, naponként 10 300 m³ földgázt és 65,6 m³ jó minőségű, benzinben gazdag olajat nyertek. A termelés alatt a termelőcsőben 20 atm., a béléscsőben 36 atm nyomás volt.

Az első olajvonat 1937. december 16-án indult el a Lenti—Zalaegerszeg közötti ortaházai vasúti állomásról a finomítók felé. A fúróluk egy 13,5 kilométer hosszú, 3 hüvelykes (89—78 mm) csővezetékét és megfelelő töltőpadot is kellett építeni Ortaházán. 1939-ben elkészült egy 5 hüvelykes olajvezeték a Délivásút Nagykanizsa—Szombathely közötti fővonalán fekvő Újnéppuszta vasúti állomásig, amely már napi 100 vagon olaj szállítására volt alkalmas. 1941. november 28-án megindult a vezetékeken az olajszállítás a csepeli *Shell* finomító tankjaiba. Időközben ugyanis elkészült a Balaton déli oldalán egy 8 hüvelykes olajtávvezeték Újudvartól Csepelig. Ennek a vezetéknek a története is elég furcsa. Az olajnak a vasúti szállítása igen drága volt. Ezért a MAORT kérte, hogy az olaj szállításáért fizetendő díjakat osszák be egy kedvezőbb kategóriába. Ezt a kérdést nemcsak hogy elutasította a kereskedelemügyi minisztérium, hanem még magasabb díjosztályba helyezte az olajszállítást. Erre a MAORT azt ajánlotta, hogy az Államvasutak és a MAORT alapítsanak egy olajszállítási részvénytársaságot. Ezt is elutasította a minisztérium. Így a hatóságok maguk kényszerítették a MAORT-ot az olajvezeték megépítésére, elágazásokkal Pét, Almásfüzitő és Szőny felé. A vezeték két év alatt teljesen amortizálódott. Így a vasút elesett az olajszállításból eredő jövedelemtől. Sem a vasút, de még a szakemberek sem számítottak a magyar olajtermelés ilyen gyors növekedésével. A szakemberek is azt jósolgatták a tudományos folyóiratokban — a muraközi példát szem előtt tartva — hogy a magyar olajtermelés nem lesz több, mint évi 80 vagon. De nem így történt.

A lispei mező feltárása gyorsan haladt előre és közben új olajmezők keletkeztek:

A lispei mező után 1940-ben a nagy lovászi mezőt és a kisebb lendva-újfalui mezőt tártuk fel. 1942-ben a hahóti nagyszerkezeten Pusztaszentlászlón egy kicsi, de kiadós olajmezőt fedeztünk fel. 1946-ban Pusztaederics mellett találtak egy gáz- és párlatmezőt.

Előkészületek folytak a salomvári és nagylengyeli reményteljes szerkezetek megvizsgálására.

A zalai olajmezők termelése 1943-ban elérte az évi 837 710, 1944-ben a 809 969 tonnát. Összes olajtermelésünk 1937 és 1948 között 5 558 315 tonna, összes gáztermelésünk 2 540 636 099 m³ volt. Ennek az eredménynek az elérésére az *Eurogasco*—MAORT 1948. év végéig 476 mélyfúrást végzett. Ezek a kutak természetesen nem lettek mind olajtermelőkké, minden 5-ik, 6-ik kút meddőnek mutatkozott, beleértve az új mezők keresésére fúrt kutató fúrásokat is. Örvendetes, hogy ezt az eredményt elértük, de annál szomorúbb, hogy ezt nem a magunk pénzügyi erejével értük el. Pedig ezt a 15 millió

pengőt, amibe ez került, a magunk erejéből is előteremthettük volna, ha az eredménytelen alföldi fúrásokra 19 millió pengőt tudtunk elkölteni.

Miután Magyarországon nem ismerték a Rotary-rendszerű mélyfúrást, még kevésbé a korszerű olajtermelési módszereket, a kormánynak meg kellett engedni amerikai, angol és német fúrómestereknek az alkalmazását, azzal a kikötéssel, hogy mindegyik idegen fúrómester köteles betanítani 1—1 magyar állampolgárt. Kezdetben magyar mérnökeink is néhány hónapig fúrómunkásként dolgoztak. Munkásaink részére mérnökeink és geológusaink bányahatósági engedéllyel fúrómesteri tanfolyamokat tartottak, amelyeken nemcsak szaktárgyakat, hanem az elementáris, általános műveltséghez tartozó tárgyakat is tanítottak. 1941-ben eltávoztak az idegen állampolgárságú alkalmazottak és ettől az időtől kezdve csak magyar műszaki személyzettel és munkásokkal folyt ezután a kutatás és termelés.

Meg kell említeni, hogy a geofizikának egyik alkalmazott ágazata itt született Magyarországon. Az Eötvös Loránd által megszerkesztett torziós ingát, illetve annak RYBÁR István egyetemi tanár által készített automatikus változatát ui. mi használtuk legelőször. Később amerikai gyártmányú gravimétereket, majd német gyártmányú magnetométereket használtunk. Az állami geofizikai intézet német és svéd gyártmányú gravimétereket használt.

Ezekkel a műszerekkel, különösen a torziós ingákkal tisztán magyar geofizikusok dolgoztak. A graviméterek és a magnetométerek használatára amerikai és osztrák mérnökök tanították meg a mi geofizikusainkat. Az *Eurogasco* és MAORT saját állandó geofizikai csoportot szervezett, mert szerző a fősúlyt az altalaj szerkezeteinek megkeresésében a geofizikai módszerek alkalmazására fektette.

FEKETE Jenőnek, és VAJK Raulnak több éves amerikai tapasztalata volt. PEKÁR Dezső, RENNER János, SZECSEŐDY Miklós Indiában és Franciaországban, OSZLACZKY Szilárd Franciaországban és Venezuelában, SCHEFFER Viktor és SZILÁRD József Olaszországban is dolgozva, szereztek a magyar névnek megbecsülést.

Anélkül, hogy részletekbe bocsátkoznánk, megemlítjük, hogy a MAORT 1945. évi termelésének értéke elérte összes szénbányászatumk 1943. évi termelési értékének a felét. Öt évi termelési időszak után, a termelés egy évi értékét tekintve, a MAORT közvetlenül a két legnagyobb szénbányavállalat, a Salgó és a MÁK mögé került. Közvetve azonban még nagyobb értékkel járult hozzá a MAORT nemzeti jövedelmünkhöz. Ugyanis a kőolajfinomítók által a MAORT olajtermeléséből előállított termékeket is tekintetbe véve, a napi érték megközelítőleg 500 000 pengőre volt becsülhető.

3.6. A MAORT egyéb létesítményei

1939 után a MAORT hozzáfogott Kerettyén a gázviszanyomó és gazolin-telep megépítéséhez, és ezek elkészülte után a nedves gázból származó gazolin és propán-bután előállításához. A kerettyei telepeket William BROWN, DAVIES és CORTNER amerikai állampolgárok felügyelete alatt építik meg. Ezek azonban 1940. május második felében már elhagyják Magyarországot, mert ezeknek kezelésébe és vezetésébe már GRÁF László vegyész és POKKER Ernő bányamérnök magyar állampolgárokat begyakorolták.

A kerettyei gazolin és propán-bután leválasztó telep üzembehelyezésére 1939 novemberében kapta meg a MAORT az engedélyt. Ezen ideig a budapesti Shell cég Romániából hozott ilyen gázt, amelyet *Shell Gáz* néven árult. Amikor már a MAORT is előállított ilyen gázt, akkor a Shell cég is a MAORT-tól vásárolta azt. A budapesti Hitelbank is vásárolt ilyen gázt a MAORT-tól és ennek értékesítése céljából 1942. február 12-én 400 000 pengő alaptőkével megalapította a *Földgázértékesítő R. T.*-t. Ezt a MAORT is megtehetette volna, de az akkori magyar kormány erős nyomást fejtett ki a Hitelbank érdekében. Később, 1943. március 24-én a MAORT is belépett ebbe a vállalkozásba, melynek alaptőkéje azután 1 200 000 pengő lett. Az új vállalat neve ezután *MAORTGÁZ Értékesítő R. T.* Mindkét fél 50—50% érdekeltséget vállalt ebben a cégben.

Az 1942. év végén egy második gázviszanyomó és leválasztó telep épült Lovászipan is, amelyet 1944-ben helyeztek üzembe. Ez aktív szenes telep volt. Lovászipan nem készült bután-propán, a gázolint innen átvitték Kerettyére.

Kerettyén 1944-ben még egy kicsi erdei telep is épült, amely szintén aktív szénnel működött. Ezt az erdei gázolintelepet 1945. január 3-án helyezték üzembe. Ez azonban rövid életű volt.

Az említett leválasztó telepeken 1944. év végén mintegy napi 85 tonna bután-propánt állított elő a MAORT. Bután-propán töltőállomások voltak Kerettyén, Újudvaron és Budapesten. A MAORT Lovászipan 1947. december 22-én egy, napi 10 000 m³ földgázt feldolgozó *koromgyárat* is üzembe helyezett. Ezt a koromgyárat GUMAN Jenő vaskohómérnök tervezte.

4. Kőolaj- és földgázkutatások a második világháború alatt és után

4.1. A Magyar—Német Ásványolajművek K. F. T. kutatásai

A MAORT által elért eredmények után már nem kellett a magyar államnak idegen tőke után futkosni, magától is jelentkezett olajkutatásra ilyen tőke. Elsőnek a MAORT jelentkezett. Ugyanis a MAORT ajánlatot tett az államnak, hogy alapítsanak egy olyan vállalatot, amely az ország

többi részére kapna olaj-, földgázkutatói, termelési és értékesítési jogot. Ebben a vállalatban az állam, a magyar pénzügyek és a MAORT venne részt egyenlő arányban és amelyben a MAORT egymaga viselné a kutatással járó terheket és végezné a kutatást és feltárást. A kormány a németektől való félelmében ezt az ajánlatot elutasította.

A MAORT ezt az ajánlatot 1939—1940-es években tette. Szerzőt ebben az a megfontolás vezette, hogy az a pár mélyfúrás, amelyet a magyar kincstár a tiszántúli területeken ezelőtt végeztetett, nem döntötte el véglegesen a szénhidrogéneknek kereskedelmi mennyiségben való jelenlétét vagy nem létét. A PAZÁR István mérnök által és későbbben különösen SCHMIDT Eligius Róbert által nagy szorgalommal és hozzáértéssel tanulmányozott nagy területre kiterjedő gázos artézi kutak gázai legnagyobb részben mélyebben fekvő gáztelepekből is származhatnak. A Tataroson és Felsődernán, Bodonoson levő aszfaltos homok kibúvások, továbbá az Alföld északnyugati szegélyén fellépő szénhidrogén nyomok (Őrszentmiklós, Tard, Bogács stb.) arra utalnak, hogy az ezeket tartalmazó rétegek az Alföld alá is behúzódva, ott kiadós telepeket is alkothatnak és ezért érdemesnek látszik ezeknek a korszerű geofizikai és fúrási módszerekkel való további tanulmányozása és feltárása. (Ez a feltevés az 1940—1960. közötti években helyesnek bizonyult, mert a kabai, nádudvari, biharnagybajomi, szolnoki, kőrösszegapáti, tótkomlói, battonyai, pusztaföldvári, mezőkeresztesi, demjéni stb. fúrásokban megtalálták ezeket a mélyebb szénhidrogéntelepeket.

Röviddel ezután csakugyan jelentkeztek is a németek olajkoncesszióért. Így lett Magyarországon a második legnagyobb engedményes, a *Magyar—Német Ásványolaj Művek K. F. T.* vagy röviden MANAT. Az engedményes területre vonatkozó szerződéseket a *Wintershall A. G.* a magyar kir. kincstárral 1940. augusztus 26-án, 1941. március 8-án és 1941. szeptember 1-én kötötte. Az engedményes terület kiterjedt egészben véve az Alföld déli felére, a Duna—Dráva-sarokra és a Muraköz legnagyobb részére és mintegy 30 000 km² területet ölelt fel.

A MANAT a MAORT-hoz hasonlóan nemcsak kiterjedt geofizikai vizsgálatokat végeztetett az egész engedményes területen, hanem költséget nem kímélve, olyan mélyfúrási kutatómunkát végzett, amely minden elismerést megérdemel. A tótkomlói, sándorfalvi, ferencszállási, muraközi, kőrösszegapáti reményteljesnek ígérkező geofizikai szerkezeteken 22 mélyfúrás kutatómunkát is végzett, 26 618 m fúrási teljesítménnyel. Ezek akkoriban csakugyan mélyfúrások voltak, mert pl. a ferencszállási fúrás 2574,5 m mélységével akkoriban az ország második legmélyebb fúrása volt. (Az ország legmélyebb fúrása akkor a MAORT újudvari 1. sz. 2603,5 m mélyfúrása volt.) A MANAT alföldi mélyfúrásai gyakorlatilag még nem voltak eredményesek, de tudományos értékük nagy jelentőségű volt, mert megtudtuk belőlük, hogy Szeged környékén a pliocén rétegek 2574,5 méternél vastagabbak, Tót-

komlós környékén a körülbelül 1620 m vastagságú pliocén rétegek alatt triász korú dolomitok és meszek alkotják a medence fenekét, továbbá, hogy kőrösszegapáti környékén a pannon rétegek alatt 1357 m mélységben valószínűleg olyan szarmata konglomerátumok vannak, amelyek földgázt és nyersolajat tartalmaznak. A Tótkomlós és Kőrösszegapáti környékén lemélyített fúrások bizonyították be először, hogy Nagyalföldünk alatt igenis vannak földgázt és földolajat tartalmazó pannon és szarmata rétegek és csak idő, pénz és anyag kérdése, hogy azok felhalmozódási helyét megtalálják. A trianoni határon átnyúló lovászi olajmezőnek nyugati végén, Alsólendva határában nedves földgázokat tartó, alsópannon rétegeket nyitottak meg a MANAT fúrásai.

4.2. A muraközi kutatások

Az 1941-ben Magyarországhoz visszacsatolt Muraközben az első világháború utáni összeomlásig a SINGER-féle olajterület néven ismeretes 271,85 km² területre 1942. december 29-én a *Muravidéki Ásványolajipari R. T.*, röviden a MART kapott koncessziót. Erre a területre esik az olajkiszivárgásairól már messze évtizedek óta ismert Szelence—Selnica és Bányavár—Peklenica környéke. A magyar államkincstár és a MART egyidejűleg átruházta ennek a területnek a jogait az *Olasz—Német Muravidéki Ásványolajipari R. T.*-re, vagy röviden ONART-ra. Ezen a területen 1942-ben 2315 tonna olajat termeltek; az 1943-ik évi termelés már nagyobb volt, mert az ONART 1749 m mély petesházai fúrásából ekkor már napi 8—10 tonna olajat termeltek.

A Muraközben Csáktornytól északra és keletre volt a PANNONIA nevű koncessziós terület. Ez is a MANAT részére volt biztosítva. Nagyságra nézve valamivel kisebb, mint a MART területe. Ezen a területen eddig csak geofizikai munkálatok folytak, fúrási tevékenység itt még nem is volt 1948-ig. Ez a koncesszió néhai PASIC jugoszláv miniszterelnöké volt.

Mielőtt a MANAT megkapta volna ezeket a muraközi területeket, az állami elgondolás az volt, hogy az állam megtartja magának ezeken a területeken való kutatást, de ezzel megbízza a MAORT *Üzemek a m. kir. Kincstár Használatában* nevű egyéni céget. A németek azonban ez ellen kifogást emeltek, pedig a magyar kormány kilátásba helyezte, hogy az innen származó olajat Németországnak fogja eladni.

1944. év második felében a németek elhatározták, hogy az Alsólendva közelében levő olaj- és gázmezőjükből a földgázt Grácba fogják elvezetni. Ez a terv veszélyeztette a MAORT lovászi-i olajmezőjét, mert ennek szénhidrogéntermelő rétegei átnyúlnak a MART területére is. Hogy megmentsük a Lovászi mezőn az olaj felhajtó energiájával szolgáló földgázt, a MAORT-üzemek vezetősége elhatározta, hogy a németek területére eső mezőrész

felesleges gázát megvásároljuk a MAORT részére. — Ezek a tárgyalások hosszú hónapokig tartottak. Előbb meg kellett becsülni a földalatti rétegekben tároló gáz mennyiségét. A MAORT szakemberei szerint a MAORT-koncesszió határán túli gázmennyiség nem ért többet 6 millió pengőnél, de a németek 10 millió pengőt kívántak. Végül 1944. év végén az iparügyi és pénzügyminisztériumok arra utasították a MAORT-üzemeket, hogy 6 millió pengőt azonnal fizessenek ki a MANAT-nak. A hátralevő 4 milliót 6 hónap múlva kell kifizetni. Ugyanis a MAORT-üzemek vezetősége azt remélte, hogy ez alatt az idő alatt vége lesz a háborúnak, és ezt a hátralevő 4 millió pengőt soha nem kell kifizetnie. Azonban csalódtak, mert 1945. április elején megtudták, hogy a kivonuló németek magukkal vitték a Magyar Általános Hitelbank szombathelyi fiókjából a még hátralevő 4 milliót. A Szálasi-kormány ugyanis elrendelte 1944 őszén, hogy bankbetétjeinket, 20 000 pengő kivételével át kell utalni a dunántúli bankokba. Ennek azonban csak részben tettünk eleget, mert a kormány nem is tudta, hogy mennyi a MAORT-üzemek heti pénzügyi szükséglete. Ennek a tranzakciónak a kierőszoalója egy ZENTGRAF nevű német központi ügyvezető igazgató volt.

A MANAT igazgatósága magyar vezető személyzetet nem igen alkalmazott. A nehézségi méréseket azonban az Eötvös Intézet tagjai végezték FEKETE Jenővel, majd BASSÓ Imrével az élen. Kiterjedt szeizmikus méréseiket a hannoveri német *Seismos* vállalat végezte.

4.3. A Magyar—Olasz Ásványipari R. T. kutatásai

1942. szeptember 10-én megalakult 6 millió pengő alaptőkével a Magyar—Olasz Ásványolajipari R. T. Ezt röviden Bumolárt-nak nevezték. Ebben a magyar kinstár 55%-kal, a római *Azienda Generale Italiana Petroli* 45%-kal vállalt érdekeltséget. Még a koncessziós szerződés nem is volt megkötve, a társulat már 1942. május 27-ike óta tevékenykedett. Engedményes kutatási területe az ország északkeleti részén Nagybánya, Beregszász, Munkács, Ungvár, Máramarossziget, Huszt és Kőrösmező között mintegy 20 620 km²-t tett ki. A földtani és geofizikai kutatásokon kívül még 1942-ben megkezdődtek a fúrás munkálatok is az évtizedek óta jól ismert Izaszacsalon. Az itteni Rotary fúrás mélysége 1566 m. Ez az új fúrás több olajtartalmú szintet keresztezett és nem lehetetlen, hogy ha a rétegvizsgálatokat befejezhetjük volna, termelésre érdemes mennyiségű olajat is találhattunk volna ebben a fúrólukban. A háborús események azonban úgy alakultak, hogy ez az olasz fúróberendezés előbb Hajdúszoboszlóra, majd Karcagra került, ahol 1946-ban egy artézi kutat fúrtak vele KÁLLAI Géza egykori rudabányai bányai igazgató kezdeményezésére. Ez a Massarenti R. 9-es fúróberendezés egyébként nem volt alkalmas a Kárpátokban való használatra.

Az igazgatóság és a felügyelőbizottság 15 tagból állott, amelynek 8 magyar tagja volt.

Ennek a vállalatnak mozgató rugója Carlo ZANMATI olasz mérnök volt.

A Bumolárt magyar adminisztrátora SCHMIDT Eligius Róbert bányamérnök, egyetemi magántanár, geológus volt, igazgatói minőségben. A műszaki igazgató Ercole ARCUCCI fúrómérnök.

A terület földtani térképezésével SCHRÉTER Zoltán, a Magyar Állami Földtani Intézet ny. igazgatóját és STRAUZ László MAORT geológust bízta meg a vállalat. A szóban forgó fúrást PAPP Simon, tegldi RÓTH Károly és SCHRÉTER Zoltán kollektíve tüzték ki, SCHRÉTER földtani térképe alapján.

Ezen területről BÖCKH János készítette el az első részletes földtani térképet, amelyet 1894-ben tettek közzé a M. Kir. Földtani Intézet Évkönyvében. Az 1910-es évek elején BÖCKH Hugó volt a *Magyar Kárpáti Petróleum R. T.* magyar geológus szakértője, akinek ajánlatára PÁVAI VAJNA Ferenc is térképezett ezen a területen, 1913-ban. 1941- és 1942-ben PÁVAI ismét itt térképez, ezúttal a Földtani Intézet részére és itteni tanulmányainak eredményeit 1943-ban a *Földtani Intézet Évi Jelentésének Függeléké*-ben „A Felső Izavölgy környékének geológiája” címen közölte. SCHRÉTER Zoltán itteni geológiai felvételének eredményét a *Földtani Közlöny* 1943-ik évi kötetében, „Az izaszacsali kőolajterület földtani viszonyai” című értekezésében tette közzé.

A fúrás elektromos vizsgálatát SCHEIBLI Károly, a párizsi Schlumberger cég mérnöke végezte el.

A Bumolárt egész magyarországi területéről egy graviméteres felvétel készült SCHEFFER Viktor gépészmérnök vezetésével.

STRAUZ László az 1943. évben az Iza völgyében végzett geológiai felvételéről szóló jelentését 1950-ben tette közzé a *Földtani Intézet Évi Jelentésé*-ben.

A graviméteres felvételtől szóló terjedelmes jelentés a *MAORT Üzemek a m. kir. Kincstár Használatában* nevű egyéni cég budapesti központi irodájában készült. SCHEFFER Viktor írta meg ezt a munkát, amelyet szétosztottak az illetékesek között. Az ezzel járó költségeket a *MAORT Üzemek* viselték. SCHEFFER Viktor segítőitársai ebben a munkában Monnet CORRADO olasz bányamérnök, PETSCH Carl osztrák geofizikus és KISS András bányamérnök voltak. A felvételt egy Boucher X. 13-as amerikai graviméterrel eszközölték.

Az alföldi területeken és Kárpátalja egy részén a báró *Eötvös Loránd Geofizikai Intézet* szakemberei (FEKETE Jenő, SZECSÓDY Miklós, HAÁZ István, DOMBAI Tibor) végezték el a torziós mérleges felvételeket.

4.4. A M. Kir. Ásványolaj Bányüzem kutatásai

Észak-Erdély 1940-ben történt visszacsatolása után magyar területre esett a Nagyvárad közelében levő Tataros—Bodgnos—Derna környéke is.

Itt régóta ismeretes volt a nagy területre kiterjedő aszfaltos-olajos homok kibúvás. A kincstár üzembe helyezte ezt a bányászatot is, amelyben még mindig a régi, elavult bányászati és termelési módszereket használták, de már folyamatba tették az új gazdaságosabb eljárásokat is. A terület újbóli földtani tanulmányozását és térképezését NOSZKY Jenőre bízta, aki ennek a megbízatásnak eleget is tett.

1942-ben DERNÁN mintegy 5000 tonna aszfaltot és 396,8 tonna aszfaltbázisú olajat állítottak elő.

Ezen a környéken 1941—1942-ben BANAI Gyula és BASSÓ Imre végeztek felvételeket Eötvös-ingával.

4.5. A tiszakürti kincstári fúrás

A magyar kincstár 1942. okt. 3. és 1943. aug. 22. között a Tisza- és Kőrös-zugban Kisasszonyszőlő határában egy nehézségi maximumon is végeztetett mélyfúrást. Ezt a fúrást a *MAORT Üzemek a m. kir. Kincstár Használatában* levő egyéni cég végezte önköltségen, mert a kincstárnak nem volt megfelelő fúróberendezése. 2259 m vastag pliocén takaró alatt a fúrás nullipórás amphisteginás miocén rétegekben haladt 2311,5 m mélyséig. Ebből a rétegsorból, a fúrólyuk alsó szakaszából napi 36 m³, kissé gázos, 92° C hőmérsékletű, sós (26,38 g/l), jódos, brómos forró víz szállott fel. A felső-pannon rétegekben 365—373 m mélységben gázok jelentkeztek (67% metán és 33% nitrogén), de csak csekély mennyiségben. Szerző a kincstárnak adott jelentésében kifejezésre juttatta, hogy ezt a forró vizet, a kút megfelelő kiképzése után ugyanúgy lehetne kihasználni, mint Hajdúszoboszlón. De erre csak 1952-ben került sor.

4.6. Az észak-erdélyi gázkutatások

Az 1940-ik év őszén Erdély északi része ismét magyar uralom alatt volt. A román uralom alatt alig tártak fel új gázmezőket (Szász-Nádas, Szász-Buda, Szász-Dálya és Völce). Ezeket is még magyar geológusok találták meg. Telegdi RÓTH Károly az „Erdélyi földgáz, mint energiaforrás” című közleményében (*Das Schaffende Ungarn*, 1943. június 1.) a következőket írja: „BÖCKH Hugónak és munkatársainak korábbi kutatási eredményei alapján ismeretes volt, hogy hol kell megkezdeni az új kutatásokat. Ezeknek tudományos vezetését, miután BÖCKH Hugó időközben meghalt, korábbi kollégája és a Nagykanizsa környéki petróleumterületeknek a felfedezője PAPP Simon vette át.” A kutatások csaknem elérték az 1913-ik évi eredményeket. „Az eredmény tehát teljes volt.”

Szerző javaslatára az annak idején (1911—1918) általa térképezett és 1940—1944. évek között kijelölt reményteljes pontokon — Nyárádszereda,

Erdőszentgyörgy, Vasasszentgotthárd, Vasasszentegyed, Szentistván, Maros-telek — környékén 31 fúrólukat mélyített le a m. kir. iparügyi minisztérium X. szakosztálya. A vasasszentgotthárdi mező fúrásai csak néhány 10 000 m³ gázt adtak és itt nem számolhattunk nagyobb gázmennyiségekkel. Ezek a kutak a nyárádszeredai és erdőszentgyörgyi kutakkal együtt napi 4 millió m³ földgázt szolgáltatnak. Ebből a mennyiségből napi 400 000 m³ gázt lehetne felhasználni a kutak megerősítése nélkül.

Az észak-erdélyi gázmezők földgázának kihasználására a magyar kormány engedélyt adott az *Erdélyi Földgáz R. T.*-nek, amely 1943. augusztus hó 18-án 14 000 000 pengő alaptőkével alakult meg. A kincstár ebben a vállalkozásban 51%-kal, a magyar magánvállalatok: a *Hungária Vegyi- és Kohóművek R. T.*, a *Weisz Manfréd R. T.*, a *Salgótarjáni Kőszénbánya R. T.*, az *Erdélyi IMI* (Ipari Munkaszervező Intézet) és az *Urikány Zsilvölgyi R. T.* pedig 49%-kal vesznek részt.

A szerződés hatálya kiterjed mintegy 34 010 km² területre, amely magában foglalja a Szatmárnémeti Nagyvárossal összekötő vonaltól keletre fekvő és a Magyar—Olasz területének déli határa és a magyar—román határ közötti országrészt. E szerződés megkötése előtt az iparügyi minisztérium Erdőszentgyörgy—Marosvásárhely—Nyárádszereda között egy 8'' átmérőjű, 35 km hosszú gázvezeték építtetett a MAORT Üzemekkel, elsősorban azért, hogy Marosvásárhely gázellátása biztosítva legyen. Az Erdélyi Földgáz R. T. ezt a vezeték is átveszi és kiépíti 170 km hosszúságban Désen át Nagybányáig. Ebből a vezetékből ágazik majd ki egy körülbelül 40 km hosszúságú vezeték Kolozsvárra. Ezen gázvezeték gyors megépítése elsősorban attól függ, hogy elő lehet-e teremteni a hozzá szükséges 8500 tonna vasat. A vezeték szállítandó gáz az említett városok fűtési szükségleteinek kielégítése mellett a meglévő ipartelepeknek, továbbá egy a *Nitrokémia* által építendő földgázfeldolgozó üzemnek, koromgyárnak, a *Székelyföldi Villamosművek* erőközpontjának és Nagybányán egy új villamos erőközpontnak lesz az erőforrása.

A meglévő gázmennyiség növelésének és tartalékképzésének céljából még a Marosjára—Maros-telek környéki szerkezet megfúrása állott folyamatban, kedvező előjelek mellett.

A második világháborút megelőző időben (1912—1940) nagyon kevés geofizikai munkát végeztek az Erdélyi Medencében, azt is a magyarok, leginkább a Maros völgyében. Amikor Erdély egy része visszatért, habár ideiglenesen is, mindjárt a mélyfúrások megkezdésekor megkezdtek a graviméteres és torziós mérleges munkálatokat is. Ezeket itt is az *Eötvös Loránd Geofizikai Intézet* (DOMBAI Tibor, ORSZÁGH János) végezte, eleinte FEKETE Jenő és később BASSÓ Imre vezetésével, olyan területeken, amelyekben földtani szempontból az kívánatosnak látszott.

Az észak-erdélyi fúrásai munkálatok, amint említettük, 1940 őszén kezdődtek meg. A kincstár ebben az időben csak régi Trauzl és Fauck-rend-

szerű, öblítéssel dolgozó fúróberendezéseket használt. Ezeket Bükkszékről kellett Erdélybe szállítani, mert ott már nem volt szükség reájuk. Egyetlenegy Rotary-rendszerű fúróberendezése volt a kincstárnak, amelyet még 1925-ben vettek, de amelyet soha nem helyeztek üzembe, hanem használatlanul Hajdúszoboszlón tároltak 1940-ig. Ekkor a *MAORT* kibérelte ezt a berendezést a kincstártól és kiegészítve, ezzel fúrta meg a lendvaújfalusi szerkezet 1. sz. olajtermelő kútját.

Ekkor azonban szükség lett volna erre a berendezésre Erdélyben. A *MAORT* műszaki személyzete ezzel fúrta meg az 1. sz. gázkutat Erdőszentgyörgyön. Üzemvezető itt ROSTA Ferenc *MAORT* fúrómérnök, főfúrómester, BALÁZS István *MAORT* művezető volt. Beosztott állami tisztviselők ezeknél az erdélyi fúrásoknál a következők voltak: KISS István okl. bányamérnök, bányatanácsos, a kolozsvári Kutató Bányahivatal vezetője, AJTAI László, TASSONYI Zsolt és LETSŐ László bányamérnökök voltak. Fúrási üzemvezető JOLSVAI Artúr volt.

4.7. A Magyar—Szovjet Olajipari R. T. vagy röviden „MASZOVOL”

A második világháború befejezése után a potsdami egyezmény jogot adott a Szovjetuniónak arra, hogy a németeknek Magyarország területén levő összes olaj-gázkoncesszióit átvegye. Ezt meg is tette. 1946-ban megalapították a *Magyar Szovjet Nyersolaj Részvénytársaság*-ot. Ennek alapszabályait 1946-ban publikálták a *Budapesti Közlöny* július 12-i számában. Ennek alapításáról szóló Egyezményt 1946. április 8-án írták alá.

A *Maszovol* megkapta a *MANAT* által megfúrt tótkomlói és berekböszörményi gázt és olajat tartalmazó területeket is, amelyeken hatalmas gázkiterések voltak, de amelyeken nem találtak termelésre érdemes mennyiségű olajat.

Az 1943-ik év elején fúrt berekböszörményi 1. sz. kutat 1945. év végén és 1946-ban fúvatták is és 177 atm nyomás mellett 6 mm-es fúvókával napi 55 000 m³ kevert gázból (58,4% szénhidrogén és 39,47% szénhidrogén) napi 1000 m³ gázolint termeltek. Ennek a kútnak a mélysége 1356,8 m. A *MANAT* itt 5 kutat fúrt, de az ötödiket már a *MASZOVOL* fejezte be. A *MASZOVOL* 1948. nov. 6., 7., 8. és 9. sz. kutakat fúrta meg. A 9-ik fúrás napi 80 000 m³ kevert gázt és 4000 m³ kondenzátumot adott; a fúvóka 8 mm volt.

4.8. Tótkomlói fúrások

Itt a *MANAT* 1943. szept. 19-ig 6 fúrólukat mélyített le. A mélység 1531,5—1704 m között váltakozott. A *MASZOVOL* 1948-ig nem foglalkozott ezzel a területtel.

Az 1618 m mély 1. sz. fúrás talpáról erős gázkitörést kaptak. A fúrás 1941. május 23—augusztus 1. között készült. 10 mm-es fúvókával napi 80 000 m³ kevert gázt és összesen 100—200 m³ olajat nyertek az alsó-pannon rétegekből. A többi fúrások is adtak több-kevesebb gázt és jó olajnyomokat. 1948-ig nem is találtak itt kitermelésre érdemes gáz- és olajmennyiséget, de ez volt az Alföldön az első olyan fúrás, amelyik bebizonyította azt a feltevést, hogy a mélység rétegei igenis tartalmaznak nyersolajat és földgázt.

4.9. Biharnagybajomi fúrások

Ezen az alföldi szerkezeten 1946. okt. 24—1948. dec. 30-a között 8 kutatófúrást végzett a MASZOVOL. Ezeknek a fúrásoknak a mélysége 1111,5 és 1466,5 m között váltakozott. 1947. és 1948. évek között az alsó-pannon rétegekből összesen 614 588 tonna olajat termeltek ezen a mezőn. Ezeknek a fúrásoknak egy része elérte a kristályos palákból álló alaphegységet.

Ennek a vállalatnak magyar fúrómérnökei ebben az időben HEGEDÜS Ferenc, ANGYAL Ferenc és AJTAI László bányamérnökök és magyar geológusai KÖRÖSSY László és CSIKY Gábor voltak.

Végszó

Az előadottakban vázolni igyekeztünk mérnökeink, geológusaink és geofizikusaink tevékenységét. Bennünket, pionírokat senki sem tanított a szénhidrogének kutatására és mikénti feltárására sem az egyetemen, sem a gyakorlatban. Nekünk ezt a tudományt saját magunktól és jó részben a világot járva, nagy erőfeszítésekkel magunknak kellett elsajátítanunk. Ez a törekvésünk eredményes volt, s örömeinkre szolgál, hogy sikerült olyan utódokat nevelnünk, akik példánkat követve, idehaza nemcsak elsajátították, hanem tovább is fejlesztették az általunk bevezetett módszereket és ezáltal olyan eredményeket értek el, amelyekre népgazdaságunk büszkén hivatkozhatik.



FUCHS KÁROLY KÉZIRATI HAGYATÉKA

BENDEFY LÁSZLÓ

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1963. március 5-én]

FUCHS Károly (1851—1916) a modern fotogrammetria egyik legkiemelkedőbb úttörője, pozsonyi születésű magyar matematika és fizika tanár volt.

Szakirodalmi munkássága a matematikai, fizikai, nyelvi, filológiai és teológiai tudományok területén mozog. A család tudomása szerint több mint 200 dolgozata jelent meg nyomtatásban.

Kéziratai részben utolsó lakóhelyén, Pozsonyban maradtak, részben Bécsbe kerültek. Az előbbieket a Szlovák Tudományos Akadémia megküldte a Magyar Tudományos Akadémiának. A több mint 10 000 ívet kitevő anyagot szerző rendezte és a következő szakcsoportokba sorolta: középiskolai tanári előadásaival kapcsolatos tanítási vázlatok; utasítások fizikai tansegédletek készítésére; regulátorok; analitika és számelmélet; a legkisebb négyzetek módszere; elméleti geodézia; tanulmányok az optika, az elméleti fizika és a kapillaritás köréből; folyékony kristályok; árapály tanulmányok; görög mitológiai és keresztény teológiai iratok.

1916. január 10-én örök álmra hunyta le szemét Pozsonyban a korszerű fényterképezés (fotogrammetria) egyik legkimagaslóbb elméleti tudósa, FUCHS Károly, nyugalmazott középiskolai matematika-fizika tanár. 65 év állt mögötte. Halálával egy problémákban, problémamegoldások keresésében és eredményekben egyaránt gazdag, de bajokban és csalódásokban sem szegény élet ért véget.

A Fuchs-család eredete

FUCHS Károly régi, törzsökös felvidéki famíliák közé számító családból származott, amelyből a múlt században a jeles természettudósok egész sora került ki.

Dédatyja, Michael Mathias FUCHS, 1766-ban Lőcsén szabómester [1]. Nagyatya, FUCHS János Sámuel, a lőcsei szász ág. evangélikus egyház lelkésze, majd a lemergi egyház szuperintendense (püspöke) volt. (Szül. Lőcsén, 1766-ban; megh. Lembergben az 1817. évi nagy kolerajárványban) [1]. Fiai a tudományok terén megbecsült nevet szereztek maguknak.

Idősebbik fia, FUCHS Vilmos, geológus lett. 1802-ben Lőcsén született; tanulmányait Lőcsén és Lembergben folytatta. 1819-ben szülővárosában gyógyszerészsegéd, majd 1826-ban Bécsben gyógyszerésztanfolyamot hallgatott, és ugyanott doktori oklevelet nyert. Ezt követően a selmeci bányászati akadé-

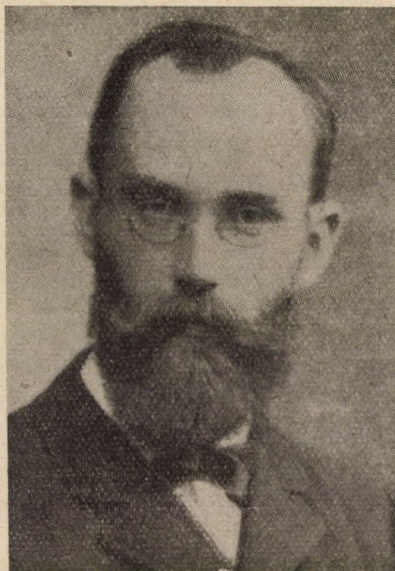
miára iratkozott be, és ott 1834-ben bányamérnöki oklevelet szerzett. Egy ideig különböző bányaműveknél, köztük az agordoi rézbányáknál gyakorlati munkakörben dolgozott, majd mint bányatanácsos és főkoházmester Selmece került, de innen 1849-ben menekülnie kellett. A szabadságharc idején ugyanis — miként a családi hagyomány ma is élénken számon tartja — KOSSUTH megbízásából Selmecebányán lőporgyárat rendezett be és azt vezette [1]. 1851-ben a szerb kormánytól megbízást kapott a szerb állami bányászat megszervezésére. Belgrádba költözött, és ott halt meg 1853. január 28-án. Szakirodalmi munkásságáért [2] a bécsi tudományos akadémia tagjává választotta. Ismeretes egy geodéziai tárgyú műve is [3], melyben a térszíni viszonyoknak a barometrikus és trigonometrikus magasságmérésekre gyakorolt hatását tárgyalja.

A fiatalabbik fiú, FUCHS Albert, ugyancsak Lőcsén született, 1808. április 8-án. Előbb a pozsonyi evangélikus teológián lelkésszé avatták, majd Bécsbe ment, és az ottani egyetemen csillagászatot, Göttingenben pedig mennyiségtant hallgatott. 1837-ben az eperjesi, 1846-ban pedig a pozsonyi líceumban a matematika és fizika tanára, később pedig ugyanannak az igazgatója lett. Kiváló természettudományi íróként ismerjük. Több önálló műve jelent meg [4], tudományos dolgozatai pedig a *Magyarhoni Természetbarát*, a pozsonyi *Verhandlungen für Naturkunde* című folyóiratban és FRESSENIUS *Zeitschrift für Analytische Chemie*-jében jelentek meg. Pozsonyban halt meg 1894-ben.

Lőcséről úgy került Pozsonyba, hogy ott olyan tanárt kerestek, aki a természettant magyar nyelven tudja előadni, de emellett németül is tökéletesen beszél. A pályázatnál sokat nyomott a latban Kassán, 1845-ben megjelent munkája, amely a legelső magyar nyelvű természettani tankönyvek egyike [4].

A családnak kimagasló tagja volt még FUCHS Albert unokatestvére: FUCHS Frigyes¹ is. 1800-ban született Lőcsén, és a pesti Institutum Geometricumban kapta 1821-ben mérnöki oklevelét [5]. 1822-től 1834-ig részint magánmérnökként dolgozott a Szepességben, részint pedig a DIETRICH bárók Arad megyei birtokán uradalmi mérnökként foglalatzkodott. 1834-től kezdve az új lublói uradalom erdeinek és vasműveinek felügyelőjeként kiváló működést fejtett ki, mint erdőgazdasági szakember. Az erdészetnek tudományos alapokra való fektetése és az okszerű erdőgazdálkodás meghonosítása körül nagy érdemeket szerzett. Gyakorlati tevékenységén kívül szakirodalmi munkássága is számottevő [6]. „Die Central-Karpathen mit den nächsten Vor-alpen” c. munkája [7] mellékletként a legelső részletes térképet tartalmazza a Középső Kárpátokról, ide értve a Magas- és az Alacsony-Tátra hegycsoportját is. Ez a munka tehát nemcsak földrajzi és utazási (turisztikai) irodalmunkban úttörő, hanem kartográfiaink történetében is kimagasló alkotás.

FUCHS Frigyes Lőcsén halt meg 1874 októberében.



Fuchs Károly
(1851—1916)

FUCHS Albertnek első felesége MUNYAY Lujza volt.¹ (Szül. Olaszfaluban = Wallendorf, Lőcse közelében, 1823-ban, megh. Pozsonyban, 1857-ben.)

A FUCHS-fiúk közül kettő világhírnevet biztosított magának. Tivadar (Theodor) volt az idősebb. 1843-ban Eperjesen született. Orvosi pályára készült, később azonban geológus lett. Főként ásványtannal foglalkozott, és 1863-ban a bécsi K. K. Hofmineralienkabinet tagjává nevezték ki. Nem sokkal később már a Hofmuseum osztályigazgatója. Értékes irodalmi munkásságáért a bécsi tudományos akadémia tagjai sorába iktatta. Szakdolgozataiban számos magyarországi vonatkozásút is találunk [8].

Fuchs Károly életútja a tanári oklevélíg

A fiatalabbik fiú, Károly Henrik, 1851. június 5-én született Pozsonyban. Elemi és középiskoláit szülővárosában végezte, majd 1869-ben, egyetemi tanulmányok folytatása végett, a nála nyolc évvel idősebb bátyjához Bécsbe költözött. Tivadar ekkor már — hat év óta — a bécsi állami geológusok igen megbecsült tagja volt. A két testvér éveken át együtt lakott Tivadar Nussdorferstrasse 25. alatti lakásán [9].

¹ Ebből a házassághól 8 gyermek született, éspedig: *Albert* (jogász volt, 21 éves korában tüszuban meghalt); *Tivadar* (geológus lett); *Vilma* (Drezdában tanítónői oklevelet szerzett); *Kornélia* (anyja halála után átvette atyja háztartásának vezetését); *Lujza* (férjezett Greilichné; sógora, Greilich József, a bécsi egyetemen a matematika professzora volt); *Károly* (középiskolai tanár); *Anna* (14 éves korában meghalt); végül *Vilmos* (vasúti mérnök, 50 éves korában meghalt).

FUCHS Albert második házasságából György nevű fia született, akiből a Ganz és Társaság Danubius gép-, vagon- és hajógyár igazgatója lett.

Károly nyolc teljes esztendő telt Bécsben nagy anyagi gondok között. Atyját sok gyermeke anyagilag teljesen igénybe vette, Theodor bátyja pedig 1869-ben még nem állt oly fényesen, hogy öccsének gondjait magára vehette volna. Ezért Károly évekig a Theresianum közelében, a Wiedenben, bérelt szobácskában élt, és szabad idejében egy fényképésznél retusőrként dolgozott [1]. De az önfenntartás gondja nem tudta kedvét szegni. Minden erejét tudása gyarapításának szentelte. Nem takarékoskodott az idővel. Tanult mindent, ami csak felkeltette érdeklődését. Legszívesebben és legtöbbet matematikát, fizikát és csillagászatot. DOLEŽAL professzor megemlékezéséből [10] tudjuk, hogy FUCHS Károly egészen 1877-ben bekövetkezett hazatértéig a bécsi egyetemek szorgalmas hallgatója volt. Kétségtelen, hogy egyetemi szintű képzettsége volt a görög és latin nyelvben, az ógörög és ónémet irodalomban, és járatos volt a keresztény teológiában is.

Analízisre, matematikára, különösen pedig alkalmazott matematikára a magyar származású PETZVÁL József (1807—1891) oktatta, aki ekkoriban már a bécsi egyetem rendes tanára volt. Tőle tanulta az optikát, és tőle szerezte azt a magas fokú alkalmazott matematikai készséget, amely későbbi éveiben annyi természettudományos törvényszerűség levezetésére képessé tette.

Meteorológiát és asztronómiát Edmund WEISSNÉL (1837—1917) hallgatott. WEISS a Budáról Bécsbe szakadt J. J. v. LITTRONAK (1781—1840) asszisztense, majd annak halála után az egyetemen utódja volt. A csillagdai, a híres bécsi Sternwarte igazgatói állását azonban az elhunyt fia, Karl Ludwig v. LITTROW (1811—1877) kapta. FUCHS Károly vele is ismeretséget kötött, s így nemcsak elméleti csillagászati oktatásban részesült WEISSTŐL az egyetemen, hanem gyakorlatot is szerzett az észlelésben LITTROW oldalán.

A fizika területén is szerencse kísérte. Ugyanis ebben az időben Joseph STEFAN (1835—1893) volt a bécsi egyetemen az elméleti és gyakorlati fizika tanára, aki európai viszonylatban is a legelső tudósok közé számított kortársai között [10].

Fuchs Károly a tanári pályán

Tudással megrakodva 1877 nyarán tért haza, és középiskolai tanári oklevelének nosztrifikálása után tanári állást vállalt a soproni városi leányiskolában. 1882. július 10-én feleségül vette WAGNER Lujzát, egyik soproni evangélikus lelkész leányát, és vele harmonikus családi életet élt.² Soproni lakásuk a Mező u. 6. számú házban volt [1].

² Házasságukból négy fiú született: *Vilmos* (1884—1947) gyári munkás, majd gépész lett. Az első világháborúban tengerész; utána Braunschweigban, Pozsonyban és Bécsújhelyt dolgozott. Ugyanott halt meg. — *Oszkár György* (1887—1951) a nagyváradai hadapródiskolát végezte. Tisztviselőként Bécsben élt és halt meg. A harmadik fiú, *Konrád*, 1 éves korában meghalt (1890—1891). — A legfiatalabb, *Rezső*, 1893-ban született, Győrött él, középiskolai tanár. Húsz éves korában ösztöndíjas egyetemi hallgatóként Franciaországba került. 1916-ban, atyja halálakor, francia internálótábor lakója volt.

FUCHS Károlynak tragédiája volt, hogy nem tudott a felső színtről a középiskolákban megkövetelhető oktatási szintre leereszkedni. Remekül tanított, fizikai és csillagászati taneszközökkel kiválóan felszerelt szertáratat létesített mindenütt, ahol csak megfordult élete folyamán. Erről a tárgyköréről az *Orvosok és Természettudósok Értesítőjében* is jelent meg tanulmánya [11]. Olyan, a fizika tanításánál használható demonstráló eszközöket ismertet, melyeket bármelyik vidéki középiskola tanára házilag is el tudott készíteni. Mindezt azért tette, hogy diákjait emelje a maga szellemi színvonalára, és nem azért, hogy az átlagos középiskolai szintet kialakítsa. Emiatt nemcsak közte és tanítványai között, hanem még tanártársai között is mindenütt sok kellemtelensége támadt. Ez volt az oka gyakori helyváltoztatásának.

1887-ben a soproni városi leányiskolát államosították, és FUCHSOT az állami státusba nem vették át [1]. Családi összeköttetései révén azonban ugyanakkor meghívták a pozsonyi magasabb fokú leányiskolába tanárnak. 1891 júliusában bekerült az állami középiskolai tanárok állományába, és egyidejűen a pancsovai állami fiúgimnáziumba helyezték át. 1895 augusztusában újból áthelyezik az aradi főreáliskolába. Itt csak három évig marad, mert a kitűnő tudású tanárt ROMBAUER Emil brassói igazgató kérelmére 1898 nyarán áthelyezték a brassói állami főreáliskolához.

Itt újabb csapás várta. Még ugyanazon év őszén szeretett felesége 37 éves korában váratlanul meghalt. A tökéletesen összetört ember 1902 nyaráig még Brassóban maradt. Ekkorra azonban már olyan idegállapotba jutott, hogy teljességgel képtelen volt tanítani. Minden egyéb, számára terhes körülmény mellett nyomasztólag hatott rá gyermekei neveltetésének gondja is.

Ebből az időből ismerjük egy Brassóban keltezett kéziratát: „*Aufgaben für Rácz Laci*”. V—VI. osztályos gimnazistának vagy reálistának való matematikai házi feladványok fogalmazványa. RÁ CZ a *Középiskolai Matematikai Lapok* szerkesztője volt. A lap számára készített tehát elmés matematikai feladatokat. Valószínűleg időöltésül, pihenésképpen és a matematikához való menekülésül. Mert még az az öröm sem adatott meg neki, hogy mindenütt matematikát, fizikát vagy fizikai földrajzot taníthatott volna. Rezső fia szerint gyakran, majdnem mindenütt német nyelvet, természetrajzot, sőt egyéniségének merőben idegen tárgyakat is kellett tanítania, aszerint, hol, milyen szakos tanárban volt hiány.

Csak az tudja megérteni FUCHS lelkiállapotát, aki tudja, milyen fájdalmas dolog hétköznapi feladatokra eltékozolni azt a vissza nem nyerhető időt, amelyet sokkal magasabbrendű feladatokra használhattunk volna fel... Ez a tudat, ez a szörnyű időfélétség, a felmerülő problémák megoldásával járó hajsza okozta korai idegösszeomlását.

Ez annál szomorúbb dolog, mert ez a férfiú ekkor csupán 50 éves volt. Élete legszebb éveiben van, alkotóerejének teljében. Munkájának gyümölcseit

nemcsak asztalának fiókjai és almárioma őrzik, hanem neves szaklapok is sorra hozzák tanulmányait. Az Orvosok és Természetkutatók Egyesületével valószínűleg még Pozsonyban vette fel az érintkezést, de pancsovai tanár korában is élénk kapcsolatban van az egyesülettel. A növények fejlődésével kapcsolatos matematika-fizikai tanulmányában, mely az Egyesület Értesítőjében jelent meg [12], azt tárgyalja, milyen szerves mennyiségek áramlására van szükség ahhoz, hogy egy gömbhéj alakú növényi test dh értékkel megvastagodjék. Hasonló tárgyú dolgozata, hengeres testekre vonatkoztatva, a bécsi Tudományos Akadémia folyóiratában németül jelent meg.

1902 nyarán végleg ott kellett hagynia Brassót és a tanári katedrát is. Visszaköltöztek Pozsonyba: a Conventgasse 7. alatti bérlakásba. Gyermekei még tanultak; a szűkös tanári nyugdíjból kellett mindent fedeznie. Ő maga a lakás egyik zugába elvonulva, családjától és a világtól elkülönülten, csak fájó emlékeinek és a tudománynak élt.

Amikor 1916 januárjában meghalt, csak néhány öreg barátja és Vilma nővére kísérte ki koporsóját a temetőbe. Mind a három fia távol volt tőle, és nem is értesültek idejében atyjuk haláláról.

Fuchs Károly kapcsolata Helmholtz-cal és Eötvös Loránddal

Még 1875 táján, amikor Károly még Bécsben tartózkodott, HELMHOLTZ professzor, a berlini egyetem kiváló nevű fizika tanára, hosszabb időt töltött Bécsben. STEPHAN professzor ez alkalommal felhívta kollégájának figyelmét FUCHS Károlyra. Idővel olyan szoros szakmai kapcsolat fejlődött ki közöttük, hogy HELMHOLTZ a fiatal pancsovai tanárt meghívta maga mellé asszisztensnek. Ekkoriban FUCHSNAK már több vezető fizikai és kémiai szaklapban jelentek meg érdekes tanulmányai. 1894. októberében kellett volna FUCHSNAK berlini állását elfoglalnia, azonban HELMHOLTZ 1894. szeptember 8-án hirtelen meghalt, és emiatt erre az álláscsereére nem kerülhetett sor [1].

A kilencvenes években FUCHSNAK már több tanulmánya is megjelent a kapillaritás tárgyköréből. Ugyanez a tárgykör foglalkoztatta EÖTVÖST is. EÖTVÖS felfigyelt FUCHS eredményeire, és rövidesen megbízta a kapillaritás körébe vágó bizonyos megszabott irányú kutatásokkal. Ezek véghezviteléhez azonban Aradon nem volt megfelelő laboratóriumi felszerelés. EÖTVÖS nem sokat habozott: rövidesen elintézte, hogy FUCHS egy évi fizetéses szabadságot kapjon. Így került aradi tanári esztendeiben (1895. aug.—1896. aug.) egy évi időtartamra Budapestre. Ezt az évet EÖTVÖS oldalán, az ő intézetében töltötte el a kapillaritás törvényeinek kísérleti tanulmányozásával [1].

Fuchs Károly hagyatéka

FUCHS hagyatékában szegényes személyes holmiján és bútorain kívül 20 000 félívet meghaladó mennyiségű kézirat maradt. Ez a rengeteg írás közel fél évszázadon át a család pozsonyi ágának tulajdona volt mindaddig, amíg FUCHS Erik kandidátus, kohómérnök, FUCHS Károlynak Budapesten élő unokája, 1960. okt. 18-án kelt levelében felhívta GELEJI Sándor akadémikus osztálytitkár figyelmét nagyatyja becses kézirati hagyatékára. Az Akadémia felkérésére TÁRCZY-HORNOCH Antal akadémikus vette kezébe az ügyet. Kérésére a Szlovák Tudományos Akadémia volt szíves a családi tulajdonban levő kézirati hagyatékot a Magyar Tudományos Akadémia Könyvtárának kéziratárához megküldeni. Az MTA Műszaki Tudományok Osztálya engem kért fel a kézirati hagyaték átnézésére, és olyan mértékű, illetőleg olyan célzatú rendezésére, hogy az anyag egyáltalában katalogizálható legyen.

Ezt a munkát első menetben elvégeztem, és így módomban áll tájékoztatást adni FUCHS Károly szellemi hagyatékáról.

Mindenekelőtt arra szeretnék rámutatni, hogy bár FUCHStól életében több mint 200 tanulmány jelent meg nyomtatásban [1], csakis fotogrammetriai tárgyú és a Magyarországon (a Kataszteri Közlönyben és a Magyar Mérnök- és Építész Egylet Közlönyében) megjelent tanulmányainak bibliográfiája van összeállítva [13]. Ausztriában és Németországban megjelent dolgozatainak publikációs helyét csak imitt-amott sikerült ez ideig megállapítanunk; ezek a korabeli legelőkelőbb tudományos folyóiratok közé tartoznak. Így pl. munkatársa volt a bécsi Tudományos Akadémia „*Sitzungsberichte...*” c. sorozatának, az „*Annalen der Physik*”-nek, a „*Chemiker Zeitung*”-nak és „*Exner Repertorium*”-ának is. Ugyancsak vetélkedtek tanulmányaiért az Európában ma is vezető geodéziai szaklapnak elismert stuttgarti „*Zeitschrift für Vermessungswesen*”, a bécsi „*Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen*”, valamint az első ízben 1908-ban megjelent „*Internationales Archiv für Photogrammetrie*” szerkesztői. Az utóbbinak a főszerkesztője és egyben kiadója, DOLEŽAL bécsi professzor, személyesen kereste fel lakásán FUCHSot, hogy az új folyóirat állandó munkatársául kérje fel [10]. Valóban, halála évéig az Archivnak egyik legszorgalmasabb munkatársa volt.

FUCHS kézirati hagyatékának rendezésénél tárgy- és időrendben osztályozva az anyagot, 12 csoportba soroltam azt. A csoportok tartalmát az alábbiakban ismertetem.

I. *Középiskolai tanári előadásaival kapcsolatos tanítási vázlatok.* Ebben a csoportban kétféle természetű írásművek vannak: részint valóban tanítási vázlatok, részint önálló előadások. Az előbbiekkal írójuk nagy szolgálatot tett egykorú tanártársainak, mivel — DOLEŽAL közlése szerint — több ilyen vázlatát odaajándékozta hasonló szakmabeli kartársainak azokban az iskolákban, ahol tanított.

Így reánk maradt pl. *Cosmographie* c. tanítási vázlata (1889. Pozsony); ugyanaz magyarul, 10 + 10 lap terjedelemben, sok ábrával. Egyes fejezetei geodéziai és kartográfiai vonatkozásúak, mint pl.: Der Theodolit — Land Karten — Ortsbestimmung — Gestalt und Grösse der Erde stb.

Nagyon jó a pörgettyű használatáról szóló vázlata (*Eine einfache Behandlung des Kreisels*, 1891. Pancsova), számpéldákkal és ábrákkal.

Ide soroltam „*Einfache mathematische Entwicklungen aus dem Gebiete des Mittelschulunterrichtes*” című terjedelmes dolgozatát, amely még Bécsben készült, és talán pedagógiai szakdolgozata volt.

Pancsovai és aradi tartózkodása idejéből (1892 és 1896) fizikai előadásainak vázlata maradt reánk.

Ugyanebbe a csoportba tartozik néhány olyan kisebb dolgozata, amelyeket iskolai rendezvények keretében önálló előadásként közölhetett a megjelentekkel. Ilyen pl. *A természettani szertár* c. tanulmánya (1889. Pozsony), amelyben a fizikai-csillagászati szertár létesítésének fontosságáról és a szükséges felszerelési tárgyokról ír. Ugyancsak érdekes a méterrendszer kialakulásával foglalkozó, *Zur Geschichte der Decimalmasse* c. keltezetlen értekezése. Mindezek a tanulmányok értékes adalékok oktatásügyünk fejlődéstörténetéhez.

A természettani szertár című, csak magyarul megfogalmazott tanulmányában — többek közt — így ír:

„...Általában mondhatni, hogy a természettani szertár az iskola szervezetének egyik leggyengébb oldala. E kedvezőtlen körülmények okai részint a tanszerekben, részint más körülményekben fekszenek.”

„A tanszereknek is van történelmi fejlődésük. A legrégebb természettani tanszerek körülbelül 200 évesek. Ilyen például *Galilei* lejtője. E régi taneszközök a legjobbakhoz tartoznak. Egyszerűek, könnyen előállíthatók, átlátszó szerkezetűek. A XVIII. század jobbára fizikai játékokat teremtett. A múlt század egy szellemes fizikusa ama játszó szaktársait fizikásoknak mondta, valamint bizonyos zenészeket nem muzsikásoknak, hanem muzsikásoknak nevezünk. A fizikások osztálya nálunk még virágzik, ha a múzeumból a szervezőre, a tankönyvből [így!] a szerzőre szabad következtetni.”

„A francia forradalom óta az államok elismerik a természettani bűvárlatoknak életbe vágó fontosságát, és évről évre bővebben segítik azt. Ma az európai államok évenként több millió forintot állítanak a fizikai kutatások szolgálatába.”

Ezek után részletezi a maga korában korszerűnek nevezhető természettani szertár felszerelésének követelményeit, különös tekintettel a tanterv keretében sorra kerülő bemutató fizikai kísérletekre és csillagászati megfigyelésekre.

Aradi tartózkodása idejéből fennmaradt egy levél: a Ferdinand ERNECKE berlini cég válasza (1896. szept. 26.), melyben közli a cég FUCHSSAL, mibe

kerülne az az üvegfüvő berendezés, amelyet el akar készíttetni az iskola fizikai szertára számára.

II. *Regulátorok*. Ennek az általam 20 csomóra tagolt, vastag kötegeknek kézírata, miként a keletezésekből kétségtelenül megállapítható, 1895 nyarán részint Pancsován, részint Aradon készült. A legkésőbbi keletkezés szeptember havából való. Bizonyára első fogalmazvány, sok közbelső javítással és sok ábrával. A kész munkán még két esztendőn át végzett simításokat, majd 1897 elején elküldötte a „Verein Deutscher Ingenieure” titkárságához közlés végett. MEYER, az egyesület titkára, azzal küldi vissza a két, közlésre kiválasztott dolgozatot, hogy német szaklapban nem közölhetők, mert a német mérnökök is foglalkoznak hasonló kutatásokkal [14].

Erre ugyanezeket a dolgozatokat 1898-ban EDVI ILLÉS Aladárnak, a *Magyar Mérnök- és Építész Egylet Közlönye* szerkesztőjének küldötte meg. A Közlöny szerkesztősége szívesen fogadta azokat; annál is inkább, mivel a Közlöny 1896. évi kötetében már megjelent FUCHS-nak két dolgozata a tengely-regulátorokról és a Watt-féle centrifugális inga elvén alapuló szabályozónak javított alakjáról, és ezek a dolgozatok olyan kiválóak voltak, hogy az 1896. évi Hollán-pályadíjra terjesztették elő. A pályadíjat azonban a bizottság REJTŐ Sándor: „Az elméleti mechanikai technológia néhány alaptétele és a vas mikroszkópiai vizsgálata”, valamint HIRSCHFELD Sámuel: „A Vízrajzi Osztály Woltmann-szárnybemérő állomása és a Woltmann-szárny újabb alakja” c. dolgozatoknak ítélte [15].

FUCHS ezekben a dolgozatokban nemcsak a pörgettyűs szabályozókon végrehajtható gyakorlati javításokat, tökéletesítéseket adja közre, hanem a javító tényezők alkalmazásához szükséges nomogramok szerkesztéséhez szükséges, igen részletes számtáblázatokat is.

A tengely- és az ingás szabályozókról szóló hatalmas tanulmány nagyrészt közzé nem tett anyag, amelyből való válogatás és közzététel megfontolandónak látszik.

III. „*Analitika és számelmélet*” címen 22 csomóban levő kéziratot soroltam egy csoportba. Ezek a tanulmányok — hosszú megszakításokkal — az 1891-1908. közötti évekből származnak.

Találunk közöttük fejtörőnek tetsző, játékos problémákat, mint amilyen az „*Acht Königinnen*” (1902), a vetülettannal rokon tanulmányokat (pl. „*Vorlesungen aus der analytischen Geometrie der geradenen Linien des Punktes und des Kreises in der Ebene*” 1899?, Brassó). Több alkalommal foglalkozott (1901) a Pythagoras-féle számokkal, gömbháromszögtani levezetésekkel stb.

Kiemelkedő dolgozatai: *Berechnung der Wurzeln numerischen höheren Gleichungen*, 1899. Brassó. A borítólapra maga feljegyezte ceruzával: „(Sehr gut!)”. Ugyancsak az általa kiválasztott dolgozatok közé tartoznak a *Reflectirende Rechtecke* és *Reflectirende Orthogone* címűek 1901-ből.

Ebbe a csoportba soroztam két olyan mechanikai tárgyú dolgozatot is, amelyeket annak idején FRÖHLICH Izidor besorozott egyetemi előadásai körébe. Az első FUCHS saját kezeírása, a második idegen kéztől eredő tiszttáza. Ezek: *Erőfüggvények kiszámításának egy új módozatja, 1895. Budapest*, illetőleg: *Fuchs Károly tanár úr eljárása a munka számítására centrális erők esetében. Fröhlich Izidor prof. egyetemi előadása nyomán készült jegyzet. (é. n.) Budapest.*

Az erőfüggvényekről szóló dolgozat és HAZAY István professzor statikai kiegyenlítő eljárása [16] között rokon gondolatmenet ismerhető fel.

IV. *A legkisebb négyzetek módszere.* A gyakorlati geodézia körébe tartozó vizsgálatok közül FUCHS kettővel foglalkozott: a legkisebb négyzetek módszerének beható elemzésével és a fotogrammetriai műszerek fejlesztésének kérdésével.

76 csomót alkotó, száznál több dolgozatot foglaltam össze FUCHS Károly hagyatékából ebbe a kötegbe. Megállapíthatóan 1904 decembere és 1907 májusa között készült tanulmányok. A matematikusok számára ma már nem mondanak sok újat ezek a dolgozatok, de a geodézia szemszögéből feltétlenül érdekesek, és már csak tudománytörténeti szempontból is értékesek. Több olyan gondolattal foglalkozik, amelyekkel messze megelőzte korát, és csak a legutóbbi évtizedekben sikerült azokat gyakorlatilag megvalósítani. Ilyen pl. az *Eliminationsapparat* címen leírt és tollrajzban is ábrázolt kiegyenlítő készüléke koordináták kiegyenlítése céljára. Megoldását (más elgondolások alapján) néhány éve sikerült elérni CsÁSZÁR Ferenc, PAPP Zoltán, illetőleg BALOGH Ferenc ötlete alapján [17].

Arról szó sem lehet, hogy az egész anyagot ismertethessem. A legérdekesebbek közül mutatok be néhány ide tartozó tanulmányt. Mindjárt a legelső (1904. dec.) *Graphische Auflösung linear Bestimmungsgleichungen: Vorbemerkungen. Zwei unbekanntes α und β . Methode des Punktschwarmes* címmel mérési hibák súly szerinti grafikus kiegyenlítését tárgyalja (több ábra kíséretében). Ezt a problémát gyakorlatilag a Magyar Állami Háromszögelő Hivatal csak 1932 körül kezdte alkalmazni, hivatalosan pedig csak 1937-ben vezette be BOTTFY Gyula főmérnök kidolgozta módszer alapján. FUCHS és BOTTFY elve lényegileg azonos [18].

FUCHS-nak 1905-ből származó *Die Methode der kleinsten Quadrate als Potentialrechnung. Lineare Kraefte* c. tanulmánya pedig a HAZAY professzor által kidolgozott statikai kiegyenlítés [16] alapelveit foglalja magában.

Jelentősek még az *Über den Einfluss der Genauigkeitscoefficienten auf die Werte der Unbekannten*, az *Übertragung der Methode auf n-dimensionalen Raum* és az *Ein Näherungsverfahren in der Methode der kleinsten Quadrate: I. Theorie; II. Praxis* c., 1906-ban készült dolgozatok.

Az 1907. évi termésből csupán a *Mathematische Genauigkeiten: Dunkle Punkte in der Methode der kleinsten Quadrate*, a *Was haben wir unter dem „Fehler“ einer Bestimmungsgleichung zu verstehen?* és a *Was verstehen wir*

unter den wahrscheinlichsten Werten der Unbekannten? c. dolgozatait, valamint a WELLISCHSEL támadt vitája során készült tanulmányait említjük meg.

V. *Elméleti geodéziai* vonatkozású 6 tanulmánya valójában három témát ölel fel. Ezek: *Das Normalellipsoid* (1907); *Dynamische Behandlung geodetischer Probleme I.* és *Dynamische Behandlung des Vorwärtseinschneidens II* (1907). Az összesen közel 50 lapra terjedő köteg behatóbb tanulmányozást érdemel annál inkább, mert az utóbbi két dolgozat mások által ez ideig is alig érintett kérdéseket tárgyal.

VI. *Optikai tanulmányok* címen összefoglalt kötegünk 12 csomóba sorozott tanulmányt tartalmaz. Legkorábbi közöttük *A szem és a látás* című, terjedelmes magyar nyelvű dolgozat 1875-ből, Idb. SZILY Kálmán kéziratos feljegyzésével. Ebből arra következtetünk, hogy valószínűleg a Természettudományi Társaság valamelyik évi pályázatára nyújthatta be. (Középiskolai szintű tanulmány, néhány nagyon figyelemre méltó észrevétellel, különösen a lencsék köréből.)

Más tanulmányai *a lencséről* (1895), *a sugártörésről* (1900) és *optikai számításokról* (1900) szólnak.

VII. *Elméleti fizikai tanulmányok.* Ebbe a kötegbe hét, szorosabban vett elméleti fizikai tanulmányt soroztam. Ezek közül érdekesebbek: *Ueber das Verhalten der Kohlausauere nahe unter dem kritischen Punkte* (é. n.), továbbá a *Schwellenthermometer* és a *Das Pendel als Wage* címűek.

VIII. *Tanulmányok a hajszálcsovesség (kapillaritás) köréből.* FUCHS kézirati hagyatékában a legnagyobb terjedelmű három köteg (IV, VIII, X.) egyikét a hajszálcsovességgel foglalkozó 62 tanulmánysorozat teszi. Már 1885-ben elkészült négy hatalmas fejezettel. Ezek: *Ausgangspunkte der Theorie der Capillaritaet*; — *Capillaritaet: Eine neue Auffassungsform der Oberflaechenspannung der Flüssigkeiten*; — *Zur Theorie der Capillaritaet (I)*; — *Beitraege zur Theorie der Capillaritaet II.* Hogy az anyag terjedelmét és problémagazdagságát érzékeltessem, megemlítem, hogy csupán az utolsó rész (csomó) 26 önálló fejezetből áll, 80—90 ábrával, majdnem nyomdakész állapotban.

FUCHS a kapillaritás törvényeinek vizsgálatával 1885-től 1889-ig megszakítatlanul foglalkozott. 1889-ben annyira előrehaladt e vizsgálatok terén, hogy több dolgozata bemutatásra került a bécsi Tudományos Akadémia előadóülésén. Egyik ilyen rövidebb, *Die Laplace'sche Disposition in der Capillaritaetslehre* című tanulmányában ezt olvassuk:

„In vorliegender Studie sollen mehrere Methoden besprochen werden, nach denen Probleme der Capillaritaet auf Grund der Laplace'schen Disposition behandelt werden können, sofern es sich nur um reine Wirkungen der Molekularkraefte, nicht aber auch um den Einfluss der Gravitation handelt. Diese Methoden sind theils statische Methoden, theils dynamische Methoden; die letzteren gehen von Arbeitsleistungen aus.”...

„Diese Methode der Wirkungsscholen habe ich beispielweise in der am 7. Nov. 1889 in der Sitzung des Kais. Akademie der Wissenschaften in Wien vorgelegten Abhandlung „Directe Ableitung einiger Capillaritätsfunctionen“ auf die Mischungsschicht zweier Flüssigkeiten angewendet.“

Ugyanez a téma, bővebben, *A belső kapilláris nyomás Laplace-féle egyenletének újabb levezetése* címen, 1895. évi keltezéssel, megtalálható magyar nyelven is. (Valamennyi többi, közel 300 tanulmány német nyelvű.)

Nem vállalkozhatunk arra, hogy csak megközelítő képet is kíséreljünk meg adni az ebben a tárgykörben felmerült és kidolgozott problémák gazdagságáról. Csupán megemlítjük, hogy találkozunk két folyadék homogén keverékében fellépő kontrakciónak — a folyadékokban végbemenő korpuszkuláris mozgásoknak —, a folyadékok belsejében, illetőleg a szabad felület közelében jelentkező sűrűségnek, a belső feszültségeknek stb. tárgyalásával.

A kapillaritás tárgykörére vonatkozó anyag mindenesetre olyan hihetetlenül gazdag, minden részletkérdésre kiterjedő és átfogó, hogy behatóbb ismertetése külön tanulmányt érdemel.

Utolsó, ide tartozó tanulmányai 1906-os keltezésűek, és Budapesten íródtak. Nem lehet kétséges, hogy az egész, a kapillaritásra vonatkozó anyag, aprólékosságával és a részletekbe való behatolásával, matematikai apparátusának egyszerűségével és egyben eleganciájával, valahogy magán viseli EÖTVÖS hatását. Valóban nagyon izgalmasan érdekes és fontos dokumentummal lennének gazdagabbak, ha sikerülne FUCHS levelezésében EÖTVÖS leveleit fellelni. És fordítva is: EÖTVÖS levelei között FUCHS-éit.³

IX. *Folyékony vagy élő kristályok.* Ebben a köteggben azt a 38 csomóba gyűjtött tanulmányt csoportosítottam, amelyek FUCHS *Das Problem der flüssigen (var. lebendigen) Krystallen* című tanulmány-sorozatába tartoznak. Megjegyzem, hogy két ide vágó dolgozatának kéziratát nem találtam meg. Ezekről csak a kéziratokban lelt hivatkozásokból [20, 21] van tudomásunk.

A „flüssige, oder lebendige Krystalle” problémaköre körül élénk vita alakult ki FUCHS Károly és a karlsruhei LORENZ professzor között. Erre a heves vitára 1888 és 1892 között került sor; akkor, amikor FUCHS már öt éve foglalkozott a kapillaritás problémáival, és ezen a téren igen számottevő eredményeket ért el. 1906—1907-ben LEHMANNnak egy közleménye [22] kapcsán újból fellángolt a vita, ami FUCHSot közel húsz fejezetből álló tanulmány-sorozat megírására készítette. Az ide tartozó dolgozatok között a válogatást maga a szerző végezte el.

Csak ízelítőként adok néhány címet az *Ueber die Lehmannschen Trichiten* c. csoportból: *Berichtigung an Lehmann; Ueber das Wachstum der O. Lehmann'schen Trichiten; Trichitenspirale; Die Schlangenbewegungen der O. Lehmann's-*

³ Ez utóbbiakat SZILÁRD József, az Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet gravitációs osztályának vezetője őrzi. Mennyire kívánatos lenne ezeknek a leveleknek sürgős közzététele és az Akadémiai Könyvtár levéltárában való őrzése!

schen Trichiten; Die Continuität der Aggregatzustände und die flüssigen Krystalle; Reste der Formgravitation stb.

Hogy mi körül forgott a vita, arra rávilágít FUCHSNAK *Das Problem der „flüssigen Krystallen“; die Lehmann'sche Formel* c. tanulmányából vett alábbi részlet:

„*O. Lehman* kaempft in einem Artikel gegen die Unveraendlichkeit der Moleküle im Wechsel der Aggregatsform, und für die Veraendlichkeit der Moleküle. Da der Artikel mir gerichtet ist, scheint *O. Lehman* mir den entgegengesetzten Standpunkt zuzuschreiben.”

X. *Árapálytanulmányok*. Már DOLEŽAL nekrológja [10] is kiemeli, hogy FUCHS igen nagy teret szentelt az árapálytanulmányoknak. Ez a köteg valóban mintegy kétszeresét teszi ki a IV. vagy a VIII. kötegekben foglaltaknak. Szám szerint 127 sorszámozott tanulmányról adhatok számot. Ezek együttesen mintegy 500 fejezetet képviselnek.

FUCHS 1896-ban, Aradon kezdett ezzel a tárgykörrel foglalkozni. Ebből az esztendőből mintegy 250 félvét kitevő kézírata maradt fenn. Csupán a 2. tétel alatt, *Flutrechnungen* címen katalógusba vett, mintegy 120—140 lapot kitevő csomó 41 fejezetről áll. Ebből következtethetünk arra, milyen rendkívüli gondnal, aprólékossággal elemezte a legkisebb árapályjelenségeket is.

Nem nehéz észrevennünk a kapcsolatot FUCHS fizikai-analitikai árapályvizsgálatai és STERNECK hasonló célzatú gyakorlati mérései, illetőleg az ezek eredményét közreadó publikációk [23] között. Az árapályjelenségnek tudományos vizsgálata a múlt század végén volt kialakulóban, kapcsolatban az önműködően rajzoló tengerármérők (talattográfok) fokozatos létesítésével. Magára a jelenség beható analitikai vizsgálatára kialakult módszerek még nem voltak. VERCELLI csak az 1910-es években kezdett próbálkozni a harmonikus analízis módszerének alkalmazásával [24]. Erre viszont már rájött FUCHS is, aki 1901-től 1909-ig újból, folyamatosan foglalkozott a jelenség analitikai vizsgálatával. 1902-ben annyira jutott, hogy az eredeti, német nyelvű kézirat alapján készített egy vaskos könyvre való magyar nyelvű kéziratot is, amelyet 1903. március 9-én megküldött az őt igen sokra becsülő FRÖHLICHNEK az alábbi levél kíséretében:

„Pozsony, 1903. márcz. 9.

Mélyen tisztelt Tanár Ur! A lapokban olvastam, hogy az Akadémia díjazni szándékozik már befejezett vagy még befejezetlen természettudományi elméleti vagy gyakorlati dolgozatokat. Bátorodom a mellékelt, az árapályról szóló befejezetlen dolgozatot benyújtani. A következő részek még nincsenek leírva:

A tenger és a vízmedencék árapálya.

Az árapály hatása a Holdra.

Az árapály tüneményének hatása a bolygók rendszerére és az üstökösökre.”...

„A dolgozat húsz éves, ugyanabból az időből való, amikor tudtomon kívül külföldön megjelentek az ide vágó epochalis dolgozatok. Eredményeim természetesen összevágna az ama eredményekkel, de én tovább mentem a problémákon. Mély tisztelettel maradtam Nagyságodnak hálás híve Fuchs Károly”

FRÖHLICH a dolgozatot még március 12-én tovább küldte bírálatra az Akadémia Matematikai és Természettudományi Állandó Bizottságához.

A beküldött anyagot FUCHS *Az árapály elemi elmélete I—VII. rész* címen rendezte. Ezen felül van még néhány, valószínűen a VIII. részbe tartozó, de közös pallium nélküli fejezet is. Ezek: *Diagonális árapály; Az aequatoriális árapály; A ciklikus mozgások módszere; A kettős lemezes eltolódások módszere; Az aequatoriális árapály, ha a belső súrlódás törvénye ismeretlen (fél napi árapály); Az állandó árapály; Az aequatoriális árapály, ha a föld homogén folyadékokból áll; A keresztres erők és keresztres deformációk analysise; A diagonális árapály (egész napi árapály); A képletek összefoglalása; A vizek árapálya; Rajzok.*

FUCHS vizsgálati módszerére vonatkozóan sokat mondanak magyar nyelvű tanulmányának alábbi bevezető sorai:

„Az árapály elmélete nagyon bonyodalmas tárgy, melyet nagy matematikai apparátussal szoktak tárgyalni. Az én levezetésem felette egyszerűek, a mennyiben csak a legegyszerűbb integrálokat használom. De míg a szokásos levezetések a matematikának szokásos, általánosan ismert kerékvágásában haladnak, addig az én levezetésem szokatlan utakon járnak és ezáltal talán fásasztók...”

„A tárgyalás ... világossága kedvéért még oly eseteket is kell tárgyalnunk, melyek gyakorlati értékkel nem bírnak. Így pl. a belső súrlódás nyilván a földrészek *relatív* mozgásától függ; mi pedig először azt az esetet fogjuk tárgyalni, mikor a belső súrlódás a részeknek *abszolút* mozgásától függ, mintha a részecskék szabadok volnának, és sűrű közegben mozognának.”

„A számolás eredményei lényegesen eltérnek attól, a mit az ember várna, és a mit feltenni szokás; még a tankönyvek tételei is részben hibások. Az eredmények az egész bolygórendszerre váratlan fényt vetnek.”

XI. *Görög mitológiai tanulmányok.* Már DOLEŽAL megemlékezett FUCHS számottevő irodalomtörténeti, verstani és mitológiai munkásságáról [10]. Az általunk rendezett anyagban 13 csomóba foglalt tanulmányt találtunk, amelynek ezt a közös főcímet adhatnók: *Lieder in der Ilias*. Keletkezésük kora: 1892—1899, Pancsova, Arad, Brassó. A német eredeti fogalmazványok mellett 4 csomót kitevő magyar nyelvű összefoglalás és egy külön palliumba foglalt cédulajegyzet is található.

XII. *Keresztény teológiai tanulmányok.* FUCHS hatalmas természettudományi jellegű munkássága mellett 21 csomóba foglalt, legalább 60—80 fejezetet magába foglaló teológiai vonatkozású kéziratanyagot is hagyott hátra. Ez az anyag élesen két részre osztható: ó- és újszövetségi részre. Az anyag egy része

Jézus személyével és a vele kapcsolatos eseményekkel foglalkozik, más része pedig a *Hebräische Lieder in den synoptischen Evangelien* gyűjtőcímet viseli. RÁSONYI NAGY László, SCHEIBER Sándor és SZÖRÉNYI József professzorok véleménye szerint kellő teológiai és orientalisztikai képzettséggel nem rendelkező szerzőre valló írások.

Mi — a szóban forgó munkák keltezése alapján — megállapíthattunk annyit, hogy FUCHS nagy lelki válságai idején ezekhez a témákhoz menekült, mintegy enyhülést keresve az élet bajaira. Első ilyen nemű írásai 1887-ben keltek; akkor, amikor Sopronban olyan mértékű összeütközései voltak, hogy onnan el kellett jönnie. A második csomó (JÓB könyvének taglalása!) akkor keletkezett, amikor Pozsonyban sem hagyták nyugodni, és Pancsovára kellett költöznie (1890—1891). Harmad ízben felesége halála után menekült ezekhez a témákhoz (1900—1904); végül utoljára 1911-ben tért vissza ezekhez az írásokhoz; akkor, amikor rá kellett jönnie, hogy egészsége annyira romlik, hogy nem sok ideje van már hátra.

Titkos írású feljegyzések. A teológiai vonatkozású kötegekbe illesztve találunk mintegy 200—220 oldalt kitevő, egy nagyobb és egy kisebb terjedelmű titkos írással írt csomót. A szemmel láthatóan eléggé nagy gyakorlatra és közepes gyorsaságú folyóírásra valló sorokat a fentebb említett három szakértő megvizsgálta, de eredetüket nem tudták megfejteni.

FUCHS Rezső közölte velem, hogy a szóban forgó írás atyjának német nyelvű fejtegetéseit rejtegeti, és azt a FUCHS-család egyik nőismerőse a gótikus német írásjegyekből alakította ki. A szóban forgó asszony (nevére a közlő már nem emlékszik) kérte FUCHS Károlyt, hogy bizonyos tárgyú följegyzéseit ezzel az írással rögzítse. Atyja olyan könnyűszerrel írt ezekkel a betűkkel, hogy már nemcsak rövidebb szövegeket, hanem terjedelmes fejezeteket is ezzel a rejtjeles írással jegyzett le.

Minden fejezet címlapján — ugyanazzal az írással — ott látható a szerző neve: KARL FUCHS. Ezen az alapon a titkos írás 9 betűjének jele már ismeretes. Az írás és a szövegek megfejtését fiától, FUCHS Rezső tanártól várjuk.

Fel nem lelt kéziratok

FUCHS Károly nyomtatásban megjelent irodalmi művei és DOLEŽAL nekrológja [10] alapján megállapítható, hogy bizonyos munkáinak kéziratjai a fentebb ismertetett kéziratok anyagból teljességgel hiányzanak. Ezek: a Fermat-tétel megoldására vonatkozó tanulmányai; a Niebelungenlieddel kapcsolatos írásai, valamint *fotoagrammetriai vizsgálatainak és értekezéseinek teljes kéziratok anyaga*.

Az utóbbiról tudjuk, hogy a végeredmények megjelentek 25 értekezés formájában. Felsorolásuk megtalálható DOLEŽALnál [10]. Tudománytörténeti-

leg mégis fontos volna és nagy értéket jelentene az első fogalmazványok birtoklása is. Lehetséges, hogy a Fermat-tételre, sőt a Niebelungenliedre vonatkozó írásai is megjelentek valahol, de ezekről semmi közelebbit sem tudunk.

Ugyancsak hiányzanak a magyar szaklapokban (a Kataszteri Közlönyben és a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönyében) megjelent tanulmányainak kéziratai, valamint a korabeli tudósokkal folytatott levelezése is.

Általános megjegyzések

FUCHS kézirati hagyatékából élesen kiviláglik követett munkamódszere. A legritkább eset az, hogy valamely témát első menetre megoldott volna. Többnyire az első kísérlet csak a probléma felvetésére szolgáló rövid vázlat. Ő maga is többször oda is jegyzi: „*Entwurf*”. Majd kidolgozza a témát egyszer, másodszor, néha ötödször is. Az azonos című kéziratokat ez esetben így jelzi: „*Manuscript I*”, — II, stb. Ezek — természetesen — nem azonos terjedelműek és nem azonos szövegűek. Végül valamelyikre ráírta: „*Besseres!*”. Nem mindig a legutolsóra és a legterjedelmesebbre.

Hogy a legnehezebb feladatok elől sem hátrált meg, egy nagyon szubjektív megjegyzése érzékelteti. Sopronban, amikor a kapillaritás részletproblémáival foglalkozott, egy 25 lapból álló tanulmánynak 24 lapját tépi szét, és a befejezetlenül maradt 25-ikre a következő megjegyzést írja: „*Ich bin ein Narr, dass um eines e willen 25 Bogen voll gerechnet habe. Oedenburg, 4. Dz. 1885 K. Fuchs mp.*” És kedvét nem veszítve, új alapokon, azaz a természetes logaritmusok alapját jelentő „*e*” bevonásával újból nekigyürkőzik — most már sikeresen — a probléma megoldásának.

A kézirat csomagolásán felismerhető volt, hogy halála előtt az író maga szedte rendbe azokat. Voltak egyes részek, amelyeknek eredeti helyét már nem tudta megtalálni. Ezeket a rendezés során többnyire sikerült — a szöveg alapján — helyükre illeszteni. Végül is a kérdéses helyű lapok vagy töredékek száma 100 alá szorult, szemben az egész anyag 10 000—12 000-nyi lapszámával.

Az oldalakat FUCHS Károly a legritkábban számozta, és eredetileg fordított sorrendben rakta egymás fölé. (Ez is arra vall, hogy ágyban fekvő betegként végezte ezt a munkát.) A geodéziát érintő kötegek anyagát nagyrészt rendeztem, a többbit azonban eredeti állapotában hagytam. Erre szükségesnek tartom felhívni a későbbi kutatók figyelmét.

*

Köszönet illeti a pozsonyi Szlovák Tudományos Akadémiát a kiváló és sokoldalú magyar tudós kéziratainak Budapestre juttatásáért. Most rajtunk volna a sor, hogy felkutassuk a még hiányzó kéziratokat, és összeállítsuk FUCHS nyomtatásban megjelent műveinek teljes bibliográfiáját, hogy azoknak

ismeretében is felmérhessük egy eddig méltatlanul elfelejtett tudósunk nagyságát és tudománytörténeti jelentőségét.

Bizonyos nyomokra sikerült akadnunk. FUCHS Rezső szíves közlése szerint atyjuk kéziratának mintegy felét, mégpedig talán a hagyaték értéke-
sebb részét testvére, Oszkár vette magához. Oszkár, miként említettem, a nagyváradi hadapródiskolát végezte. Innen vonult 1915-ben az orosz harc-
térre. Przemysl ostrománál hadifogságba került, és csak 1921-ben jutott haza Szibériából. Atyja kéziratosa hagyatékának mintegy 15—20 kg-t kitevő részével
azonnal tovább ment Bécsbe. Ott megnősült. Bécs VIII. kerületében, Blinden-
gasse 38. sz. alatt laktak. Oszkár azonban 1951-ben meghalt, majd felesége
1955. június 22-én követte a sírba. A kéziratokat tartalmazó ládát ekkor egyik
szomszéd vette oltalmába. Az iratok sorsáról azóta hírünk nincsen.

1953. szeptember első napjaiban a súlyosan beteg FUCHS Oszkárné
meglátogatta Berlinben élő unokaöccse, Alexander FUCHS villamosmérnök.
Erről a látogatásról szóló levelében [25] olvassuk: „Seit etwa 8 Tagen bin ich
nach langen Jahren wieder in Wien...” „Sie (ti. a súlyosan beteg FUCHS
Oszkárné) hat mich auch gebeten, die Schriften deines Vaters, für die Du dich
interessierst, durchzusehen, was ich gestern besorgt habe ... Die ... Manu-
scripte umfassen: Photogrammetrie, Ausgleichungsrechnung, Kapillarität,
Flut und Ebbe.”

A család tudomása szerint — a fentiekén kívül — ebben a csomóban
vannak még a 2-es alapú számrendszerre kidolgozott, valamint a Fermat-
tétellel kapcsolatos tanulmányok kéziratai is. Nagy a valószínűsége, hogy a
bécsi kéziratok között lappang FUCHS Károlynak tudománytörténeti értékű
szakmai levelezése is.

Az utolsó órában vagyunk ennek az értékes kézirati hagyatékunk meg-
mentésére.

IRODALOM

1. FUCHS Károly fiának, FUCHS Rezső középiskolai tanárnak szóbeli közlése.
2. FUCHS V. főbb geológiai művei: Die Venetianer Alpen (Solothurn, 1844); Beiträge zur Lehre von Erzlagerstätten (Wien, 1846).
3. FUCHS V.: Ueber den Einfluss der Gestalt des Terrains auf die Resultate barometrischer und trigonometrischer Höhenmessung. *Sitz. ber. d. k. Wiss. Akad. Wien, Math. Nat. wiss. Cl.*, Wien, 1843.
4. FUCHS A. önálló művei: Természettan elemei (Kassa, 1845 és 1854); Ázsiának földrajza (Pozsony, 1853); Populäre naturwissenschaftliche Vorträge (Pozsony, 1858).
5. FODOR F.: Az Institutum Geometricum. Az egyetem bölesészeti karán 1782-től 1850-ig fennállott mérnöki intézet. Bp. 1955 — Műsz. tud. tört. kiadv. 5. sz.
6. FUCHS Fr. önálló műve: Ungarns Urwälder (Pesth, 1861) — Fontosabb dolgozatai: Über die Hindernisse der Entwicklung eines rationellen Forstbetriebes in ungarischen Privatwaldungen (*Ung. Forstvereins-Miith.* 1858. 4. füz.); A szepességi központi Kárpátok és azok környéke legnemesebb fánemeinek természetes tenyészeti határaitól az északi szélesség 48°30' és 40°30' között (*Erd. Lapok*, 1862).
7. FUCHS FR.: Die Central-Karpathen mit den nächsten Voralpen. Handbuch für Gebirgsreisend. Wien, 1848. — Úa. II. kiad. Pest, 1863. Heckenast.

8. FUCHS T.: Die Tertiärbildungen von Goys und Breitenbrunn am Neusiedler See, Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt, 1868. — Die Fauna der Congerenschichten von Tihany und Kup in Ungarn. Uo., 1870. — A Krapina és Radoboj környéki széntartalmú rétegekről és az aquitániai emelet geológiai helyzetéről. M. kir. Földt. Int. Évk. X. kt. Bp. 1893.
9. FUCHS K.: Einfache mathematische Entwicklung... című, I/1 jelű kéziratán (MTA Kézirattára) ez a megjegyzés olvasható: „Per Adresse: Theodor Fuchs, Director der geol. Abtheilung des k. k. naturhistorischen Hof Museums. Wien, Nussdorferstrasse 25. Stock 3.”
10. DOLEŽAL, E., Professor Karl Fuchs (Nekrológ). *Int. Archiv f. Photogr.* VI (1919—1923), 2—4.
11. FUCHS KÁROLY tanító Pozsonyban: Néhány demonstráló iskolai eszköz. (a IV táblával) Orvos-Természettudományi Értesítő II. Term. tud. szak. I. füzet. 115—122 l. Kolozsvár, 1891. (Ajtay K. Albert ny.) —8°
12. FUCHS K.: A növekedés rétege gömbhéjban. *Értesítő az Erdélyi Múzeum Egyeslet Orvos- és Természettudományi szakosztályából.* 16. évf. 277—282 l. Kolozsvár, 1891.
13. BENEDEFY L. (szerk.): A magyar geodéziai irodalom bibliográfiája 1498-tól 1960 végéig. Műszaki Kiadó, Bp. 1964.
14. Vö. pl. TOLLE dolgozatát a *Zeitschr. d. Vereins Deutschen Ingenieurs*, 1894. évf. 25. és 26. sz.
15. LIPTHAY S. és tsai, az 1896. évi Hollán-pályadíjakat odaítélő bizottság jelentése. *MMÉE Közl.* 31. (1897), 49—50.
16. HAZAY I.: Kiegyenlítő számítás a geodéziai gyakorlatban. Bp. 1938.
17. CSÁSZÁR F. — PAPP Z.: Háromszögelési pontok koordinátáinak kiegyenlítése statikai alapon működő készülékkel. *Geod. és Kartogr.* 1955.
18. BOTTFY GY. saját módszerét csak a gyakorlat számára írta le; ez a tanulmány nyomtatásban azonban nem jelent meg. Ismertetése [19]-ben található meg.
19. MÁJAY P.: Geodéziai jegyzet (ÁFTH kiad. — rotaprint). Bp. 1954.
20. FUCHS K.: Ueber die Entstehung organischer Geländergebilde. *Sitz. ber. d. Wiss. Akad. Math.-Nat. wiss. Cl.* 99. II a. Wien, 1890.
21. FUCHS K.: Ueber die Mischungsschicht zweier Flüssigkeiten. — Ueber den Einfluss der Molekularkraefte auf die Diffusion. — *Exners Rep.* 1888.
22. LEHMAN, O.: Fließend-kristallinische Trichiten, deren Kraftwirkungen und Bewegungserscheinungen — *Ann. d. Physik*, 19. kt. 22 és 407 l. skk. 1906. — és *Chemiker Zeitung* 30. kt. 1. skk. 1906. — További egykorú, ide vágó tanulmányok: LEHMAN O.: Die Kristallanalyse. Leipzig, 1891. LEHMAN O.: Flüssige Kristalle, Leipzig, 1904. — LEHMAN O.; Die neue Welt der flüssigen Kristalle, Leipzig, 1911. — SCHENK R.: Kristallinische Flüssigkeiten und flüssige Kristalle. Leipzig, 1905. — HÜTTL E.: Folyékony kristályok és kristályos folyadékok. — *Term. tud. Közl.* 38. évf. 568—577 l. Bp. 1906.
23. STERNECK, R. v. tábornok nekrológiájában L. ANDRES és J. GREGOR teljes bibliográfiát adott R. v. STERNECK munkásságáról. Lásd: *Mit. d. k. u. k. Militärgeographischen Institutes zu Wien*, 31. kt. 47—56 l. Wien, 1911.
24. VERCELLI, FR.: Schemi di calcolo per l'analisi dei diagrammi oscillanti. — Istituto Geofisico Trieste. Pubbl. No 119. 1—15 l. Roma, 1937.
25. FUCHS Alexandernek 1953. szept. 10-én Berlinben kelt, FUCHS Rezső győri tanárhoz intézett leveléből.

ANKÉT A HIDEGEN HAJLÍTOTT SZELVÉNYEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEIRŐL

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Osztályának Acél- és fémszerkezeti Szakbizottsága, az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal, valamint az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem I. sz. Hídépítéstani (acélszerkezeti) tanszékével karöltve 1962. november hó 5-én a Műegyetemen a „Hidegen hajlított szelvények hazai alkalmazási lehetőségei” témakörrel ismeretterjesztő ankétot rendezett. Az ankét célja az volt, hogy a hidegen hajlított szelvények iránt érdeklődő szakemberek előtt ismertesse a hazai felhasználás lehetőségeit, a felmerülő különleges problémákat, a tényleges alkalmazást pedig megépült szerkezetek ismertetésével, személyes kapcsolatok kialakításával elősegítse.

A szakemberek részéről nagy érdeklődéssel fogadott ankéton SZÉCHY Károly akadémikus, egyetem¹ tanár üdvözlő szavai és KORÁNYI Imre ny. egyetemi tanár megnyitója után az alábbi előadások hangzottak el:

HALÁSZ OTTÓ „Könnyű acélszerkezetek tervezése” című előadásában a vékonyfalú acélszelvényekből álló tartószerkezetek sajátos tervezési kérdéseivel foglalkozott. A tervezőnek különleges ismeretekre van szüksége, hogy a felmerülő műszaki követelményeket minden szempontból kielégítő szerkezeteket tudjon tervezni, és így kihasználja az új szelvények alkalmazásával járó gazdasági előnyöket. Ezek közül legfontosabb az, hogy a hidegen hajlított szelvények alkalmazásával a hagyományos acélszerkezetekhez képest mintegy 20—40% acélmegtakarítás érhető el.

A célszerű és változatos alakú szelvények megtervezésén kívül problémák merülnek fel a vékonyfalú elemek kapcsolatainál, a szerkezetek korrózió elleni védelme terén és a stabilitási számításokban.

A kapcsolatok kérdését a hegesztésnek különböző modern fajtái (ponthegesztés, CO₂-hegesztés, legújabban utóbbinak a ponthegesztéshez hasonló faja, mely csak egy oldalról hozzáférhető kapcsolatoknál is alkalmazható), és a fémragasztás oldotta meg, ha még nem is véglegesen.

A korrózió elleni védelem az elemek kis vastagsága miatt a vékonyfalú szerkezetek élettartamát rendkívül befolyásoló kérdés. Megfelelő védelmet jelenleg különböző alapanyagú mázolásokkal (elsősorban ólomminiummal

mely bizonyos feltételek mellett helyettesíthető megfelelő előkezelés után felhordott cinkkromátos alapmázolással is), fémbevonatokkal és legújabban különböző műanyagbevonatokkal igyekeznek biztosítani.

A tervezőt legközelebből a vékonyfalú szerkezetek stabilitási problémái érintik. Itt ugyanis a tönkremenetel új formái — elcsavarodás, elcsavarodó kihajlás, kihajlás és horpadás kombinációja — fordulhatnak elő. Bár e kérdések elméletileg többnyire megoldottak, de sokszor olyan bonyolult számításokkal járnak, melyek gyakorlati célokra nem használhatók. Emiatt különösen fontos aránylag egyszerű, közelítő számítási eljárások kidolgozása.

Az I. sz. Hídépítéstani (acélszerkezeti) tanszék az ÉTI megbízásából e problémakört részletesen feldolgozta az „Írányelvek vékonyfalú acélszelvényekből álló rúdszerkezetek méretezéséhez” c. tervezési segédletben, mely a tervező munkáját megkönnyítő táblázatokat és grafikonokat is tartalmaz és rövidesen meg fog jelenni az Építéstudományi Intézet kiadásában.

RÉTI Vilmos „Hidegen hajlított szelvények gyártási problémái” című előadásában először a hidegen hengerelt szelvények gyártását szükségessé tevő tényezőket foglalta össze, majd a különféle gyártási eljárásokat — élhajlítás, alakítás görgős hajlító gépen, zárt szelvények gyártása — ismertette. Görgős alakítógépeknél egy-egy szelvény gyártására való berendezkedés tetemes szerszámköltséget jelent, ezért a kohászat egyelőre csak a szélesebb körben felhasználható, egyszerűbb szelvények gyártására rendezkedik be. Szelvénygyártásra olyan minőségű lemezeket célszerű felhasználni, melyeknek hidegen hajlítása aránylag könnyen és öregedéstállóan történhetik. Ilyenek elsősorban az Al-al csillapított acélok.

A hidegen hajlított szelvények alkalmazásának elterjedéséhez feltétlenül szükséges a hazai idom- és lemezacélárak felülvizsgálata és megfelelő helyesbítése. Csak a helyes arányok kialakítása után várható, hogy ezen új kohászati termék elfoglalja helyét az ipar mindazon területein, ahol felhasználásuk népgazdasági szempontból kívánatos.

Előadása befejezéseként felsorolta mindazokat a létesítményeket, melyekben a hajlított szelvénygyártás jelen tervidőszak során megindul és összefoglalta a gyártható szelvények jellegzetes adatait.

ZÁGONI László, a Dunai Vasmű által sorozatban gyártott 24 vagonos magtárépületet ismertette, melynek tartószerkezete 3 mm vastag elemekből áll és gyártásánál a ponthegesztés is kiterjedten alkalmazásra kerül. E 12 m széles és hullámpalával fedett épület sokféle célra felhasználható.

KORDA János az IPARTERV azon tervezési munkáiról számolt be, ahol hidegen hajlított szelvények kerültek alkalmazásra. Jelenleg az Építésügyi Minisztérium megbízásából ipari és mezőgazdasági épületekhez alkalmas könnyű acélszerkezetű épületvázak típus terveit dolgozzák ki. Vizsgálataik szerint a Z-szelvényű szelemen alkalmazásával elérhető megtakarítás olyan jelentős, hogy e szelvények rendszeres gyártásának megindulása után könnyű

tetők szelemeneit csak ezzel lesz célszerű kialakítani. Nagyobb mennyiségű tartószerkezet kivitelezhetőségének előfeltétele, hogy az ÉM biztosítson e feladat megoldására profilozott, megfelelő kapacitású vállalatot.

SZŐKE Antal a Közúti Hídfenntartó Vállalat 10 éves múltja visszatekintő modul-barakk gyártását ismertette; 1961-ben tervezték úgy át a szerkezetet, hogy benne nagyobb mennyiségben szerepel élhajlítással gyártott vékonyfalú elem. Ezzel épületenként 8—10% anyagmegtakarítást értek el.

FURMANN Ferenc a hidegen hajlított szelvényeknek nyílászáró szerkezetek céljaira való alkalmazásáról és az épületlakatos iparban való alkalmazási lehetőségeiről beszélt. Az ÉM Fémmunkás Lakatosipari Vállalat most is gyárt szelvényeket, de a magyar lakatosipar szempontjából feltétlenül szükséges, hogy a szerkezetek gyártásához szükséges vékonyfalú szelvény hengerműben készüljön.

GYŐR József igen szép színes vetített képekkel illusztrálva mutatta be, hogy az utóbbi években milyen jól sikerült növényházak épültek hazánkban vékonyfalú szelvények felhasználásával.

DOKNÁLIK János a Budapesti Mezőgazdasági Gépgyárban elért eredményekről számolt be. 1962-ben mintegy 2500 db különböző típusú olyan mezőgazdasági gépet gyártanak, melyeken vékonyfalú szelvények nagy mennyiségben kerülnek felhasználásra. Egyes géptípusokban ezzel 30%-os költségmegtakarítást is értek. További megtakarítást tudnának elérni, ha a kohászatól megfelelő áron készen kaphatnának szelvényeket.

BARÁNSZKY-JÓB Imre előadásában azokat az önsúlycsökkentési lehetőségeket emelte ki, melyek vagonszerkezeteknél és fenékvázás autóbuszoknál a vékonyfalú, hidegen hajlított szelvények alkalmazásával elérhetők. Az önköltségben nemcsak a súlymegtakarítás okoz csökkenést, hanem a megmunkálási költség is kevesebb és nem utolsósorban jelentősen kevesebb a hegesztési munka is és üzemanyagköltségben is megtakarítás mutatkozik.

Több hozzászólás után a jól sikerült ankét KORÁNYI Imre zárószavaival ért véget.

Dr. Halász Ottó—Csellár Ödön

A SZLÁV TECHNIKAI IRODALOM NYILVÁNTARTÁSA A NYUGATI ORSZÁGOKBAN

A *VDI Nachrichten* 1962. nov. 21-i száma* érdekes tájékoztatót ad arról a szervezett dokumentációs munkáról, melynek célja a szláv technikai irodalom termékeinek nyilvántartása és nyugati nyelvekre való lefordítása. Az alábbiak e közlemény néhány érdekesebb adatát kívánják a hazai szakkörökkel megismertetni.

A Német Szövetségi Köztársaságban a hannoveri *Technische Informationsbibliothek* (TIB) 1961 óta nyilvántartja a szláv technikai művek és szakcikkek címeit és fordításait. Ez az intézmény szerves kapcsolatot tart fenn a delfti műegyetem könyvtárában működő *European Translation Centre* (ETC) nevű dokumentációs intézménnyel, mely Európa különböző országaiban készült fordításokat gyűjti. Ebbe a nemzetközi munkába a kelet-berlini dokumentációs intézetet is be óhajtják kapcsolni. Az ETC csereviszonyban áll a washingtoni fordító központtal is, s így az ott készült angol nyelvű fordítások is birtokában vannak.

Érdekes megemlíteni, hogy a TIB folyóiratgyűjteménye 3000-nél több folyóiratot tartalmaz, köztük több mint 600-at a Szovjetunióból, Lengyelországból, Csehszlovákiából, illetve Magyarországról. Gyűjteményében megtalálható teljes számban az a mintegy 80 folyóirat is, mely kizárólag külföldi fordításokat közöl, ott van továbbá mintegy 500 rendszertelen időközökben megjelenő technikai kiadvány is.

A TEB 1962 óta a szovjet technikai irodalomban közölt cikkek címeit és egyes cikkek rövid ismertetését időszakos szakkatalógusban is közli. Ezenkívül 36 szakterületről 3–4 hetenként 25–50 címet tartalmazó tájékoztató címjegyzéket közöl. Ezek aránylag gyorsan, legfeljebb 2 hónappal az eredeti cikkek megjelenése után látnak napvilágot. Tervbe van véve, hogy e címjegyzékekbe a lengyel, csehszlovák és magyar szakfolyóiratok cikkanyagának címeit is belefoglalják.

A TIB által eszközölt fordítások költségét az állam fedezi. A felek az igénybevett fordításokért díjat fizetnek.

A Szerkesztőség

* Erre a közleményre SZŐKE Béla gépészmérnök hívta fel a Szerkesztőség figyelmét.

KÖNYVSZEMLE

A. Nadai

THEORY OF FLOW AND FRACTURE OF SOLIDS

Volume 2. Mc Graw-Hill. New York, London, Toronto. 1963. (705 oldal)

E nagyszabású monográfia első kötetének első és második kiadása után (1931. és 1950.) a második kötet megjelenése hosszú ideig váratott magára.

A magyar származású NÁDAI Antalnak, az alkalmazott mechanika egyik legkiválóbb tudósának műveit az alapos laboratóriumi és elmélyült elméleti munka egysége jellemzi. A problémák megoldását minden esetben a jelenség fizikai tartalmának és a kísérleti eredményeknek az elemzésével kezdi el, és számításainak eredményeit ugyancsak kísérletekkel ellenőrzi. Tudományos módszere példamutató lehet minden műszaki kutató számára. A matematika — amint ezt több helyen kifejti — nem öncél, hanem csupán a mechanikai alapelvek szabatos kifejezésének és a feladatok megoldásának eszköze.

Napjainkban az alkalmazott mechanika a klasszikus rugalmasságtan kereteit egyre inkább túllépi és olyan új módszereket keres, amelyek az anyag tényleges viselkedését pontosabban és szélesebb intervallumban tudják leírni. A. NÁDAI legújabb könyvének is az a legjellegzetesebb vonása, hogy elsősorban azokat az új elméleteket ismerteti, amelyek a testek szilárdságtani állapotát az idő függvényében változónak tekintik, és a maradó alakváltozásokat végző képlékeny és viszkózus anyagú kontinuumok viselkedésének, valamint a hőmérsékletváltozás hatásának vizsgálatára nyújtanak lehetőséget. A könyv az alábbi részekre tagozódik.

Az *I. rész* bevezetőül a kontinuumok állapotának jellemzőit ismerteti különös tekintettel a magas hőmérsékletnek az anyag szilárdsági tulajdonságára gyakorolt hatására. Ezután a rugalmas és képlékeny anyagú testekben felhalmozódott mechanikai munka fogalmának, valamint az erre vonatkozó klasszikus tételeknek a részletes tárgyalása és példákra való szemléltetése következik.

A *II. részben* a rugalmas, a viszkózus és a rugalmas-viszkózus anyagú testekre vonatkozó fogalmak és elméletek találhatók meg. Ezek alkalmazását szerző az érintkezési feladatok kapcsán, valamint a hajlított lemezekben és gerendákban jelentkező problémák megoldásán szemlélteti.

A *III. rész* elsősorban a viszkózitástan további alkalmazásait tárgyalja. Ezek a következők: ágyazaton nyugvó viszkózus lemez hajlítása (ez a feladat többek között a földkéreg mechanikai állapotának vizsgálatára szolgál), vékony viszkózus réteg nyomása, viszkózus anyag folyása csövön keresztül. Ezenkívül az utolsó két fejezet a hirtelen létrejövő hőmérsékletváltozás hatásával és a kezdeti és a maradó feszültségek kérdésével foglalkozik.

A *IV. részben* szerző a szemcsésanyagok egyensúlyi határállapotára vonatkozó elméleteket ismerteti. Részletesen tárgyalja a csúszólapok elméletét és a talajmechanikában felmerülő legfontosabb feladatok megoldását. Különleges esetként az ideálisan képlékeny anyagú testek vizsgálatával is foglalkozik.

Az *V. rész* anyagát a fémek magas hőmérséklet hatására bekövetkező kúszásával kapcsolatos alapfogalmak, valamint a kísérleti eredmények és elméleti vizsgálatok ismertetése alkotja.

Végül a *VI. részben* szerző bepillantást nyújt a geomechanika néhány válogatott fejezetébe, és elméleti mechanikai vizsgálatokkal világítja meg és egészíti ki A. HEIMNEK és A. WEGENERNEK a földkéreg mozgására vonatkozó elméletét.

A könyv magas színvonalú elméleti fejtegetéseit nagyszámú kísérleti eredmény, diagram és táblázat egészíti ki. Az irodalmi hivatkozások és idézetek történelmi hitelességgel tárják az olvasó elé a bemutatott problémákkal foglalkozó kutatók egész tudományos munkásságát és az általuk elért eredményeket. Ez az összegyűjtött hatalmas anyag önmagában is rendkívüli értéket képvisel.

Talán e vázlatos ismertetés is elegendő annak a megvilágítására, hogy NÁDAI Antal legújabb könyve modern koncepciója, magas elméleti színvonala és gazdag anyaga következtében az alkalmazott mechanika alapvető, klasszikus értékű művei közé tartozik. Azon túlmenően, hogy kitűnő segédeszköz, új távlatokat nyit meg a szilárdságtannal foglalkozó kutatók, fizikusok, geológusok, geofizikusok és mérnökök részére.

Dr. Kaliszky Sándor

† *Nemes Tihamér*

KIBERNETIKAI GÉPEK

Akadémiai Kiadó Budapest, 1962. 259 oldal

Varázsos csengésű szavá vált az utóbbi néhány évben a kibernetika. Ennek ellenére meglepetve tapasztalja az e tudományterület iránt érdeklődő, hogy nem talál olyan könyvet, amely méltó tudományos alapossággal összefoglalná a kibernetika alapproblémáit, főbb eredményeit és kutatási módszereit. A megjelent könyvek vagy nagyon is népszerűsítő céllal íródtak, vagy — alig néhányuk — túlságosan szűk részletproblémákat érintenek, de mindannyi erősen és azonnal érezhetően eklektikus. Nemes Tihamér könyve e tekintetben szerencsés kivételt képez. Ez pedig részben annak köszönhető, hogy a szerző a cím szerencsés megválasztásával eleve szűkíteni igyekszik a szóba jövő témakört, részben viszont annak, hogy Nemes Tihamér, a konstruktív problémákhoz vonzó mérnök, aki már a harmincas években foglalkozott számos, az emberi idegrendszerhez fűződő funkció gépi utánzásával, ekkor kialakított szemléletmódjában megtalálta azt a vezérfonalat, amelyre felfűzheti a kibernetikai kutatások során megjelenő új gondolatok nagy részét.

A könyv szerzője értékeléséhez tudnunk kell azt is, hogy Nemes Tihamér a könyv kéziratát még 1952-ben benyújtotta. Ha ez a könyv akkor jelenhetett volna meg, világviszonylatban is méltó fogadtatásra talált volna és komolyan hozzájárult volna nemzetközi tudományos tekintélyünk emeléséhez. Azóta azonban egy évtized telt el, s ez az anyag frissességét, tudományos újdonságát szükségszerűen némiképp csökkentette. A könyv anyagának nagy része azonban még így, tízéves késés után is értékes, rangos.

A könyv első két fejezete a kibernetika fejlődése során alapvető fontosságúnak bizonyuló tudományos diszciplínával, a formális logikával és az információelmélettel foglalkozik. Az előbbivel részletesen, bár az e területen járatlan olvasó bizonyára nagyon szűkszavúnak találja a fejezetet. Szemléletmódja azonban nagyon érdekes, az általa felhozott példák instruktívak, elgondolkoztatók és érdekes olvasmányt jelentenek a formális logikát jól ismerőknek is. Hiányzik azonban a fejezetből az algoritmusok, az algoritmikus nyelvek és az automaták algebrai elméletének legalább vázlatos ismertetése, holott ez ma már elengedhetetlenül szükséges még a publikációk megértéséhez is.

Az aránylag szűk információelméleti rész a tárgyalt anyagot érdekesen, könnyen érthető formában ismerteti. Az információelmélettel ismerkedni kívánó mérnökölvasó helyesen teszi, ha tanulmányait Nemes Tihamér könyvének ezzel a fejezetével kezdi.

A következő — aránylag igen nagy terjedelmű — részfejezet a logikai gépek különböző típusainak leírását és működési elvük ismertetését adja. Ez a témakör ma már — legalábbis látszólag — közel sem olyan fontosságú, mint amire a terjedelem alapján gondolnánk. A szerző életművében azonban valóban jelentős az e területen végzett munka; emellett — jöllehet ma már jobbára az univerzális számológépek segítségével oldjuk meg formális logikával kapcsolatos problémáinkat — semmiképp sem tekinthető haszontalannak a könyv ezen részének gondos átolvasása, mert a formális logikai feladatok megfogalmazásához és az univerzális számológépeken történő megoldásuknál szükséges programok elkészítéséhez nagy segítséget nyújt.

Nemes Tihamér elég részletesen ismerteti az univerzális digitális számológépek és az adatfeldolgozó gépek alapelveit, működési módjukat és vázlatosan a programozásukat is.

Nagyon érdekes és tanulságos a könyv következő részfejezete, amely az emberi idegrendszer különböző receptorainak és effektorainak gépi helyettesítési lehetőségeivel foglalkozik.

Nemes Tihamér egyéniségét, széles látókörét, emberi bölcsességét és szellemességét az olvasó elsősorban a valóban nagyon érdekes, olvasmányos, gondolatébresztő utolsó rész, az önálló automatákkal foglalkozó fejezet olvasásakor ismeri meg. Ennek első része, amely a szokványos állatmodelleket írja le, még nem sok újat mond. A játékgépekről és főleg az életjelenségeket utánzó modellekről szóló két utolsó fejezetrész azonban a világirodalomban

is rangos rövid összefoglalása e témáknak, és sok eredeti gondolatát tartalmazza az ezen problémakört igen nagy szeretettel önállóan is művelő szerzőnek.

A Kiadónak sok gondot jelent egy posztumusz könyv megjelentetése. Ebből az ismeretéből is kitűnik — a könyv elolvasása után azonban biztosan ez lesz az olvasó meggyőződése — érdemes volt sok munkát áldozni a könyv megjelentetésének biztosítására.

Frey Tamás

Prof. Dr.-Ing. Dr.-mont. Otto Emicke

NOMOGRAMME FÜR DIE PRAXIS DES WARM- UND KALTWALZENS
VON STAHL, EDELSTÄHLEN UND NICHTEISENMETALLEN

Akademie-Verlag, Berlin 1962.

Otto EMICKE freibergi professzor egyike azoknak a kutatóknak, akik a század első felében a hengerlés tudományos kérdéseinek kísérleti alapjait megteremtették. Ifjabb éveiben az immár klasszikussá vált J. PUPPE munkatársai közé tartozott, majd később, mint freibergi professzor maga is igen nagy jelentőségű és alapvető kísérleteket végzett a hengerlési munkára, a teljesítményszükségletre és a forgatónyomaték meghatározására vonatkozólag. Kísérletei kiterjedtek acélra, alumíniumra és más színes fémekre. A szakirodalom lépten-nyomon hivatkozik eredményeire és azokat széleskörűen felhasználja. O. EMICKE eredményeit mindig jól világosan és áttekinthetően tudta a szakvilággal megismertetni, s így munkái a hengerlés problémáinak elméleti kutatói részére mindig hasznos és megbízható alapot nyújtottak.

Az itt idézett 1962-ben megjelent könyve elsőként foglalja össze a fémek alakításával kapcsolatos mechanikai technológiai kérdések megoldásához szükséges grafikus számítási eljárásokat.

A könyv hat főrészből áll:

1. Nomogramok szabadon szélesedő tuskók, platinák, laposacélok, szalagok meleg-hengerlési szűrasterveinek megállapításához.

2. Grafikus eljárás szabályos, egymás után következő szelvények megállapítására.

3. Laposacélok szélesedésének megállapítására szolgáló nomogramok, ha a hengerlés sima hengerek között történik.

4. Nomogramok a hengerlési folyamat főparamétereinek megállapítására (hengerlési nyomás, forgatónyomaték, alakítási munka, a hengerállvány részeit terhelő erők, a darab hőmérséklete a hengerlés folyamán stb.).

5. Nomogramok a hideghengerlési folyamat főparamétereinek megállapítására (hengerlési nyomás, forgatónyomaték, alakítási munka különböző fémek hideghengerlésekor, a hideghengerművek statikus és dinamikus terhelése, a tandem-hideghengersonorok stb.).

6. Nomogramok a hengersonorok és a hozzájuk csatlakozó alakító műveletek gazdaságos munkájának megállapítására (blokkorok teljesítményének ellenőrzése, lemez-hengerlés hengerlési idejének megállapítása, blokkhengerművek összehasonlítása, legmegfelelőbb tekercsnagyság folytatólagos lemezhengerművekben, finomlemezhengerművek, hideghengersonorok teljesítménye, hideg- és meleghengersonorok csapágyainak élettartama, lemezszalag gyártásakor keletkező hulladék mennyisége, csőhengerművek üzemének ellenőrzése, fémcsőhúzás húzási terve stb.).

Az itt felsorolt főfejezetek mindegyikéhez kimerítő irodalom csatlakozik.

O. EMICKE könyve a maga nemében elsőrangú munka és kitűnő segédeszköz; a nomogramok áttekinthetők és könnyen kezelhetők. A könyv a szakirodalmat jelentősen gazdagítja, és mi is melegen ajánlhatjuk egyetemi hallgatóknak, szerkesztési irodák és üzemek tervezőmérnökeinek.

Dr. Geleji Sándor

A. F. Harvey

MICROWAVE ENGINEERING

Academy Press, London 1963, 1313 oldal

Ezen igen érdekes és tartalmas műszaki könyv magában foglalja a mikrohullámú technika különféle elvi, elméleti és konstrukciós kérdéseit; ismerteti a különböző alkalmazási területeket és az ezekkel kapcsolatos alapvető problémákat.

Az 1947/48-as 27 kötetes MIT-Radiation Laboratory Series óta megjelent mikrohullámú könyvek közül ez messzemenőleg a legnagyobb jelentőségű mű.

Harvey könyvének nagy jelentősége elsősorban a következőkben van:

1. Minden passzív és aktív mikrohullámú elemmel, alkatrészsel, szerkezettel és az anyagok mikrohullámú tulajdonságaival foglalkozik. A 26 fejezetből 18 tekinthető ilyennek. A megmaradó 8 fejezet a vevőkkel, a frekvenciaméréssel és stabilizálással, az ipari, biológiai és gyógyászati vonatkozásokkal, a szélessávú vezetékes átvitelrel, a hullámterjedéssel, a rádiórelé összeköttetésekkel, a radar-rendszerekkel, a rádió- és radar-asztronómiával foglalkozik.

2. Azon részleteket, amelyek a MIT sorozatból ismeretesek, viszonylag röviden és összefoglalóan tárgyalja; viszont részletesebben tárgyalja az azóta kifejlesztett új módszereket és eszközöket.

3. Sok új konstrukciót és diagramot ismertet, amelyek részben a tervezéshez közvetlenül is felhasználhatók.

4. A hatalmas anyag tömören ismerteti, azonban minden fejezethez igen bő irodalomjegyzéket ad összesen 10 100 hivatkozással, melyek mindegyikére megtalálható a szövegben a számhivatkozás is.

Annak illusztrálására, hogy a könyv szerzője milyen sokféle, a MIT sorozatban még nem szereplő anyagot dolgozott fel, néhány példát sorolunk fel.

Ismerteti a bordázott hullámvezetőket (Ridged wave guides) és ezek szabványos méreteit; a nem-homogén tápvonallal való szélessávú illesztéseket; a modern iránycsatolókat és tibrideket; a Hall-effektus alkalmazását mikrohullámú teljesítmény mérésekhez; a haladóhullámú üregrezonátor gyűrt; a különböző modern szűrőköröket. Igen sok újabb adatot közöl különböző gázokra, folyadékokra és szilárd testre a mikrohullámok tartományában; részletesen foglalkozik a poláris molekulákkal; ismerteti a szupervezetést. Dielectric Spectrometry címszó alatt tárgyalja az anyagok elektromos és mágneses rezonancia-spektrumának felvételéhez alkalmas eszközöket.

Részletesen tárgyalja a giromágneses-hatást, a ferriteket, a granát struktúrákat, a mikrohullámú ferritek mérési módszereit, a különböző izolátorokat és cirkulátorokat.

23 oldalon át tárgyalja a szalagtápvonalakat, ezek paramétereinek számítását, a különböző szuszceptanciák, csatlakozások, iránycsatolók, szűrők, antennák megvalósítását ilyen elemekkel.

Külön fejezetben tárgyalja a periodikusan terhelt vonalakat. Ide sorolja a különböző felületi hullámvezetőket, a barázdált felületű antennákat, a dielektromosrúd hullámvezetőket, a lassú hullámú és helikális struktúrákat.

Tárgyalja a visszafutó hullámú oszcillátort, az ultra mikrohullámok előállítására alkalmas magnetronokat, a Cserenkov-féle sugárzást és annak felhasználását rövid mikrohullámok előállítására.

Részletesen foglalkozik a mesterséges dielektrikumokkal, a spektrométerekkel és interferométerekkel; a frekvenciától független antennákkal, a Luneberg-féle lencsékkel, a nagy látószögű tükrökkel és lencsékkel. Ismerteti a különféle korszerű gyártástechnológiai módszereket, a kis zajú erősítőket, az alagút diódákat, a parametrikus erősítőket, a MASER-eket, a haladó hullámú erősítőket.

Bemutatja a spektrum-vonal frekvencia standardokat; a mikrohullámú sugárzás biológiai és gyógyhatásait; az egészségvédelmi módszereket, a részecske gyorsítók mikrohullámú berendezéseit (ciklotronok, szinkro-ciklotronok stb.).

Foglalkozik a vezetékben való szélessávú átvittelrel koaxiális kábelben és körkeresztmetszetű hullámvezetőn TE_{0n} módon. Ismerteti a módkonverziós veszteségeket és csökkenésük módjait.

A rádiórelé összeköttetésekénél tárgyalja a passzív reflektorok alkalmazását; a hírközlést műholdak útján, az égitestek közötti reléállomásokat; a radar-rendszereknél a rakéták irányítását; a rádió- és radar-asztronómiát, a rádióteleszkópokat, interferométereket és polarimétereket.

A könyv hosszú évekig hasznos segédeszköze lesz a mikrohullámú mérnököknek, akár kutatóintézetben, akár gyártó üzemben, akár az oktatás vonalán tevékenykednek.

Dr. Istvánffy Edwin

Sors László

BERECHNUNG DER DAUERFESTIGKEIT VON MASCHINENTEILEN

Akadémiai Kiadó. Budapest, 1963. I. rész 93 o.; II. rész 100 o.

E könyv a szerző által írt s 1958-ban a Műszaki Kiadó által kiadott magyar nyelvű könyv német fordítása. Két részből áll; első része elméleti összefoglaló, a második része diagramok, nomogramok, táblázatok gyűjteménye.

Köztudomású, hogy a gép részre vonatkozó méretezés célja: *a gépelemek méreteinek kiszámítása*. E célt a terhelések, igénybevételek és egyéb feltételek ismeretében részben szabatos szilárdsági megfontolások alapján érhetjük el, részben pedig tapasztalati összefüggéseket használhatunk fel. Az is ismeretes, hogy a méretezés általános menete — egyetlen gépelemre korlátozva — röviden a következő:

1. *Igénybevételek megállapítása* a mechanikai törvényszerűségek és módszerek segítségével.
2. A gépelem működésének minden részletére kiterjedő figyelembevételével megfelelő *szerkezeti anyag választása*.
3. A gépelem igénybevétel szempontjából veszélyes helyein a *fellépő legnagyobb feszültség vagy egyéb jellemző* kiszámítása.
4. A választott szerkezeti anyag jellemzőiből, az igénybevételek, a megmunkálások és hőkezelések figyelembevételével a *megengedhető feszültség vagy egyéb jellemző* rögzítése.
5. Az igénybevétel gyakoriságától, jellegétől, a géppel szemben támasztott követelménytől függően a *szükséges biztonsági tényező* megbecslése.
6. Az 1—5. pontbeli adatok birtokában olyan egyenlet felállítása, amelyből a *gépelem keresett méretei vagy méretarányai* kiszámíthatók.

Az ismertetett sorrend persze változhatik, sőt előfordulhat az a fordított feladat is, hogy meglevő gépelem biztonsági tényezőjére vagyunk kíváncsiak.

Ha a méretezés ismertetett menete szemszögéből vizsgáljuk a könyvet, akkor megállapítható, hogy az e problémakörnek csak egy részét öleli fel. A méretezési menetnek főleg 3—5. pontjával foglalkozik, de itt is csak a fázasztó igénybevétellel, és az összefoglalást sem az összes, hanem csak néhány egyszerűbb gépelem-fajtára (tengely, oldható és nem oldható kötés, rugó) mutatja be.

Határozott értéke a könyvnek a legfontosabb szerkezeti anyagokra vonatkozó, a nemzetközi szakirodalomban elszórta megjelent, nehezen hozzáférhető anyagjellemzők bő, jó és célszerű összegyűjtése. A szerző megemlíti, hogy az adatok között többször ellentmondásokat talált, viszont ezek feloldására, továbbá az adatok érvényességi határainak határozott rögzítésére nem vállalkozott.

A könyv szerkezete korszerű, a szövegezés könnyen és jól olvasható, örömmel nyugtázható benne az egységes jelmagyarázat, a bő irodalmi hivatkozás, és szép a nyomdai kiállítás.

A könyv 7. pontjában tanulmányozható számpéldák — amelyekben a szerző összehasonlításként a konzervatív, a *Bollenrath—Troost*-féle, ill. a *Siebel*-féle számítási módokkal nyerhető biztonsági tényezőket számítja ki, — jobb áttekintést adtak volna, ha a képletekben szereplő tényezők alsó és felső határaikkal számítottak volna, mert így a biztonsági tényezőkre is alsó és felső határ adódott volna az egyetlen érték helyett.

Összefoglalva, a könyv a *Bach*-féle terhelésfajtákból kiindulva részletesen ismerteti a *Smith*-, a *Haigh*-, a *Moore—Kommers—Jasper*-féle diagramokat, a fáradt törés okait és törésábráit, a leggyakoribb szerkezeti anyagok *Smith*-ábráit (műanyagokra még több kellett volna), a méretezést befolyásoló tényezőket (felületi érdesség, nagyságrend, alak, hőmérséklet, hőkezelés, korrózió, „előélet” szerepét), a Neuber-féle alak tényezőket, a horonytényezőket (*Bollenrath—Troost*-, ill. *Siebel*-féle elméletet), a biztonsági tényezőket (a *VDI*, *Soderberg*-, ill. *Kimmelman*-féle javaslatot), az összetett igénybevételeket. A két utolsó pont az ismételt igénybevételre való méretezés módjait foglalja össze, ill. néhány gépelemre alkalmazza őket.

A könyv a gépelemek tartós szilárdságát illetően a konstruktorok számára értékes segédlet.

Dr. Terplán Zsuzsanna

Dr. Bakondi Károly—Dr. Kardos Árpád

A GÉPGYÁRTÁS TECHNOLÓGIÁJA. I. FORGÁCSOLÁS

(Tankönyvkiadó, 1963)

Örömmel üdvözljük Dr. Bakondi és Dr. Kardos: „Forgácsolás” című egyetemi tankönyvét, mert bár az 1950-es évek elején több forgácsolással foglalkozó könyv jelent meg, de átfogó jellegű mű azóta sem. Pedig a forgácsolással gépgyártásunkban igen komolyan kell foglalkozni, mert a gépmunkák igen nagy hányadát képviseli.

A könyv helyes beosztásban ismerteti a forgácsolás alapfogalmait, a forgácsolási folyamatot és annak jelenségeit, továbbá a forgácsolással meghatározási módszereit és annak befolyásoló tényezőit, valamint a forgácsolás hőjelenségeit.

Részletesen foglalkozik a forgácsolószerszámok tervezésével és a szerszámanyagok ismertetésével.

Ezek után sorba veszi az egyes forgácsoló megmunkálási módokat és az azoknál használatos szerszámokat; esztergálás, fúrás, sülyesztés, dörzsölés és menetmegmunkálások. Hátrább került a homlok- és palástmarás és különösen az utóbbi igen bőségesen kitér a forgácsleválasztásra és a szerszámok ismertetésére, a szerszámok élezési módszereivel együtt.

Az üregelést és az üregelő szerszámok szerkesztését is kimerítően tárgyalja.

Az utolsó fejezet a köszörüléssel foglalkozik, mely viszonylag rövid ehhez a bonyolult és a finommegmunkálások előtérbe kerülése miatt fontos megmunkálási módnál.

Végül még meg kell említenem, hogy a forgácsolóerők számításánál részletesebben foglalkozik az elvontabb elméleti módszerekkel, melyeket a gyakorlatban kevésbé fognak használni, mint az egyszerűbb, a gyakorlatban inkább használható módszerrel.

Mind a homlok-, mind a palástmarásnál a forgácsolási teljesítmény meghatározására elavult számítási módot ad meg.

A köszörülésnél nem tér ki az újabb kísérleti adatok ismertetésére, melyek a köszörülés lefolyását jól megvilágítják és a köszörülés forgácsolási teljesítményének meghatározására is régebbi adatokat ismertet.

Ez a 382 oldalas, 434 ábrát és 77 táblázatot tartalmazó könyv mind a gépgyártástechnológia mérnökhallgatóinak, mind a gyakorlatban dolgozó technológus mérnököknek és technológusoknak, de a tanultabb dolgozóknak is munkájuk elvégzéséhez komoly segítséget nyújt.

Dr. Hornung Andor

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ENGINEERING, BUDAPEST, SEPTEMBER 24—27, 1963.

Akadémiai Kiadó, Budapest 1963, 550 oldal, 346 ábra, 40 táblázat

A Magyar Tudományos Akadémia 1963. szeptember 24—27. között nemzetközi talajmechanikai és alapozási konferenciát rendezett. A számos külföldi szakember és tudós részvételével megtartott ülések tárgyalásainak és vitáinak ez a kiadvány volt az alapja.

Az érintett tudományágak területén egyre szélesebbé váló nemzetközi együttműködést híven jellemzi, hogy a könyvben a 18 magyar dolgozaton felül 6—6 cseh és lengyel, 5 német, 4 japán, 3—3 szovjet és román, 2—2 jugoszláv és francia, 1—1 svéd, illetve indiai tanulmány jelent meg, összesen 53 szerző tollából.

A könyv a talajmechanika és alapozás tudományának mai helyzetét, problémáit és törekvéseit híven tükröző anyagot öt fejezetre bontva hozza.

1. *Témacsoport* : „A földnyomás elméleti és gyakorlati kérdései”. A földnyomás lehetőleg minél pontosabb meghatározása egyik kulcskérdése a mélyépítési statikának. Bár az elméleti fizika és mechanika kiváló tudósai, laboratóriumi kutatók és mérnökök sokasága fáradozott a kérdés megoldásával, korántsem tekthető még lezártnak. Ezt biznyítja az e témacsoportban megjelent 11 cikk is, melyek fontos részeredményeket közölnek a földnyomás pontosabb meghatározásához. Találunk közöttük tanulmányt a földnyomás meghatározás szempontjából lényeges talajfizikai tulajdonságokról, a földnyomási modellkísérletekről, a helyszíni mérésekről, méretezési módszerekről és a kihorgonyzó tömbök ellenállásáról.

2. *Témacsoport* : „Földművek. (Rézsúk állékonysága, munkagödörök, tömörítés)”. Hazánkban különös aktualitása van e témacsoportnak. A 10 cikk közül hat foglalkozik a

talajok tömörítésének kérdésével, s ez a szám szinte önmagában is jelzi, hogy nagyon fontos feladat vár itt sürgős megoldásra, végleges rendezésre. Kutatók, tervezők és kivitelezők egyaránt jól hasznosíthatják e cikkek gyakorlati és elvi útmutatásait. Az egyre nagyobb ütemben fejlődő külszíni szénbányászatunk biztonságos és gazdaságos megtervezéséhez igen nagy segítséget nyújt az a két cikk, amelyet az NDK nagy tapasztalatú szakemberei írtak a külfejtések óriási földműveinek állékonysági kérdéseiről. A talajok stabilizálásáról és a talajok megbízható azonosítási módszeréről írott tanulmányok egészítik ki e témacsoport gazdag anyagát.

3. *Témacsoport*: „Különböző alapok teherbírása”. Az alapoás tudományának központi kérdése az alapok teherbírásának megbízható meghatározása. A legutóbbi évtized eredményei alapján megállapítható, hogy lehetetlen elméletileg végérvényesen megoldani a kérdést a tapasztalatok, főleg nagyméretű modellekkel végzett kísérletek és ezek statisztikai értékelése nélkül. A síkalapok és a cölöpök teherbírásai kérdéseivel foglalkozó 14 tanulmány között vannak átfogó ismertetések és eddig még kevésbé tanulmányozott jelenségekről szólók is. Valamennyi az e téren világszerte folyó kiterjedt kutatómunkát tükrözi.

4. *Témacsoport*: „Korszerű, gazdaságos és gépesített alapozási módszerek”. Három fő tényező szabja meg az építőipar fejlődését: a korszerű építőanyag, a belőle készített gazdaságos szerkezet és a lehetőleg teljesen gépesített kivitelezés. Bár az ide sorolt tanulmányok nem meríthetik ki a kérdést, mégis izelítőt adnak az említett tényezők gyors fejlesztése iránti igényekből. A legfőbb újítás talán az a gondolat, hogy megfelelő gépesítéssel és megfelelő anyagok segítségével maga a közepes — vagy éppen gyenge — altalaj gazdaságosan változtatható „szerkezeti elemmé”, alappá. A talajszilárdítással vagy cölöpözésekkel nagy földmunkák, költséges víztelenítések kerülhetnek el, egyre kevesebbé válik a nehéz fizikai munka, a tökéletes gépesítéssel kedvezően alakulnak a munkabérek stb. A 7 cikk közül egyesek nálunk még nem ismeretes eljárásokat is ismertetnek.

5. *Témacsoport*: „A földalatti szerkezetekre ható terhelések és méretezésük”. A közlekedés ugrásszerű fejlődése számos földalatti szerkezet — földalatti vasút, aluljáró, garázs, raktár stb. — építését kívánja meg. Az ilyen építmények amúgy is tetemes költségei parancsolóan írják elő, hogy — a józanul választott biztonság határain belül — minél gazdaságosabban méretezzék ezeket a műtárgyakat. Ehhez a rájuk ható terhelések pontos ismerete volna szükséges. A mai napig is vitatott kérdéshez szolgáltat értékes anyagot az itt megjelent 8 tanulmány, amelyek között a tisztán elméleti megoldások mellett gyakorlati, félig tapasztalati alapon nyugvó megfontolások és nagyléptékű modellkísérletről szóló beszámoló találunk helyet. Két fotoelasztikus vizsgálatról írott ismertetés jelzi, hogy a korszerű anyagvizsgálati módszerek fokozottabb alkalmazásának hálás területe lehet a földalatti szerkezetek feszültségállapotának vizsgálata.

Elismeréssel kell végül megemlékezni az Akadémiai Kiadó és a szerkesztés munkájáról, amellyel a számos ábrát, táblázatot, grafikont, angol, orosz, német és francia nyelvű dolgozatot tartalmazó kötetet aránylag igen rövid idő alatt előállították. Nyomdai kivitele, papírja, kötése egyaránt hozzájárul, hogy külső megjelenésével is méltán sorakozik a világszínvonal legjobbjai mellé.

Dr. Varga László

G. Bürgermeister—H. Steup—H. Kretschmar

STABILITÄTSLEHRE MIT ERLÄUTERUNGEN ZU DEN KNICK- UND BEULVORSCHRIFTEN, TEIL II.

Akademie-Verlag, Berlin 1963, 402 oldal, 196 ábra, 6 táblázat

E könyvnek 1957-ben megjelent első kötetét, melynek szerzői BÜRGERMEISTER, G. és STEUP, H. voltak, a jelen folyóirat 24. kötetének 495—496. oldalain ismertettük. Amíg az első kötet az egyszerű nyomott rúd stabilitásproblémáit ölelte fel, a második kötet a többtámaszú rudak, keretek és rácsos szerkezetek, az ívtartók, lemezek, héjak és lemezművek stabilitásproblémáit tárgyalja. Ezek a problémák a technika fejlődésével, főleg pedig a nagyszilárdságú anyagokból épülő, valamint a vékonyfalú szerkezetek egyre kiterjedtebb alkalmazásával egyre fokozottabb jelentőségre tesznek szert, miért is felelte indokolt, hogy a technikai alkalmazások figyelembevételével beható tárgyalásra kerüljenek.

A könyv a többtámaszú nyomott rudak stabilitásproblémáival 65 oldalon foglalkozik. Itt is, valamint a későbbi fejezetekben is, először a feladatnak egyensúlyi módszerrel való tárgyalását mutatja be, majd az energetikai módszer alkalmazását ismerteti. A merev, illetve

rugalmas támasztású három- és töbttámaszú nyomott rúd kritikus erejének meghatározására alkalmas szigorú megoldásokon felül a gyakorlat során célszerűen felhasználható közeítő eljárásokat is közöl. Részletesen foglalkozik az alsópályás hidak rácsos főtartóinak nyomott övével, a rácsos vezetékoszlopok esetével, valamint a kikötött árbcok stabilitásproblémáival is.

A *rácsos szerkezetek és keretek* stabilitásproblémáit a könyv 76 oldalon elemzi. E rendkívül bonyolult feladatnak szigorú tárgyalását a félkeret alakváltozására és a két rúdból álló háromemeletes szerkezet átpattanására vonatkozó alapvető megfontolásokkal vezeti be. A feladat szigorú tárgyalásmódjának ismertetése után különféle közelítő eljárásokat ismertet. Ezek során részletesen foglalkozik az emeletes derékszögű keretek esetével.

Az *ívtartók* stabilitásproblémáival foglalkozó fejezet 42 oldalt ölel fel. A tárgyalás a kihajlás síkbeli esetein felül a térbeli esetekre is kiterjed. Részletesen foglalkozik a merevítő-tartós parabolaív eseteivel is. Bőséges teret szentel a különféle iterációs közelítő eljárások bemutatására. Ismerteti és értékeli a GABER-, CHWALLA- és KOLLBRUNNER-féle kísérletek eredményeit.

A *lemezek* horpadásproblémái 84 oldalon kerülnek tárgyalásra. Itt a síkjában terhelt lemezen kívül bemutatásra kerül a síkjában ható és síkjára merőleges erőkkel egyidejűleg terhelt lemez esete is. A tárgyalás a kritikus állapotot követő állapot vizsgálatára is kiterjed, s felöleli a rugalmas tartományban lejátszódó horpadásjelenségeken felül a képlékeny horpadás jelenségeit is. A könyvben ortotrop lemezek horpadásproblémái is kellő megvilágításba kerülnek. Minthogy e feladatok szigorú megoldása csak egyes igen egyszerű esetekben lehetséges, a könyv részletesen ismerteti az e célra alkalmas különféle közelítő eljárásokat is.

A *héjak és lemezművek* kihajlásjelenségei 35 oldalon kerülnek tárgyalásra. A tárgyalás problémák a szilárdságtan legbonyolultabb feladatai közé tartoznak, s megoldásuk általában csak különféle oly közelítésekkel lehetséges, melyek a kritikus erő értékét érzékenyen befolyásolhatják. Ezért a közölt megoldások a gyakorlatban csak kellő óvatossággal alkalmazhatók. Vonatkozik ez főleg a vasbetonhéjakra, melyek stabilitásproblémáinak tárgyalásakor a lassú alakváltozás hatása nem hagyható figyelmen kívül.

Az elméleti részben előadott elvek és eljárások gyakorlati alkalmazását a könyv igen ügyesen megválasztott 11 számpéldán ismerteti. Ezek a példák ugyanannak a feladatnak különféle módszerekkel való megoldását is bemutatják, s lehetőséget nyújtanak arra, hogy az olvasó e megoldásokat egymással egybevesse, s a szigorú megoldások szolgáltatotta eredményeket a közelítő eljárásokkal levezetett eredményekkel összehasonlítsa.

A könyv egyes fejezeteit bőséges irodalmi jegyzék egészíti ki, mely 560 szakdolgozat, illetve szakkönyv bibliográfiai adatait tartalmazza. Kár, hogy ebben az egyébként igen részletes összeállításban főként csak az igen kiterjedt német irodalom termékei szerepelnek, s csak elvétve találhatók meg a nem német nyelvű szakkönyvek, illetve dolgozatok.

Általában megállapítható, — ezt a könyv előszava hangsúlyozza is —, hogy szerzők könyvükben elsősorban a kihajlási és alakváltozási problémákkal kapcsolatos mechanikai alapelvek tisztázására és világos kifejtésére törekedtek. Ezt a célkitűzést szerzők meg is valószínűsítették, s a stabilitásproblémák irodalmát mélyenszántó értékes szakkönyvvel gyarapították. Igen szerencsés a választott tárgyalásmód is, mely az egyszerű esetekből kiindulva vezeti el az olvasót az általánosabb érvényű összefüggések megismeréséhez.

Hisszük, hogy a könyv második kötete, miként az első kötet is, a szakkörökben kedvező fogadtatásra fog találni.

Dr. Csonka Pál

TARTALOMJEGYZÉK

Kármán Tódor 1881—1963	3
Nádai Árpád 1883—1963	11

*A Műszaki Tudományok Osztályának az MTA 1963. évi nagygyűlése
keretében április hó 10-én tartott nyilvános osztályülése*

Geleji Sándor akadémikus, osztálytitkár: Beszámoló a Műszaki Tudományok Osztályának munkájáról	17
Vadász Elemér akadémikus hozzászólása	39
Szigeti György akadémikus: Szilárdtestek kutatása és ezen kutatások koordinálása Magyarországon	43

*A „Kismintavizsgálatok a vízgazdálkodásban” című
1962. október 24-én tartott ankét előadásai*

Lászlóffy Woldemár : A vízépítési kísérletügy hazai kezdetei	51
Bogárdi János : A kismintavizsgálatok fejlődése és szerepe a vízgazdálkodásban	55
Haszpra Ottó : Kismintavizsgálatok az öntözés fejlesztésének szolgálatában	63
Hankó Zoltán : Természetes vízfolyások kismintavizsgálatai	83
Öllős Géza : Szivárgási jelenségek kismintavizsgálatai	99
V. Nagy Imre : A „Kismintavizsgálatok a vízgazdálkodásban” című ankét határozatai	127

Tanulmányok

Vasy Géza : Csővezeték átmérőjének megengedhető túrése szűkítőnyílással való mennyiségmérés esetén	131
Balogh Arthur : Fogaskerék-hajtásos berendezések torzióslengési önlengésszámainak meghatározása	151
Rédei István : Síkbeli rácsos tartók rúderőinek ellenőrzése	177
Szomodius Kázmér : Membránreakciók nélküli torznégyszög-héj	197
Csonka Pál : Forgáspároloid alakú héj négyzögalaprajz felett	201
Vendel Miklós—Kisházi Péter : Összefüggések melegforrások és karsztvizek között a Dunántúli Középhegységben megfigyelt viszonyok alapján. II.	205
Ág Árpád : A szikraforgácsolás tárgyalása a hővezetési egyenlet alapján	235
Csonka Pál : Forgáspároloid alakú héj külpontos elhelyezkedésű köralaprajzú nyílással	243
Csonka Pál : Szimmetrikusan, illetve antiszimmetrikusan terhelt szimmetrikus és antiszimmetrikus héjak	261
Hajdu Sándor : A beömlési tényező meghatározása axiális belépésű örvényszivattyúk tervezéséhez	271
Pethő Szilveszter : Néhány szénflotálási kísérlet kinetikai vizsgálata	283
Bassa Gábor : A kiömlési finomság hatása szénportüzelésű kazánok tüztérének salakosodására	299
Boldizsár Tibor : Magyarország geotermikus térképe és földi hőárama	307

Tarján Gusztáv : Különleges erőhatások a hidrociklonban	329
Fáy Gyula—Zselev Borisz : A hasonlóságelmélet alkalmazása transzportfolyamatok vizsgálatában	351
Geleji Sándor : Rúd- és csőhúzás	365

Műszaki tudománytörténeti dolgozatok

Ratkovszky Ferenc : Az 50-periódusú vasútvillamosítás továbbfejlődése hazánkban és külföldön (Akadémiai székfoglaló)	383
Wessely Imre : A hidraulikus kötőanyagok gyártástechnológiája fejlődésének magyar vonatkozásai	411
Papp Simon : A magyarországi kőolaj- és földgázkutatás az 1780-tól 1945-ig terjedő időszakban. II.	421
Bendefy László : Fuchs Károly kézirati hagyatéka	439

Egyéb közlemények

Ankét a hidegen hajlított szelvények alkalmazási lehetőségeiről. — Halász Ottó—Csellár Ödön	457
A szláv technikai irodalom nyilvántartása a nyugati országokban	461

Könyvszemle

A. Nadai : Theory of Flow and Fracture of Solids. Vol. 2. — Kaliszky Sándortól	463
† Nemes Tihamér : Kibernetikai gépek — Frey Tamástól	464
Otto Eimcke : Nomogramme für die Praxis des Warm- und Kaltwalzens von Stahl, Edeltählen und Nichteisenmetallen — Geleji Sándortól	465
A. F. Harvey : Microwave Engineering — Istvánffy Edvintől	466
Sors László : Berechnung der Dauerfestigkeit von Maschinenteilen — Terplán Zénótól... ..	467
Bakondi Károly—Kardos Árpád : A gépgyártás technológiája I. Forgácsolás — Hornung Andortól	468
Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering , Budapest, September 24—27, 1963. — Varga Lászlótól.....	468
G. Bürgermeister—H. Steup—H. Kretschmar : Stabilitätslehre mit Erläuterungen zu den Knick- und Beulvorschriften, Teil II. — Csonka Páltól	469

INHALTSVERZEICHNIS

Theodor v. Kármán 1881—1963	3
Árpád Náday 1883—1963	11

ÖFFENTLICHE SITZUNG DER KLASSE DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN IM RAHMEN DER GENERALVERSAMMLUNG DER UNGARISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN AM 10. APRIL 1963

<i>Geleji, A.</i> : Bericht über die Tätigkeit der Klasse für Technische Wissenschaften	17
<i>Vadász, E.</i> : Beitrag zum Bericht	39
<i>Szigeti, G.</i> : Festkörperforschung und Koordinierung dieser Forschungen in Ungarn ...	43

VORTRÄGE AUF DER ENQUETE »MODELLVERSUCHE IN DER WASSERWIRTSCHAFT, 24. OKTOBER 1962

<i>Lászlóffy, W.</i> : Einheimische Anfänge des Versuchswesens für Wasserbau	51
<i>Bogárdi, J.</i> : Entwicklung der Modellversuche und deren Rolle in der Wasserwirtschaft	55
<i>Haszpra, O.</i> : Modellversuche im Dienste der Entwicklung der Bewässerung	63
<i>Hankó, Z.</i> : Modellversuche natürlicher Wasserläufe	83
<i>Öllös, G.</i> : Modellversuche von Sickerungserscheinungen	99
<i>v. Nagy, I.</i> : Beschlüsse der Enquete »Modellversuche in der Wasserwirtschaft«	127

AUFsätze

<i>Vasy, G.</i> : Toleranzgrenze der Rohrleitungsdurchmesser bei Mengenmessungen mit Drosselgeräten	131
<i>Balogh, A.</i> : Bestimmung der Eigenschwingungszahlen der Torsionsschwingungen bei Zahnradantriebs-Einrichtungen	151
<i>Rédei, I.</i> : Festigkeitsprüfung von ebenen Fachwerkträgern	177
<i>Szmodits, K.</i> : Membranreaktionsfreie windschiefer Viereckschalen	197
<i>Csonka, P.</i> : Translationsschale über einem Viereckgrundriß	201
<i>Vendel, M.—Kisházi, P.</i> : Zusammenhänge von Thermalquellen und Karstwässer beobachtet im transdanubischen Mittelgebirge II.	205
<i>Ág, Á.</i> : Behandlung des Funkspänens auf Grund der Wärmeleitungsgleichung	235
<i>Csonka, P.</i> : Rotationsparaboloidschale mit exzentrisch angelegter Kreisöffnung	243
<i>Csonka, P.</i> : Symmetrisch bzw. antimetrisch belastete symmetrische und antimetrische Schalen	261
<i>Hajdú, A.</i> : Bestimmung des Einströmungsfaktors zum Entwurf von Kreiselpumpen mit axialem Einlauf	271
<i>Pethő, S.</i> : Kinetische Untersuchung einiger Kohlenflotationsversuche	283

<i>Bassa, G.</i> : Einfluß der Ausmahlungsfeinheit auf die Verschlackung des Feuerkastens bei Staubkohlenfeuerungskesseln	299
<i>Boldizsár, T.</i> : Geothermische Karte und irdische Wärmeströmung Ungarns	307
<i>Tarján, G.</i> : Spezielle Kraftwirkungen in Hydrozyklonen	329
<i>Fáy, Gy.—Zselev, B.</i> : Verwendung der Ähnlichkeitslehre in der Untersuchung von Transportvorgängen	351
<i>Geleji, A.</i> : Ziehen von Stäben und Röhren	365

TECHNISCH-GESCHICHTSWISSENSCHAFTLICHE MITTEILUNGEN

<i>Ratkovszky, F.</i> : Entwicklung des 50-Perioden-Systems vor dem zweiten Weltkrieg (Antrittsvortrag vor der Ung. Akademie der Wissenschaften)	383
<i>Wessely, I.</i> : Ungarische Beziehungen der Entwicklung der Erzeugungstechnologie von hydraulischen Bindemitteln	411
<i>Papp, S.</i> : Ungarländische Erdöl- und Erdgasforschungen im Zeitraum von 1780 bis 1945. II.	421
<i>Bendefy, L.</i> : Manuskript-Nachlassenschaft von Károly Fuchs.	439

SONSTIGE MITTEILUNGEN

Enquete über die Anwendungsmöglichkeiten der Kaltprofile Halász, O.—Csellár, Ö.	457
Evidenzhaltung der slawischen technischen Literatur in den Westländern	461

BÜCHERSCHAU

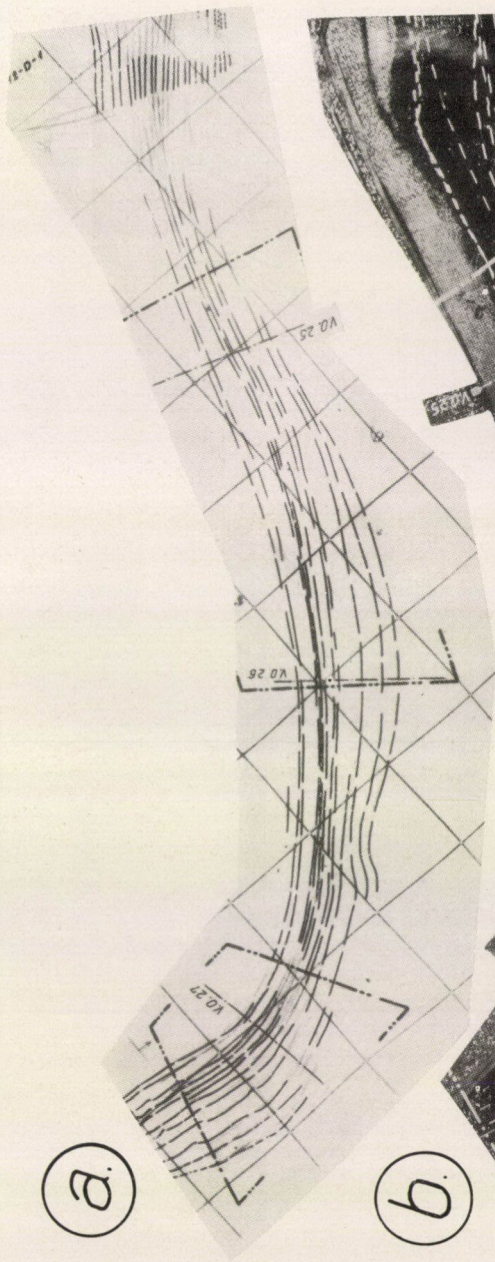
<i>Nádai, A.</i> : Theory of Flow and Fracture of Solids. Vol. 2. — A. Kaliszky	463
<i>Nemes, T.</i> : Kybernetische Maschinen — Frey, T.	464
<i>Emicke, O.</i> : Nomogramme für die Praxis des Warm- und Kaltwalzens von Stahl, Edeltählen und Nichteisenmetallen — A. Geleji	465
<i>Harvey, A. F.</i> : Microwave Engineering — E. Istvánffy	466
<i>Sors, L.</i> : Berechnung der Dauerfestigkeit von Maschinenteilen — Z. Terplán	467
<i>Bakondi, K.—Kardos, Á.</i> : Technologie des Maschinenbaues I. Zerspanung — A. Hornung	468
<i>Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering</i> , Budapest, September 24—27, 1963. — L. Varga	468
<i>G. Bürgermeister—H. Steub—H. Kretschmar</i> : Stabilitätslehre mit Erläuterungen zu den Knick- und Beulvorschriften, Teil II. — P. Csonka	469

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója

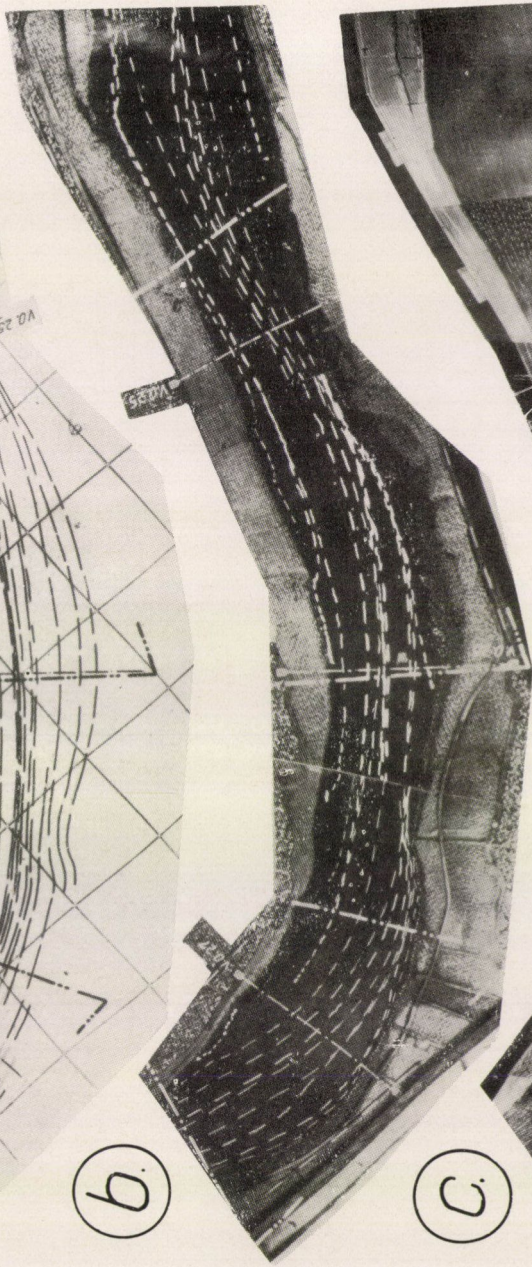
Műszaki szerkesztő: Farkas Sándor

A kézirat nyomdába érkezett: 1963. X. 9. — Terjedelem: 41,50 (A/5) ív, 154 ábra, 2 melléklet

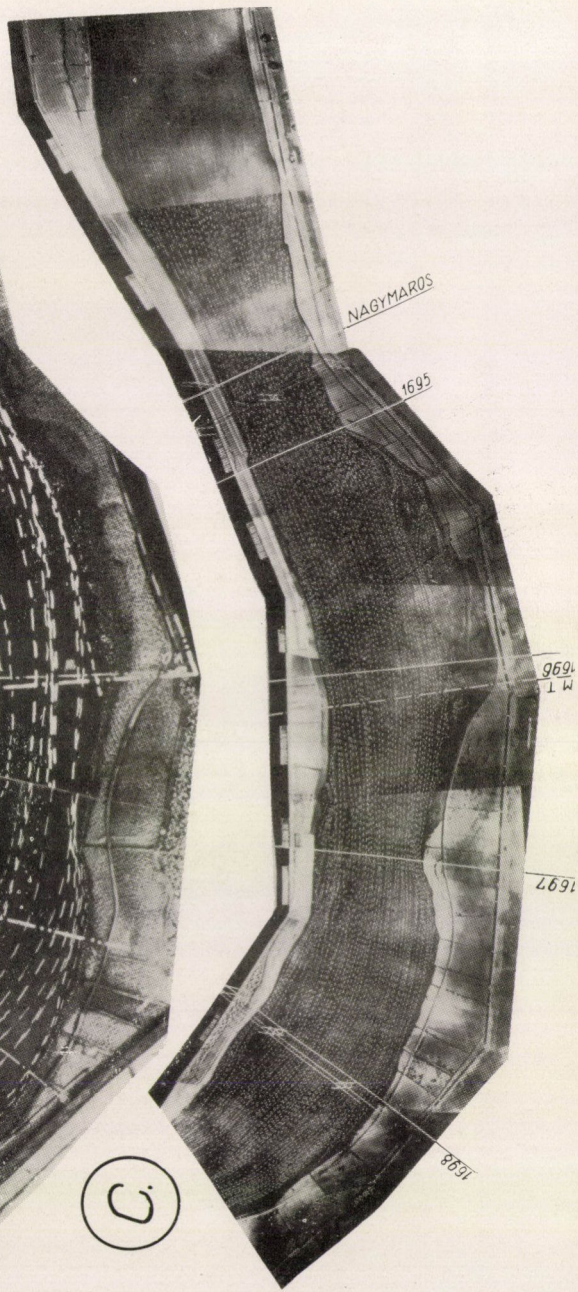
64.57832 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György



a.



b.



c.

