A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK

KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI

GELEJI SÁNDOR

38. KÖTET 1—2. SZÁM

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

1967

VI. OSZT. KÖZL.

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
GELEJI SÁNDOR

38. KÖTET 1–2. 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:

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

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Megjelent munkájáért minden szerzőt száz különnyomat 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 utca 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.

E 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.

TARTALOMJEGYZÉK

Csonka Pál: Czakó Adolf emléke egy emberöltő távlatából 3
Bosznay Á.—Csonka P.—Kozák I.—Szabó J.: A műszaki mechanikai kutatás hazai helyzetképe 5
Huszár István és Kovács István: Aszinkron motorok rövidrezárt szabad gyűrűs kalickarendszerének szilárdsági számítása, I 21
Rózsa Mihály: Körszimmetrikusan nyomott körgyűrű alakú lemezek stabilitásvizsgálata 33
Rózsa Mihály: Átmérőjének két végpontján nyomott szabad peremű körlemez stabilitásvizsgálata 49
Rédei István: Térbeli rácsostartók rúderőinek ellenőrzése 69
Pethő Szilveszter: Szemnagyságvizsgálati adatoknak szemcseeloszlási függvényekkel való leírása 89
Brodszky Dezső: 50 éves a légszívó sugárhajtómű magyar találmánya 99
Mészáros Lajos: Új módszer a szövetgeometriában 107
Horváth Imre: Levegőztető medencékben végbemenő oxigénfelvételi folyamatok modellezése 125
Matolcsy Mátyás: Statisztikai módszerek alkalmazása a varratgeometria hatásának vizsgálatához fárasztóvizsgálatokban 151
Csóka János: Belsőégésű motorokhoz nemlineáris elemmel kapcsolt rendszer torziós rezgéseiről 165
Csáki Frigyes: Optimális kaszkádszabályozók többváltozós folyamatos és szaggatott működésű, korlátozásos szabályozási rendszerekre 173
Szánthó E.: Rezgőmalmokban finomra őrölt őrlemények elváltozásairól 191
Csonka Pál: A feszültségfüggvény kerületi feltételei táblák és héjak szabad peremszakaszán 203
Barta József: Az egyenestengelyű körkeresztmetszetű rugalmas rúd csavarás okozta kihajlása 215
Csonka Pál: Körfurattal bíró vastagfalú prizmatikus rudak csavarása 221
Szilágyi István: Műszaki és ipartörténeti emlékeink védelme 241

KÖNYVSZEMLE

G. Johnson: Theory and Technique of Variation Research (Gillemot L.) 249
G. Johnson: The Statistical Treatment of Fatigue Experiments (Gillemot L.) 249
Hornung A.: A gazdaságos marás (Kazinczy L.) 250
K. Oswatitsch: Symposium Transsonicum Aachen (Gruber J.) 250
Yu Chen: Vibration Theoretical Methods (Bosznay Á.) 251
Betontechnische Berichte 1965 (Palotás L.) 251

INHALTSVERZEICHNIS

P. Csonka: Erinnerung an Prof. Adolf Czakó aus der Ferne einer Generation 3
Á. Bosznay—P. Csonka—I. Kozák—J. Szabó: Die gegenwärtige Lage der technisch-mechanischen Forschungtätigkeit in Ungarn 5
I. Huszár und I. Kovács: Festigkeitsrechnung des Kurzschluss-Freiringkäfigsystems von Asynchronmotoren 21
M. Rózsa: Stabilitätsuntersuchung der kreissymmetrisch gedrückten Ringplatten 33
M. Rózsa: Stabilitätsuntersuchung der an beiden Enden eines Durchmessers gedrückten Kreisplatte mit freiem Rand 49
I. Rédei: Kontrolle der Stabkräfte der räumlichen Fachwerkträger 69
Sz. Pethő: Beschreibung der Angaben von Körnungsuntersuchungen mit Hilfe der Kornverteilungskurven 89
D. Brodszky: Die fünfzigjährige ungarische Erfindung des Luftsaug-Strahltriebwerkes 99
L. Mészáros: Neue Methode in der Stoffgeometrie 107
I. Horváth: Modellierung der in den Lüftungsbecken stattfindenden Oxigenaufnahmeprozesse 125
M. Matolcsy: Anwendung von statistischen Methoden in Dauerversuchen zur Untersuchung der Auswirkung der Nahtgeometrie 151
J. Csóka: Beiträge zu den Torsionsschwingungen des zu den Verbrennungsmotoren durch nicht linearem Bestandteil gekuppelten Systems 165
F. Csáki: Optimal-Kaskadenregler für begrenzende Regelungssysteme von kontinuierlichen Betrieb mit mehreren Veränderlichen und vom diskontinuierlichen Betrieb 173
E. Szánthó: Veränderungen der in Schwingmühlen feingemahlten Mahlgüter 191
P. Csonka: Randbedingungen der Spannungsfunktion von Scheiben und Schalen längs ihrer ganz freien Ränder 203
J. Barta: Die durch Torsion hervorgerufene Knickung des geradachsigen, elastischen Rundstabes 215
P. Csonka: Torsion von prismatischen, dickwandigen Stäben mit axialer Kreisbohrung 221
I. Szilágyi: Schutz unserer technischen und industriegeschichtlichen Denkmäler 241

BUCHBESPRECHUNG

G. Johnson: Theory and Technique of Variation Research (L. Gillemot) 249
G. Johnson: The Statistical Treatment of Fatigue Experiments (L. Gillemot) 249
A. Hornung: A gazdaságos marás (Das wirtschaftliche Fräsen); CL. Kazinczy) 250
K. Oswatitsch: Symposium Transsonicum Aachen (J. Gruber) 250
Yu Chen: Vibration Theoretical Methods (Á. Bosznay) 251
Betontechnische Borichte 1965 (L. Palotás) 251

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK

KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI

GELEJI SÁNDOR

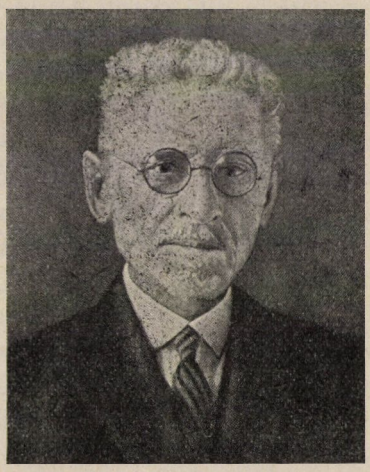
38. KÖTET

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

1967

VI. OSZT. KÖZL.

CZAKÓ ADOLF EMLÉKE EGY EMBERÖLTŐ TÁVLATÁBÓL



Huszonöt évvel ezelőtt, 1942. január 28-án távozott az élők sorából Czakó Adolf a József Műegyetem tudós professzora, a műszaki tudományok tiszteletbeli doktora.

1860. február 24-én született Pesten. Egyetemi tanulmányait Zürichben kezdte, majd Budapesten folytatta, hol 1884-ben mérnöki oklevelet szerzett. 1895-ben nevezték ki a budapesti Műegyetem rendkívüli tanárává, majd 1900-ban rendes tanárrá. 1895—98 közt a „Mérnöki Szerkezettani Tanszék"-nek, majd 1898-tól 1931-ig az általa szervezett „Alkalmazott Szilárdságtani Tanszék"-nek volt professzora. Közben éveken át volt a Műegyetem gépészmérnöki, valamint mérnöki és építészi osztályának dékánja, majdpedig a Műegyetem rektora.

Mint tanár a mérnökhallgatóságnak a „Hídépítéstan", a gépészmérnökhallgatóknak a „Grafosztatikai és vasszerkezetek", az építészhallgatóságnak pedig az „Alkalmazott Szilárdságtan", valamint a „Vas- és vasbetonszerkezetek" című tárgyakat adta elő.

Tanári tevékenységének legfontosabb ténykedése az építészhallgatóság szilárdságtani oktatása volt. Előadásaiban a statikát és szilárdságtant az épületszerkezeti alkalmazásokkal párhuzamosan tárgyalta. A tanítás hatásfokának növelésére tanszéke mellé kísérleti intézetet szervezett, amelyben az elméleti ismeretek megalapozásához szükséges alapvető kísérleteket előadásai közé iktatva mutatta be hallgatóinak. A laboratóriumi oktatásnak ez az általa meghonosított újfajta módszere alkalmat nyújtott hallgatóinak, hogy a szerkezeti anyagok különböző tulajdonságairól, valamint a teherhordó szerkezetek terhelés alatti viselkedéséről helyes képet alkossanak maguknak, s helyesen értékeljék azoknak az elváltozásoknak a jelentőségét, amelyek a szerkezeteken a törést megelőzően az igénybevétel különböző fázisaiban jelentkeznek.

A laboratóriumi előtanulmányokra támaszkodó, az élő-fejlődő gyakorlattal legszervesebb kapcsolatban álló, általa bevezetett oktatásmód, amely ennek ellenére sohasem tévesztette szem elől a szigorú tudományosság követelményeit, igen szerencsésnek és a szakoktatás más területein is utánzásra méltó példának bizonyult.

Mint egyetemi tanár, minden idejét az egyetemi oktatás színvonalának emelésére és hatékonyságának biztosítására fordította. Előadásaiban egyszerű szavakkal, de nem egyszer lángoló, szenvedélyes hangon fejtette ki gondolatait, kérdés-felelet formában vonva be az előadásba magát a hallgatóságot is. Előadásmódja rendkívül szuggesztív volt, magával ragadta hallgatóságát, amely vele együtt élte át a tárgyalt probléma megoldásának minden izgalmát. Előadás közben állandóan hallgatói tekintetét kémlelte, s csak akkor tért át valamely újabb fejezet tárgyalására, ha megbizonyosodott arról, hogy az előzőleg tárgyalt anyagot hallgatói teljesen átértették. Közismert kérlelhetetlen szigorúsága ellenére hallgatói tisztelték, s legkiválóbb oktató mesterüknek tekintették.

Idejének jelentős részét kis laboratóriumában töltötte, ahol saját maga kezelte a gépeket és gyöngybetűivel saját maga jegyezgette fel a kísérletek eredményeit. A tudós bizalmatlanságával, de éles megfigyelőképességgel elemezte a jelenségeket, s biztos ítélőképességgel vonta le a kísérletek tanulságait.

Életelemét a munka alkotta, s ezt követelte meg beosztottjaitól is. Már kora reggel ott volt az egyetemi könyvtárban, s hivatalából csak a késő esti órákban tért haza, magával víve esti tanulmányul a szakfolyóiratok legújabb számait. Sohasem pihent, nem ment szabadságra, az ünnepeket és vasárnapokat is dolgozószobájában szorgalmas munkával töltötte el.

A puritán egyszerűséget szerette, maga is egyszerű és közvetlen volt. Mindenütt és mindenben az igazságot kereste, és szenvedélyesen, fáradhatatlanul küzdött annak érvényesülése érdekében. Teljes odaadással támogatott minden közügyet és fanatikus lelkesedéssel minden törekvést, amely a magyar mérnöki kar hírnevét és becsületét öregbítette.

Czakó Adolf halála óta immár 25 esztendő telt el, de ez a 25 esztendő nem homályosította el emlékét, mely egyre fényesebbnek tűnik, s melyre mindenkor, mint tiszteletre méltó példára tekintenek fel azok, akik ismerték és szerették, akiket tanított és akik ma is az ő tanításait plántálják be a fiatal magyar mérnökgenerációk lelkébe.

Dr. Csonka Pál

A MŰSZAKI MECHANIKAI KUTATÁS HAZAI HELYZETKÉPE

KÉSZÍTETTE A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA MEGBÍZÁSÁBÓL

BOSZNAY ÁDÁM
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

CSONKA PÁL
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

KOZÁK IMRE
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

SZABÓ JÁNOS
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

TÁRGYALTA ÉS JÓVÁHAGYTA
AZ ILLETÉKES BIZOTTSÁGOK ELŐTERJESZTÉSE ALAPJÁN
A MÉRNÖKI, ÉPÍTÉSZETI ÉS KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI, ILLETŐLEG A GÉPÉSZETI ÉS KOHÁSZATI SZAKCSOPORTOK EGYÜTTES ÜLÉSE, 1966. DECEMBER 12-ÉN

I. Célkitűzés

A Magyar Tudományos Akadémia 1965. évi közgyűlésén hozott határozat szerint az Akadémia egyes osztályainak ki kell jelölniök azokat a legfontosabb tudományterületeket, amelyek a harmadik ötéves terv időszakában a népgazdaság leglényegesebb kutatásainak alapjául szolgálnak; ezekről helyzetképet kell készíteniök, a kutatás eddigi eredményeit értékelniök kell, és mindezek alapján meg kell határozniok, mely kutatásokra kell a mondott tervidőszakban az erőket összpontosítani.

A Műszaki Tudományok Osztálya az *elméleti és alkalmazott mechanika* tudományterületét jelölte meg legfontosabb tudományterületként, s megbízta az Osztály keretében működő Építéstudományi, valamint Gépészeti Akadémiai Bizottságot a fenti célt szolgáló helyzetkép elkészítésével.

Időközben az Akadémia Elnöksége és a Tudományos és Felsőoktatási Tanács a Kormány elé terjesztette javaslatát az akadémiai *Mechanikai Kutató Intézet* létesítésére, s a hazai adottságok figyelembevételével meghatározta az ottani kutatás főbb irányait. Az előterjesztés alapján a Műszaki Tudományok Osztályának Vezetősége kijelölte a jelen tanulmány elkészítésének szempontjait, megszabta, hogy e tanulmány azokon a főbb kutatási területeken fennálló hazai helyzetet elemezze, amelyeket a *Mechanikai Kutató Intézet* alapítására vonatkozó előterjesztés tartalmaz. Előírta továbbá, hogy a szóban forgó tanulmány a hazai és nemzetközi helyzet mérlegelése alapján készítsen tervezetet, mely útmutatásul szolgálhat az Intézet jövőbeli kutatási témáinak, illetve résztémáinak megállapításához.

Jelen tanulmány ennek a megbízásnak óhajt eleget tenni.

II. Tartalmi beosztás

A Műszaki Tudományok Osztályának megbízásából készített alábbi összeállítás a következő fejezetekre tagozódik.

1. Rugalmas és nem rugalmas (képlékeny, viszkózus stb.) anyagú rendszerek feszültségi és alakváltozási állapotának vizsgálata
   1.1. Rugalmasságtan
   1.2. Viszkoelaszticitástan
   1.3. Képlékenységtan
   1.4. Törési mechanika
   1.5. Stabilitáselmélet
   1.6. Méretezéselmélet
2. Modellanalízis
3. Szemcsés közegek mechanikája
4. Kinetika és kinematika
   4.1. Rezgéstan
   4.2. Nem-rezgéstani vonatkozású kinetikai és kinematikai kérdések.

III. Részletes elemzés

1. *Rugalmas és nem-rugalmas (képlékeny, viszkózus stb.) anyagú rendszerek feszültségi és alakváltozási állapotának vizsgálata*

1.1. Rugalmasságtan

A rugalmasságtan, vagyis a rugalmas szilárd testek feszültségi és alakváltozási viszonyait tárgyaló tudomány két fő részre oszlik; matematikai és technikai rugalmasságtanra.

A tudományterület kifejlődése a XIX. században indult meg. A nemzetközi téren folyó munkába hazánk kutatói csak a XX. század elején, de jelentősebben csak a két világháború között és főleg a második világháború után kapcsolódtak be. A tudományterület nagy kiterjedése és szerteágazó volta csak egyes részterületek hazai művelését tette lehetővé. Átfogó kutatómunka nem alakult ki, és nem jött létre határozott irányú különleges magyar iskola sem. Az egyetemi oktatás törekedett e tudományterület jelentősebb ismeretanyagának átadására, de a mérnökképzés jellegének megfelelően a legújabban feldolgozott területek eredményeit csak erős válogatás alapján volt képes az oktatási anyagban szerepeltetni. E vonatkozásban igen jelentős ismeretközlési lehetőséget teremtett a mérnöktovábbképző intézmények létrehozása, ami egyúttal a hézagos hazai irodalom sok hiányát legalábbis részben pótolhatóvá tette. A felszabadulás után a hazai könyvkiadás jelentős művekkel segítette a terület fejlődését. Ennek hatása kézzelfoghatóan mérhető a magyar szerzők publikációs tevékenységének megélénkülésén, amit az *Acta Technica* és más hazai folyóiratok — ha nem is teljesen — de jól tükröznek.

A hazai kutatásban nem választható el élesen a matematikai és technikai rugalmasságtan művelése, mert a legtöbb e területtel foglalkozó kutató mindkét ágon fejtett és fejt ki tevékenységet. Eredmények elsősorban a technikai

rugalmasságtan területén keletkeztek, mert az épületszerkezetek — különösen az acél- és vasbetonszerkezetek — fejlődése egyre bonyolultabb tartószerkezeti feladatok megoldását igényelte. A matematikai és technikai rugalmasságtan terén kutatott feladatok, eredmények és kutatások alábbi tömör felsorolása is jelzi, hogy döntően az alkalmazott mechanika terén bontakozott ki érdemleges tevékenység és ezért elsősorban a matematikai rugalmasságtan területén kell erélyes fejlesztéssel a nemzetközi színvonalhoz felzárkózni.

a) A matematikai rugalmasságtan területén végzett kutatómunka a következő kérdésekre terjedt ki:

A lineáris és nem-lineáris rugalmasságtan alapegyenletei;
a síkbeli feszültségállapot elemzése;
az egyszeresen vagy többszörösen összefüggő keresztmetszetű rudak de Saint-Venant-féle torziója;
egyenlőtlenségi relációk;
lemez- és héjelmélet;
a belső feszültségkoncentráció elmélete;
síkbeli feladatok parciális differenciálegyenleteivel kapcsolatos kerület-érték-feladatok.

b) A technikai rugalmasságtan terén jóval több eredmény jelzi a kutatói tevékenységet. A kutatás az egyenes- és görbetengelyű, állandó és változó merevségű *rudakra*, a síkbeli és térbeli *rúdszerkezetekre*, továbbá a *felületszerű szerkezetekre* egyaránt kiterjedt. Különösen az utóbbi téren mutatkoznak számottevő, nemzetközi vonatkozásban is jelentős hazai eredmények, ami azért is örvendetes, mert a technikai gyakorlatban: a mérnöki építészetben és — a hegesztés elterjedésével — a gépészetben is egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert a vastagságukhoz képest aránylag nagy kiterjedésű felületszerű szerkezetek (táblák, lemezek, héjak). Ezek a szerkezetek olyan térlefödési feladatok megoldását teszik lehetővé, melyek megvalósítása korábban teljesen lehetetlen volt, vagy igen nagy technikai nehézségekbe ütközött.

A felületszerű szerkezetek előtérbe nyomulása a mechanika vonatkozó fejezeteinek részletes kidolgozását tette szükségessé. Ámbár világszerte sok kutató foglalkozott és foglalkozik e szerkezetek elméletével, számos probléma eddig csak elvi megoldást nyert, s a gyakorlatban közvetlenül alkalmazható módszerek még csak kis számban kerültek kidolgozásra. Ezért igen örvendetes, hogy a hazai kutatómunka éppen ezen hiányosság felszámolására összpontosult. Hasonló a helyzet a felületszerű szerkezetek másik aránylag új területén, a függesztett hálók vizsgálata terén is, ahol a gyakorlati, numerikus eljárások kidolgozása hazánkban szintén örvendetes fejlődésnek indult.

A hazai kutatási eredmények a következő részterületekkel, ill. feladatokkal kapcsolatosak:

Állandó és változó keresztmetszetű rudak hajlítása, csavarása és külpontos nyomása;
nyomóerővel és hajlítóerővel egyidejűleg terhelt rudak alakváltozása;
merevítőgerendás ívhidak és függőhidak másodrendű elmélete;
többtámaszú tartók, keretek számítása (a különféle konvergenciagyorsító eljárásokat is ideértve);
rácsos tartók csavarása;
csavarásmentes és csavarásmerev tartórácsok;
jármű keretvázak és kocsiszekrények;
nagy deformációjú rugók;
sajtolással összeerősített forgórészek vizsgálata;
golyóscsapágygyűrűk megmunkálás-okozta deformációja;
ékhornyos tengelyek;
ortotrop és bordás lemezek;
szendvics lemezek;
többtámaszú körlemezek;
vegyipari készülékek;
csővezetékek és idomok;
tekercseléssel erősített nagynyomású edények;
kőzetbe ágyazott nyomócsövek és tartányok;
a héjelmélet általánosítása;
hengerhéjak egyszerűsített számítása;
kettősfalú körhengerhéjak;
transzlációs felületű héjak;
négyszögalaprajzú héjak;
oldalnyomásmentes ellipszisalaprajzú héjak;
szabadszélű hártyaszerű héjak;
összetett héjak;
peremerőkkel terhelt gömbhéjak;
elliptikus paraboloidhéjak;
negatív Gauss-görbületű gyűrűfelület alakú héjak;
csőkeresztek;
kötélhálók és függesztett szerkezetek (ezek másodrendű elmélete is);
merevített függőtetők.

1.2. Viszkoelaszticitástan

A vasbetonépítés fejlődése, valamint az újabban mindinkább előtérbe kerülő műanyagok szükségessé teszik a szilárdtestek időtényezőtől függő tulajdonságainak elméleti vizsgálatát. A viszkoelaszticitástan ezzel a kérdéssel foglalkozik.

Külföldön a kutatók széles tömegei — köztük a magyar származású

HETÉNYI — foglalkoznak idevágó vizsgálatokkal, s ezek a vizsgálatok — főleg a műanyagok területén — igen érdekes megállapításokra vezettek.

Hazánkban e témakörben a következő problémák kerültek feldolgozásra:

A viszkoelasztikus anyag alapegyenletei;
a szilárdtestek alapvető reológiai tulajdonságai;
a zsugorodás és kúszás hatása berepedt vasbetontartókra;
a kúszás hatásának számítása.

Viszkozitástannal foglalkozó hazai szakkönyvünk nincs.

1.3. Képlékenységtan

A képlékenységtan, vagyis a törés nélkül maradóan alakítható szilárdtestek feszültségi és alakváltozási állapotát tárgyaló tudomány két fő részre oszlik: matematikai és technikai képlékenységtanra.

a) A matematikai képlékenységtan viszonylag fiatal tudomány. Gyökerei ugyan a XIX. század második felébe nyúlnak vissza, alapvető összefüggéseit azonban csak e század első évtizedeiben állították fel, és így rendszeres művelése is csak ebben az időben kezdődhetett el. Az elért eredmények az elméleti alapok tisztázása ellenére a második világháborút megelőző időszakban aránylag csekélyek voltak.

A második világháború alatt és főleg utána a matematikai képlékenységtan — elsősorban a Szovjetunióban és az angolszász államokban — jelentős virágzásnak indult.

Hazánkban a matematikai képlékenységtan terén végzett kutatótevékenységet csupán néhány értekezés és dolgozat jelzi. A kutatóink által tárgyalt témák:

Az ideálisan rugalmas-képlékeny anyagú testek elmélete;
a képlékeny anyag dinamikai egyenletei;
a képlékeny hullám vizsgálata;
a körhengerhéj rugalmas-képlékeny alakváltozásai.

b) A technikai képlékenységtan alapelveit KAZINCZY GÁBOR fektette le (1914). Kísérletei és az ezek alapján tett megállapításai ma is alapjait képezik a teherviselő szerkezetek képlékenységtan szerint való számításának. Ezen alapokra támaszkodva az utóbbi három évtizedben főleg a szovjet, dán és amerikai kutatók kidolgozták a törési határállapot elméletét, amely lehetővé tette a technikai képlékenységtannak a különböző anyagú (acél-, vasbeton- stb.) és típusú (rúd-, lemez-, héj- stb.) szerkezetek tervezése terén való szélesebb körű alkalmazását.

Bár hazánkban a képlékenységtan területén nem alakult ki szervezett formában összefogott kutatógárda, különösen pedig iskola, a felszabadulást követően aránylag sokan foglalkoztak a technikai képlékenységtannak acél-

és vasbetonszerkezetekre, valamint a technológiai alakításokra való alkalmazásával. A művelt területek a következők:

Többtámasz tartók és keretszerkezetek;
vasbeton lemezek és héjak törésvonal-elmélete;
a hengerlés, sajtolás és hidegalakítás problémái;
a hengerlés munkaszükséglete és elmélete;
a Kármán-féle hengerlési elmélet továbbfejlesztése.

A felsorolt szakterületeken kifejtett munkát számos tanulmány és kutatási jelentés tanúsítja.

Annak ellenére, hogy a matematikai és technikai képlékenységtan alapelveinek megalkotásában a magyar tudósoknak nemzetközileg is elismerten kiemelkedő szerepük volt, az eredmények oktatása és ismertetése területén erősen el vagyunk maradva. A mérnökök oktatásában ezen tudományágak csak szórványosan, vagy egyáltalán nem szerepelnek, a fordításokon kívül összefoglaló jellegű könyv eddig magyar nyelven még nem jelent meg. A képlékenységtan oktatása csupán a Nehézipari Műszaki Egyetem egyes szakágazatain, valamint az egyetemi szakmérnökképzés keretében folyik rendszeres formában.

1.4. Törési mechanika

Az anyagok fáradásának és a szerkezetek rideg törésének korszerű vizsgálata a repedések kialakulásának és tovaterjedésének beható tanulmányozását teszi szükségessé. A feladat elméleti és kísérleti szempontból egyaránt igen nehéz, ezért megoldása nagy matematikai, illetve laboratóriumi felkészültséget igényel. Ez a magyarázata annak, hogy a műszaki mechanikának ezen az egészen új és még feltáratlan területén eddig nagyon kevés tanulmány látott napvilágot. Az elméleti dolgozatok kizárólag a matematikai szempontból aránylag egyszerűen tárgyalható pont- és tengelyszimmetrikus feladatokkal foglalkoznak (például: I. N. SNEDDON: Penny alakú repedés terjedése henger alakú testben), míg a kísérletek legnagyobb része a repedések lemez alakú próbatestekben való kialakulását vizsgálja (például: N. E. FROST, D. S. DUGDALE, W. WEIBULL, H. W. LIU, A. K. HEAD).

Hazánkban a törési mechanika területén még csak kezdeti eredmények mutatkoznak.

1.5. Stabilitáselmélet

A stabilitáselméletnek, azaz a szerkezetek egyensúlyának stabilitásával foglalkozó tudományágnak alapfeladatát, az egyenestengelyű rúd kihajlását először EULER vizsgálta (1744). Elméleti eredményei annak idején alig bírtak gyakorlati jelentőséggel, később azonban az acélépítészet elterjedésével — főleg egyes hídszerencsétlenségek nyomán — alapvető jelentőségre tettek szert.

A nagyobb szilárdságú szerkezeti anyagoknak a mérnöki szerkezetekben egyre fokozódó térhódítása a szerkezetek keresztmetszeti méreteinek (főként a vastagságnak) jelentős csökkenésére vezetett, ez pedig számos olyan stabilitási problémát vetett fel, mely a régebbi nagyobb falvastagságú szerkezeteken egyáltalán nem, vagy csak alig bírt jelentőséggel. Ez a körülmény a stabilitási problémákat, többek között a nem-konzervatív erőkkel terhelt szerkezetek problémáját, világszerte az érdeklődés homlokterébe állította.

A hazai kutatás a szerkezeti elemek és szerkezetek stabilitás vizsgálatával mindenkor a nemzetközi színvonalnak megfelelően foglalkozott. A magyar származású TETMAJER és KÁRMÁN nemzetközi jelentőségű szerepe közismert.

A hazai kutatók által egyes részterületeken feldolgozott témák tekintetében az alábbi felsorolás nyújt áttekintő képet.

a) R u d a k k i h a j l á s a . Az ezen a területen végzett hazai kutatómunka témái:

Külpontosan nyomott rudak kihajlása;
a plasztikus kihajlás elmélete;
heterogén anyagú rudak kihajlása;
változó keresztmetszetű rudak kihajlása;
a teljes hosszában rugalmasan befogott rúd kihajlása;
a csavarásra igénybevett rúd kihajlása;
rácsostartók nyomott övének kihajlása;
vékonyfalú rudak kihajlása.

b) K i b i c s a k l á s , k i f o r d u l á s . E témakört az előregyártott elemekkel történő építkezés tette aktuálissá, mint azt a feldolgozott témák jellege is mutatja:

A végein felfüggesztett gerenda stabilitása;
ferde kötelekkel emelt gerenda stabilitása;
a végein felfüggesztett, oldalirányban megtámasztott gerenda stabilitása;
az egy ponton felfüggesztett gerenda stabilitása;
acéltartók és héjívek kifordulása;
változó keresztmetszetű rudakkal bíró keretek stabilitása.

c) K e r e t s z e r k e z e t e k s t a b i l i t á s a . A vázas építészet elterjedése előtérbe állította a keretszerkezetek stabilitásproblémáját. Ezzel a kérdéscsoporttal külföldön igen kiterjedt irodalom foglalkozik. A keretek rugalmas kihajlására a pontos megoldásokon kívül (erőmódszer, mozgásmódszer) igen jól használható oly közelítő módszereket dolgoztak ki, melyek révén a keretszerkezetek stabilitásproblémája a rugalmasságtan keretén belül megoldottnak tekinthető. A keretszerkezetek képlékeny kihajlásának problémája azonban a kapcsolatos matematikai nehézségek miatt a gyakorlat szempontjából ma is még megoldatlannak tekinthető.

A hazai kutatók az alábbi témák feldolgozásával foglalkoztak:

Vasbeton rúdszerkezetek stabilitáskérdései;
változó keresztmetszetű rudakkal bíró keretek stabilitása;
iterációs eljárások keretek stabilitásvizsgálatára.

d) Ívek, körgyűrű alakú lemezek és nyomott övek stabilitása. E kérdés elméletével számos kutató foglalkozott eredményesen hazánkban. Jelentősek azok az eredeti méretű szerkezeteken lefolytatott hazai vizsgálatok is, melyekkel kutatóink nyitott alsópályás vasúti rácsos hidak felső övének kihajlását tanulmányozták.

e) Lemez- és héjszerkezetek kihajlása. A modern vékonyfalú acélszerkezetek kiterjedt alkalmazása előtérbe hozta a lemez- és héjszerkezetek horpadásának, kihajlásának kérdését is. E szerkezetek stabilitásvizsgálata még rugalmas anyag feltételezése esetében is igen bonyolult, képlékeny anyag esetében pedig még fokozottabban az. Ennek tudható be, hogy a stabilitáskérdés megoldásával foglalkozó elméleti vizsgálatok nem kielégítőek, ezért eredményeik lényegesen eltérnek a kísérleti eredményektől. Az eltérés főképp vasbetonhéjak esetében szembeszökő és mielőbb tisztázásra szorul.

A hazai kutatók a következő témákat dolgozták fel:

Lemezek horpadása általában;
kezdeti görbülettel bíró lemezek horpadása;
tömör acéltartó gerinclemezének horpadása;
körgyűrű alakú lemezek kihajlása;
süveghéjak kihajlása;
központosan nyomott héjívek stabilitása;
vékonyfalú héjívek kibicsaklása;
külpontosan nyomott héjívek stabilitása.

1.6. Méretezéselmélet

E tudományág a tartószerkezetek tönkremenetelének kérdéseivel foglalkozik. Ide tartozik egyrészt az optimális feltételeket biztosító méretezésnek, másrészt a valószínűségszámítási elven alapuló méretezésnek a kutatása.

a) Az optimális méretezésre irányuló próbálkozások messze időkre nyúlnak vissza. A legújabb irányzatot Rabinovics professzor széles körű munkássága alapozta meg. Hazánkban szintén felfigyeltek erre a kérdésre.

Kutatóink ezirányú tevékenységét az alábbi feldolgozott témák jelzik:

Gépalkatrészek optimális méretezése;
forgó tengelyek csapágyainak optimális elhelyezése;
hegesztett lemezes tartók optimális méretezése;

vasbeton többtámaszú tartók és keretszerkezetek optimális méretezése; vasbetonlemezek és héjszerkezetek optimális méretezése.

b) A valószínűségelméleten alapuló méretezés a terhek eloszlásfüggvénye és a keresztmetszeti méretek szórása alapján matematikai eszközökkel határozza meg a szerkezetek tönkremenetelének valószínűségét, és ezt figyelembe véve a szerkezet előirányzott élettartamát összhangba hozza a szerkezet fontosságának megfelelően megállapítható kockázattal. A vizsgálat egyaránt történhetik statikai és dinamikai alapon.

A hazai kutatók nagy érdeklődéssel foglalkoznak a valószínűségelméleten alapuló méretezés problémáival, amit az általuk feldolgozott alábbi témák is jeleznek:

Járműterhelések vizsgálatának elméleti alapjai;
járművek élettartamának analízise;
tartószerkezetek valószínűségszámítási alapon történő méretezése.

2. *Modellanalízis*

Számos mérnöki szerkezet szilárdságtani vizsgálata a szerkezet bonyolult alakja vagy viselkedése miatt elméleti úton nem végezhető el. Ilyen esetekben elméleti vizsgálatok helyett modelleken végzett kísérleti vizsgálatokra vagyunk utalva.

Külföldön az oktató- és kutatóintézetek általában kitűnően felszerelt modell-laboratóriumokkal rendelkeznek. Ezek a laboratóriumok komoly segítséget jelentenek a szerkezetek erőjátékának, valamint tönkremeneteli módjának megismerésében, s az oktatásnak is nélkülözhetetlen segédeszközei. Számos külföldi egyetemen a hallgatóság részére a modell-laboratóriumi munka kötelező. A modellanalízis különféle módszereit többek között a magyar származású Nádai és HeténYI világszerte ismert könyvei ismertetik.

Hazánkban több egyetemi tanszéknek, illetve kutatóintézetnek van fotoelasztikus vizsgálatok céljaira szolgáló laboratóriuma, de azok felszerelése általában elégtelen.

3. *Szemcsés közegek mechanikája*

A szemcsés közegek mechanikájával foglalkozó tudomány a jelenségek leírására különféle anyagmodelleket feltételez. A talajok alakváltozását, valamint az építmények süllyedését rugalmasságtani alapon végzi, a rézsűk állékonyságát, továbbá az alaptest alatti talajtörés módozatait viszont képlékenységtani módszerekkel elemzi. A legújabb irányzat a szemcsés közeg mozgási állapotát annak sajátos tulajdonságaiból vezeti le. A hazai kutatás — főleg a Jáky József körül kialakult iskola révén — kezdettől fogva értékes ered-

ményekre hivatkozhat. A szemcsés közegek mechanikája viszonylag hamar illő helyet kapott az egyetemi oktatásban is.

a) A rugalmasságtannak a szemcsés közegekre való alkalmazása terén a hazai kutatás elméleti és gyakorlati vonatkozásban az alábbi kérdésekkel foglalkozott:

Egyes talajmechanikai szempontból fontos kerületérték feladatok megoldása;
többrétegű rendszerek vizsgálata;
mélyített alapsíkokra ható terhelések vizsgálata.

b) A képlékenységtannak a szemcsés közegek mechanikájában kezdettől fogva kiemelkedő fontossága volt. A hazai kutatás ezen a téren lépést tartott a tudomány fejlődésével és jelentős eredményekről és sikerekről számolhat be.

A feldolgozott témák közül nevezetesebbek a következők:

A támfalra ható nyomás számítása;
összetett csúszólapok alkalmazása a földnyomás elméletében;
tökéletesen képlékeny földtömeg egyensúlyának egzakt meghatározása;
rézsűk állékonyságának, a dúcnyomásnak, a silónyomásnak közelítő meghatározása;
rézsűk biztonsági tényezőjének meghatározása;
földnyomás és talajmozgás összefüggése;
súlytalan közegek határegyensúlya;
a tökéletesen képlékeny földtömegek nyomásproblémája;
sávalapok teherbírása;
rugalmas ágyazású szerkezetekben fellépő erők meghatározása.

c) A szemcsés közegek sajátos elméletével való foglalkozás világszerte csak a legutóbbi években indult meg. Ebben az elméletben a szemcsés közegeket már nem tekintik kontinuumnak, hanem véges méretű részecskék halmazának. Megállapítást nyert, hogy a kinetikus folyadékelmélet számos törvénye szemcsés közegekre is közvetlenül alkalmazható. Az új elvek alapján közvetlenül kifejezhető a nyírószilárdság, valamint az összenyomódás időbeli lefolyása és felírható a szemcsés közegek állapotegyenlete.

A hazai kutatás fontosabb eredményei:

A talajfizika új alapjai;
a feszültségi állapot különféle problémái;
a konszolidáció elméleti vizsgálata;
telítettségi küszöbérték meghatározása víz- és levegőáramlás esetében;
szűrési problémák;
a kapilláris vízmozgás vizsgálata.

4. *Kinetika és kinematika*

4.1. Rezgéstan

A különféle rezgésproblémák a gépipar fejlődésével és a könnyűszerkezetek elterjedésével kapcsolatban egyre jelentősebb helyet foglalnak el a mechanikában. Ezek a kérdések gépészet terén döntőek, de a mérnöki létesítmények (hidak, kémények, antennák, turbina- és gépalapok stb.) vonalán is komoly figyelmet érdemelnek.

Külföldön a rezgéskérdéseknek rendkívül kiterjedt irodalmuk van, és számos összefoglaló mű foglalkozik e feladatkör elméleti és gyakorlati vonatkozásaival.

Hazánkban az építőmérnöki létesítmények rezgésproblémáival foglalkozó irodalom a második világháborút megelőző időszakban aránylag szűk terjedelmű volt. Hasonló volt a gépészeti jellegű rezgésfeladatokkal kapcsolatos kép is ebben az időszakban. Szinte egyedül a PATTANTYUS Á. GÉZA által szerkesztett Gépészeti Zsebkönyv és a HERMANN MIKSA által írt Gépelemek c. könyv lengéstani részei alkották ebben az időben a gépészmérnöki feladatokat szem előtt tartó magyar nyelvű lengéstani irodalmat.

Újabban a hazai kutatásnak lendületet adott a Budapesten 1963-ban megrendezett nemzetközi építésdinamikai szimpozium.

A hazai kutatás a következő témák megoldására irányult:

a) Az építési mechanika területén:

Tornyok, magasházak sajátrezgései;
épületek vizsgálata dinamikus hatásokra;
vasbetonépületek rezgésszámításának megbízhatósága;
a kalapácsgépek alaptestén fellépő erők s az ott számításba veendő dinamikus tényező;
gépalapok rezgésproblémái;
gerendák, oszlopok ütőteherre való méretezése;
axiális erővel terhelt rudak rezgései;
kötélhidak sajátrezgései;
függőhidak és gerendák lökésszerű terhelésre keletkező igénybevételeinek meghatározása;
távvezetékek rezgései;
rezgések hatása épületekre és emberekre.

b) A gépész- és villamosmérnöki mechanika területén:

Adott sajátfrekvenciákkal bíró rendszer szintézise;
a rezgésmérés problémája;

szerszámgépek lengésvizsgálata;
drótkötélfonógépek kritikus rezgései;
szövőgépek mechanikai rezgései;
nem-lineáris rezgésekkel kapcsolatos elméleti problémák;
golyóscsapágyak rezgésproblémái;
közúti és vasúti járművek rezgései;
repülőgépek dinamikus stabilitásának vizsgálata;
helikopterek dinamikai stabilitása;
hullámos lemezek rezgése;
a fékberázódás vizsgálata;
a könyökös tengely torziós rezgésének vizsgálata;
a torziós rezgés csillapítójának méretezése;
véges szabadságfokú lengőrendszerek transzformálása;
csillapított rendszerek gerjesztett lengésének vizsgálata.

4.2. Nem-rezgéstani vonatkozású kinetikai és kinematikai kérdések

E témacsoport keretében azok a kinetikába és kinematikába sorolható munkák kerülnek említésre, amelyeknek nem kizárólagosan (vagy egyáltalán nem) céljuk rezgéstani vizsgálat végzése.

Elméleti kinetikával a felszabadulás előtt hazánkban alig néhányan foglalkoztak. Örvendetes viszont, hogy a mechanizmusok kinetikájában és kinematikájában a legutóbbi tíz évben egyre erőteljesebb fejlődés van kibontakozóban. Ebben a tárgykörben a Nehézipari Műszaki Egyetemen több hazai és nemzetközi konferenciát is rendeztek.

A kinetika és kinematika terén kutatóink az alábbi főbb problémákkal foglalkoztak:

Kinetikai rendszerek Lagrange-függvényével kapcsolatos elméleti kérdések;
mechanizmusok osztályozásának kérdései;
hajtóművek méretezése minimális lendületveszteségre;
közelítő és egzakt grafikus módszerek kialakítása mechanizmusok vizsgálatára;
mechanizmusok viselkedése egyszeres vagy többszörös holtpont környezetében;
kis helyszükségletű mechanizmusok tervezése;
a szerszámgépek mozgásleképző tulajdonságainak analízise;
bolygóművek vizsgálata;
fogazott kerekek gyártásával kapcsolatos kinematikai feladatok;
súrlódás tekintetbe vétele a mechanizmusok dinamikájában;
tömegkiegyensúlyozási feladatok.

IV. Irányelvek

A műszaki mechanikai kutatás fentiekben összeállított helyzetképe az érintett területen jelenleg hazánkban folyó kutatásról és annak eredményeiről számol csak be, de nem nyújt tájékoztatót arra nézve, hogy a nemzetközi vonalon hol és milyen irányú kutatómunka folyik, és attól hol és mily mértékben vagyunk elmaradva. Ez utóbbi körülmény felderítése a tudományterület gazdag és rendkívül szerteágazó volta miatt szinte nem is lehetséges, de vizsgálata nem is szolgálta volna a kívánt célt, mert a nálunk nem kutatott területek puszta felsorolása nem nyújtana alapot a hiányosság felszámolását célzó javaslathoz. Egy ilyen javaslat érvényesítésének egyébként sincsenek meg sem személyi, sem tárgyi előfeltételei. De a műszaki mechanikának teljes szélességben való hazai kutatása — számolva a fejlődő nemzetközi együttműködéssel — egyébként is felesleges, nem is szólva arról, hogy a műszaki mechanika egyes területein érdemleges kutatás csupán több éves, sőt évtizedes előkészítő munka után volna csak lehetséges.

A fent kifejtettek értelmében a hazai műszaki mechanikai kutatás továbbfejlesztésekor elsősorban csak a meglevő szakemberekre lehet építeni, és ő körülöttük kell — a már művelés alá vont területek helyes fejlesztését célul tűzve és a fiatal kutatógárda hatékony bekapcsolásával — csoportokat, iskolákat kiépíteni.

Épp ezért a fejlesztésnek elsősorban nem új kutatási területek megnyitását, hanem a meglevő kutatási tevékenység jobb összehangolását és az összefüggő témák területén levő hézagok megszüntetését kell céloznia. Egyúttal pótolnia kell azt a hiányosságot is, amely a műszaki mechanikának nemzetközileg megfigyelhető erős matematikai bázisa tekintetében nálunk észlelhető.

V. Javaslatok

5.1. A műszaki mechanika tudományos szakember-utánpótlásának tervszerű biztosítása érdekében gondoskodni kell:

a) a műszaki egyetemek oktatási programjában a Nehézipari Műszaki Egyetemen kialakított formához hasonlóan a
Matematikai rugalmasságtan,
Képlékenységtan és
Rezgéstan
című tárgyak rendszeres oktatásáról és az ezen témák iránt érdeklődő kislétszámú hallgatóság részére az e területeket felölelő diploma kiadásának előfeltételeiről;

b) külföldi ösztöndíjak, aspirantúrák, egy-két éves külföldi tanulmány-

utak szervezéséről, és a kandidátusi fokozat megszerzésének a vázolt kutatási célok szolgálatába állításáról;

c) eredeti magyar nyelvű könyvek vagy könyvfordítások kiadásáról.

5.2. A műszaki mechanikai kutatás matematikai alapjainak erősítése érdekében gondoskodni kell:

a) Szorosabb kapcsolat kiépítéséről a Magyar Tudományos Akadémia III. (Matematikai és Fizikai Tudományok) Osztályával annak érdekében, hogy a külföldi tapasztalatoknak megfelelően idehaza is a matematikai intézetek az eddiginél behatóbban foglalkozzanak mechanikai vonatkozású matematikai kutatómunkával;

b) a mechanikai kutatás igényeit szolgáló korszerű, programvezérlésű elektronikus számológépekről abból a felismerésből kiindulólag, hogy a számítás numerikus módszere egyre erősebb befolyást gyakorol a modell vizsgálatakor alkalmazott matematikai apparátusra, sőt magára a modellalkotásra is;

c) a kutatási eredmények kritikai értékeléséről, valamint azok alkalmazási feltételeinek szabatos körülhatárolásáról.

5.3. Az elméleti és kísérleti alapon nyugvó kutatómunkát a helyzetképben felsoroltak kiegészítéseként a következő területekre kívánatos kiterjeszteni:

a) Rugalmasságtan:
A matematikai rugalmasságtan klasszikus és modern fejezetei;
a két és három méretű kontinuumok feszültségi, alakváltozási és mozgási állapotának elemzése;
a többszörösen összefüggő tartományok síkbeli feszültségi állapotának elemzése, figyelembe véve a szingularitásokat;
a vékonyfalú szerkezeti elemek vizsgálata.

b) Viszkoelaszticitás:
Az alapvető összefüggések kutatása.

c) Képlékenységtan:
A forgácsolásnélküli megmunkálást elősegítő kutatás;
a képlékeny és keményedő anyagokkal kapcsolatos kutatás (különös tekintettel az alumínium ötvözetek várható elterjedésére).

d) Törési mechanika:
A repedések kialakulásának és továterjedésének elméleti és laboratóriumi vizsgálata.

e) Stabilitáselmélet:
Az izotrop és anizotrop héjszerkezetek stabilitása;
a fizikailag nem-lineáris szerkezeti elemek egyensúlyának stabilitása;
a nem-konzervatív erőkkel terhelt szerkezetek stabilitása.

f) Modellanalízis:
Kísérleti feszültséganalízis.

g) Szemcsés közegek mechanikája:
Szemcsés közegek törési és alakváltozási feltételeinek kutatása;
többfázisú rendszerek törés-, alakváltozás- és feszültségállapotának, valamint az egyes fázisok kölcsönös elmozdulásainak kutatása;
az összetett földnyomási feladatok elméleti és kísérleti kutatása;
a szemcsés közegek dinamikus tulajdonságainak és viselkedésének vizsgálata.

h) Kinetika és kinematika:
A mechanizmusok analízise és szintézise, továbbá azok osztályozása;
a giroszkopikus (azaz az általánosított sebességektől függő, zérus virtuális munkájú erőket tartalmazó) rendszerek analízise és szintézise;
az egyszerű és összetett szerkezetek rezgéseinek analízise és szintézise (sajátfrekvenciák, állandósult rezgések, nem-lineáris jelenségek);
egyensúlyi és mozgási stabilitásproblémák, különös tekintettel a nemkonzervatív hatásokra és különleges anyagokra;
a kontinuumok és diszkrét rendszerek dinamikájának általános és elvi kérdései, valamint a két modelltípus elemző összehasonlítása;
az anyagegyenletek szélső esetekben is érvényes, általánosan lehetséges konkrét formáinak kutatása dinamikai jelenségek vizsgálata útján.

5.4. A tudományos kutatás bázisának szélesítése érdekében szükséges intézkedések:

a) Szervezett együttműködés megteremtése a rokonterületen működő hazai ipari kutatóintézetekkel és egyéb kutatóhelyekkel;
b) szoros kapcsolat kiépítése a külföldi — elsősorban a baráti államokban működő — kutatószervekkel;
c) tevőleges részvétel biztosítása a különböző nemzetközi tudományos szervezetek munkájában;
d) rendszeres együttműködés a társterületekkel — elsősorban a matematika, anyagtan, geotechnika, gépszerkesztés és mechanikai technológia vonatkozásában;
e) tudományos ankétok, szimpóziumok, akadémiai felolvasó ülések, tanfolyamok szervezése — a társadalmi és tudományos egyesületekkel karöltve.

ASZINKRON MOTOROK RÖVIDREZÁRT SZABAD GYŰRŰS KALICKARENDSZERÉNEK SZILÁRDSÁGI SZÁMÍTÁSA, I

HUSZÁR ISTVÁN, a műszaki tudományok kandidátusa és KOVÁCS ISTVÁN
GANZ VILLAMOSSÁGI MŰVEK, BUDAPEST

[Beérkezett 1964. május 21-én]

1. Bevezetés

Rövidrezárt indukciós motorok indítási viszonyainak javítására áramkiszorítós forgórészt vagy kétkalickás megoldást alkalmaznak.

Az előbbit hornyonként egyetlen vezetővel képezik ki, ahol a keskeny méretű rudakban indításnál az áram mintegy kiszorul a kerület felé (1. ábra). Ez a vezető ellenállásának növelésével egyenértékű hatást jelent, ami a fordulatszám emelkedésével fokozatosan lecsökkenve, az üzemi fordulaton megszűnik. A kétkalickás forgórésznél e jelenség határozottan szétválik (2. ábra). A külső kalickák terhelődnek jobban az induláskor, majd a fordulatszám növekedésével fokozatosan átveszik a terhet a belső rudak is.

Kisebb gépeknél szokásos megoldás az, hogy a vezetőket és a rövidzáró gyűrűt is alumíniumból készítik kiöntéssel. Nagyobb gépeknél viszont réz-, sárgaréz-, bronz- vagy alumíniumbronzanyagot használnak fel és a forgórészbe betolt rudakat keményen forrasztják a rövidzáró gyűrűkhöz [1].

A forrasztás erős helyi melegedéssel jár. Emiatt jelentős feszültségek léphetnek fel, amelyek meg nem engedett maradó deformációt, törést okozhatnak. Ezért és a későbbiekben tárgyalt üzemi feltételek miatt is, nagyobb gépeknél a rövidrezáró gyűrűt a vastesttől néhány cm távolságra helyezik el és így a rendszert deformábilisabbá teszik (1. és 2. ábra). Esetleg a rudakat az alkotóhoz képest meghajlítják, hogy ezáltal további rugalmasságot érjenek el.

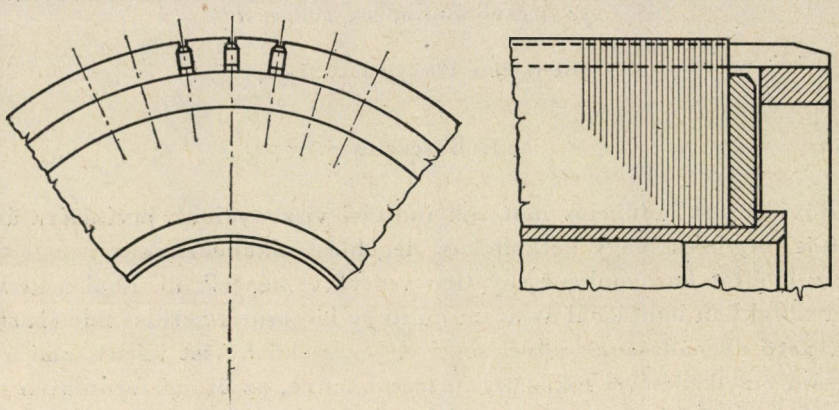
Kis kerületi sebességnél a rövidrezáró gyűrűk szabadon vannak, azaz csupán a rudakkal való kapcsolat tartja őket. Nagyobb sebességek esetén viszont a gyűrűket a tengelyre — általában a bordákra — illesztik fel (3. ábra) a mechanikai szilárdság fokozása céljából sokszor több részre osztott kialakítással.

II. Az erőjáték tisztázása

A rúd és a gyűrű kapcsolatát a 4. ábra tünteti fel. Minthogy a rudak és a gyűrű rendszere statikailag határozatlan, abból indulunk ki, hogy a rudak a gyűrűvel együtt mozdulnak, illetve fordulnak el minden körülmények között.

A két elemet egymástól különválasztva mutatja az 5a. ábra, valamely állapotnak megfelelően pedig együtt tünteti fel az 5b. ábra.

A kapcsolat helyén fellépő erőrendszer egy nyomatékból (M) és egy erőből (Q) áll, melyeket az ábrákon is berajzoltunk, feltüntetve egyidejűleg a pozitív irányokat az ott szereplő mennyiségekre nézve.

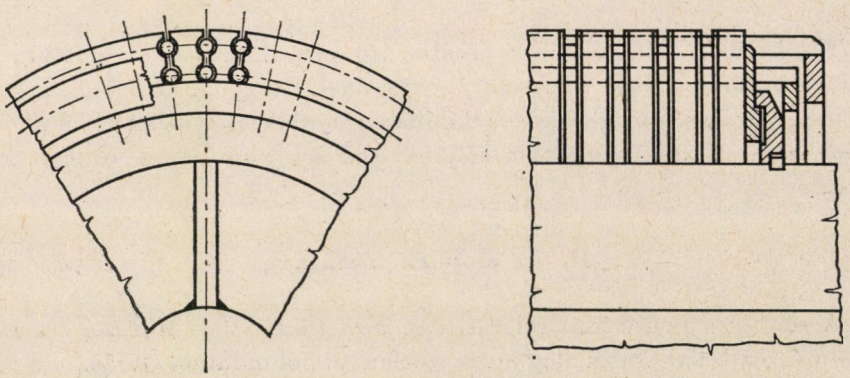


1. ábra

Célszerű az erőjátékot a gépre jellemző állapotokban külön-külön meghatározni. Ennek megfelelően először a szerelés utáni helyzetet tisztázzuk majd a gép forgásakor jelentkező viszonyokkal foglalkozunk, végül az indításoknál fellépő melegedés hatását vesszük figyelembe. Csak ezek után lehet a gép üzemében előforduló legkritikusabb állapotot követnünk.

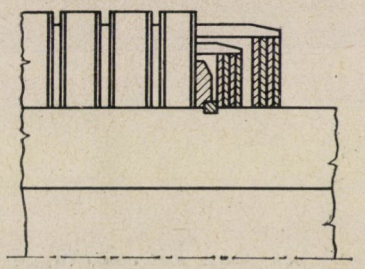
1. Szerelés

Szereléskor, vagyis a rövidrezáró gyűrűnek a rudakhoz való forrasztásakor már keletkezik egy (Q_0; M_0) nagyságú erőrendszer, mert a méretre elkészí-

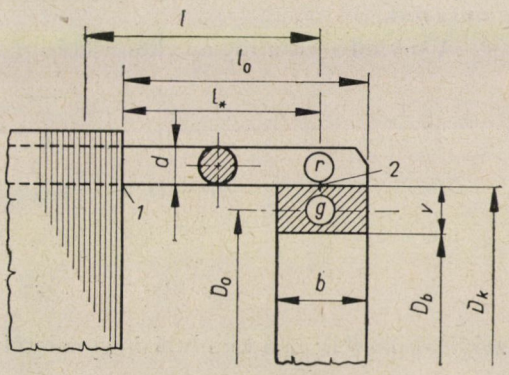


2. ábra

tett gyűrű külső átmérője és a rudak középátmérői általában valamilyen fedéssel vagy játékkal kapcsolódnak össze [2]. Jelölésére a 0 indexet használjuk. Ezt az állapotot y_{rg}-érték jellemzi.



3. ábra



4. ábra

A gyártásból adódó y_{rg} hézaggal (ha fedés van $y_{rg} < 0$) számolva, felírhatjuk az elmozdulások azonosságát (5b. ábra):

$$y_{ro} = y_{go} .$$

Részletesebben pedig

$$y_{rg} - c_{rQ} Q_o - c_{rM} M_o = c_{gQ} Q_o + c_{gM} M_o .$$

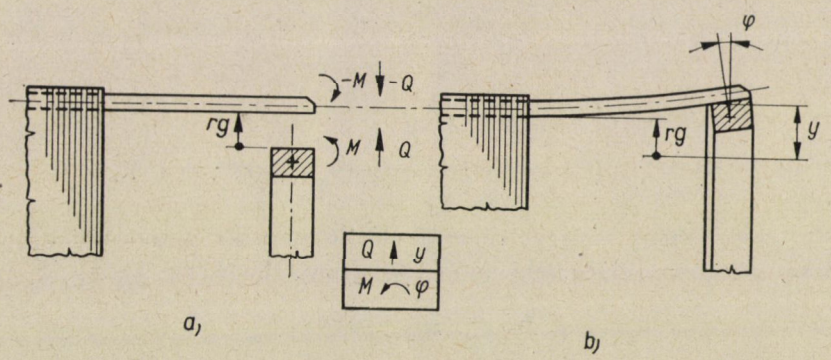
Hasonlóan az elfordulásokra

$$\varphi_{ro} = \varphi_{go} ,$$

illetve

$$- \gamma_{rQ} Q_o - \gamma_{rM} M_o = \gamma_{gQ} Q_o + \gamma_{gM} M_o .$$

Az egyes tagok az M_0 és Q_0 erők hatására létrejövő deformációkat jelentik. A g a gyűrűre vonatkozó index, r a rudat jelzi, c és γ az egyes rugóállandók.



5. ábra

A felírt két összefüggésből közvetlenül kiadódnak a Q_0 és M_0 értékei, feltéve, hogy az egyes rugóállandókat ismerjük. Ezeknek a — csupán geometriai adatoktól és anyagjellemzőktől függő állandóknak — kiszámítását később bemutatjuk.

A további számítás megkönnyítésére vezessük be a következő jelöléseket:

$$B = c_{rQ} + c_{gQ},$$
$$F = c_{rM} + c_{gM},$$
$$H = -\gamma_{rQ} - \gamma_{gQ},$$
$$J = -(\gamma_{rM} + \gamma_{gM}),$$
$$K_o = -y_{rg}.$$

Ezek alapján felírva a kiindulási egyenleteket, rendezés után két összefüggést nyerünk:

$$BQ_o + FM_o + K_o = 0,$$
$$HQ_o + JM_o = 0.$$

Az egyenletek megoldása szolgáltatja a szereléskor fellépő erőket

$$Q_o = \frac{-JK_o}{BJ - FH},$$
$$M_o = \frac{HK_o}{BJ - FH}.$$

2. *Forgás*

Feltételezzük, hogy a kalickarendszer szerelése erőmentesen történt, azaz $y_{rg} = 0$ volt. A megfelelő deformációs összefüggések

$$y_{r\omega} = y_{g\omega}, \text{ ill. } \varphi_{r\omega}, = \varphi_{g\omega},$$

amelyet részletezve

$$c_{rc}\,\omega^2 - c_{rQ}\,Q_\omega - c_{rM}\,M_\omega = c_{gc}\,\omega^2 + c_{gQ}\,Q_\omega + c_{gM}\,M_\omega,$$

illetve

$$\gamma_{rc}\,\omega^2 - \gamma_{rQ}\,Q_\omega - \gamma_{rM}\,M_\omega = \gamma_{gc}\,\omega^2 + \gamma_{gQ}\,Q_\omega + \gamma_{gM}\,M_\omega.$$

Itt az első tagok a forgás kapcsán előálló szabad deformációkat jelentik, amelyeket célszerű ω^2-re érzékelhetően kifejezni. Bevezetve a

$$K_\omega = (c_{gc} - c_{rc})\,\omega^2,$$

és

$$L = \gamma_{rc}\,\omega^2$$

jelöléseket, az egyenletek rendezés után a

$$BQ_\omega + FM_\omega + K_\omega = 0\,,$$
$$HQ_\omega + JM_\omega + L = 0$$

alakot veszik fel, amelyekből

$$Q_\omega = \frac{FL - JK_\omega}{BJ - FH},$$

$$M_\omega = \frac{HK_\omega - BL}{BJ - FH}.$$

3. *Melegedés*

Ismét feltételezzük, hogy $y_{rg} = 0$. A deformációs összefüggések most

$$y_{r\vartheta} = y_{g\vartheta} \text{ és } \varphi_{r\vartheta} = \varphi_{g\vartheta},$$

azaz

$$\alpha_v \frac{D_o}{2}\vartheta_v - c_{rQ}\,Q_\vartheta - c_{rM}\,M_\vartheta = \alpha_g \frac{D_o}{2}\vartheta_g + c_{gQ}\,Q_\vartheta + c_{gM}\,M_\vartheta,$$

illetve

$$-\gamma_{rQ}\,Q_\vartheta - \gamma_{rM}\,M_\vartheta = \gamma_{gQ}\,Q_\vartheta + \gamma_{gM}\,M_\vartheta\,.$$

Az első egyenletben szereplő első tagok a hő okozta szabad elmozdulást jelentik sugárirányban, ahol a gyűrű, illetve a vastest felmelegedését ϑ_g, ill. ϑ_v-vel, a hőtágulási együtthatókat pedig α_g és α_v-vel jelöltük. A

$$K_\vartheta = \alpha_g \frac{D_o}{2}\vartheta_g - \alpha_v \frac{D_o}{2}\vartheta_v$$

jelölést használva és az egyenletet rendezve

$$BQ_\vartheta + FM_\vartheta + K_\vartheta = 0\,,$$
$$HQ_\vartheta + JM_\vartheta = 0\,.$$

Így

$$Q_\vartheta = \frac{-JK_\vartheta}{BJ - FH},$$

és

$$M_\vartheta = \frac{HK_\vartheta}{BJ - FH}.$$

4. *Üzemi állapotok*

a) *Álló állapot:* Azonos a tárgyalt szerelési állapottal (Q_0; M_0).

b) *Pörgetés:* A gép gyártásának befejeztével próbatermi vizsgálatoknak lesz alátéve. Egy ilyen vizsgálat a pörgetés, amelynek során az üzemi fordulatnál nagyobb fordulatszámon forgatják terheletlen állapotban. Jelölésére az ω_{max} indexet vezetjük be. Most az erőket a szerelésre és forgásra vonatkozóak szerint külön-külön számíthatjuk ki (ω helyébe a pörgetésnek megfelelő ω_{max}-ot kell beírni), majd egyszerű összegezéssel nyerjük az eredő igénybevételeket ($Q_0 + Q_{\omega max}$; $M_0 + M_{\omega max}$).

c) *Leállás:* Induláskor a tranziens idő leteltéig a szerelési állapot megváltozik a rendszer felmelegedése miatt [3, 4]. A melegedés mértéke függ a gép terhelésétől, az indulási viszonyoktól, azok ismétlődésétől. Tapasztalat szerint a melegedési hőfok 100—200 °C között változik. Az egyik kritikus üzemi állapotot éppen az jelenti, hogy az induláskor felmelegedett gép leáll. Jelölésére a ϑ_{max}-indexet használjuk. Az erőket ilyenkor a szerelésre és a melegedésre mondottak szerint számítjuk külön-külön (ϑ túlmelegedés helyébe természetesen ϑ_{max} értéket helyettesítve), majd összegezéssel kapjuk az eredő terheléseket ($Q_0 + Q_{\vartheta max}$; $M_0 + M_{\vartheta max}$).

d) *Normális üzem:* A kalickarendszer túlmelegedése a stacionárius állapotnak megfelelő érték, fordulatszáma pedig az üzemi fordulatszám. A megfelelő erőket szuperpozícióval nyerjük a 0, ϑ és ω indexekkel jelölt terhelésekből ($Q_0 + Q_\vartheta + Q_\omega$; $M_0 + M_\vartheta + M_\omega$).

e) *Veszélyes állapot:* Végül a kritikus üzemet az jellemzi, hogy a felmelegedés és forgás együtt jelentkezik, mégpedig induláskor (esetleg többszöri irányváltozáskor) szélső esetekben ϑ_{max} a felmelegedés, az üzemi átlagos ϑ-val szemben. Másrészt azonban csak ω üzemi fordulattal kell számolni. Jelölésére az $\omega\vartheta_{max}$ indexet használjuk. Mivel a melegedés a külső kalickára jellemző, általában a külső kalicka lesz a veszélyesebb szerkezeti elem. Most ismét a szuperpozícióval kapjuk az eredő igénybevételeket, ϑ_{max} és ω értékeket helyettesítve a megfelelő összefüggésekbe:

$$Q\omega_{\vartheta max} = Q_o + Q_\omega + Q_{\vartheta max},$$

és

$$M\omega_{\vartheta max} = M_o + M_\omega + M_{\vartheta max}.$$

Megjegyzés: Lehet az előbb felsorolt eseteket összevontan is tárgyalni. Ilyenkor a deformációs egyenletek

$$BQ + FM + K = 0,$$

$$HQ + JM + L = 0;$$

$$K = K_o + K_\omega + K_\vartheta$$

alakúak és megoldásuk

$$Q = \frac{FL - JK}{BJ - FH},$$

$$M = \frac{HK - BL}{BJ - FH}.$$

Itt értelemszerűen kell K értékét a kívánt állapotnak megfelelően helyettesíteni, azaz a kérdéses ω, illetve ϑ értéket használva.

III. A rugóállandók meghatározása

A rugóállandók meghatározására a 4. ábrán vázolt rendszert mutatjuk be példaként.

1. A gyűrű

A gyűrű egy pontjának elmozdulása sugárirányban ω szögsebesség esetén [5]:

$$y_{gc} = \frac{D_o}{2}\varepsilon = \frac{D_o}{2}\frac{\sigma}{E_g} = \frac{D_o}{2E_g}\mu_g\left(\frac{D_o}{2}\right)^2\omega^2 = c_{gc}\,\omega^2,$$

amelyből

$$c_{gc} = \frac{D_o^3\mu_g}{8E_g},$$

ahol E_g a rugalmassági tényező, μ_g a sűrűség.

A gyűrű egy pontjának elmozdulása Z számú rúddal számolva, rudanként Q erő esetén [5]:

$$y_{gQ} = \frac{D_o}{2}\varepsilon = \frac{D_o}{2}\frac{\sigma}{E_g} = \frac{D_o}{2E_g}\frac{D_o\,q}{2v} = \frac{D_o^2}{4E_g v}\frac{Z\,Q}{D_o\pi b} = c_{gQ}Q.$$

Itt a gyűrűt terhelő Q erőket a gyűrű $D_0\,\pi\,b$ felületén egyenletesen megoszló

$$q = \frac{Z\,Q}{D_o\pi b}$$

erőrendszerrel helyettesítettük. Tehát,

$$c_{gQ} = \frac{ZD_o}{4\pi E_g bv}.$$

Az M nyomaték nem okoz sugárirányú elmozdulást a gyűrű súlypontjában,

$$c_{gM} = 0.$$

A centrifugális erőnek megfelelően a gyűrű keresztmetszete nem fordul el, tehát

$$\gamma_{gc} = 0.$$

Szimmetria miatt a Q erőrendszer okozta szögelfordulás is zérus, így

$$\gamma_{gQ} = 0 .$$

A gyűrű elfordulása az M nyomaték hatására [6]:

$$\varphi_{gM} = \frac{3ZD_o M}{\pi E_g b^3 v} = \gamma_{gM} M ,$$

vagyis

$$\gamma_{gM} = \frac{3Z D_o}{\pi E_g b^3 v} .$$

2. A rúd

A rúd egy pontjának elmozdulása ω szögsebességnél úgy számítható, mintha a rúdra

$$p = \mu_r \frac{D_k}{2} \omega^2 \frac{d^2 \pi}{4}$$

egyenletesen megoszló terhelés hatna [5]:

$$y_{rc} = \frac{p l^4}{8 I E_r} = \frac{D_k l^4}{d^2 E_r} \mu_r \omega^2 = c_{rc} \omega^2 ,$$

ahol E_r a rugalmassági tényező és μ_r a sűrűség. Tehát

$$c_{rc} = \frac{D_k l^4 \mu_r}{d^2 E_r} .$$

A rugóállandókban szereplő l érték a rudak ún. redukált hosszát jelenti. Ezzel vesszük figyelembe azt, hogy a rúd effektív befogási keresztmetszete nem a lemeztest szélén, hanem attól beljebb helyezkedik el:

$$l = l_o - \frac{b}{2} + \psi d ,$$

ahol ψ értéke mérések alapján szigetelés nélküli rudaknál: $\psi = 0{,}2 \div 0{,}5$; és szigetelt rudaknál: $\psi = 0{,}1 \div 0{,}3$.

A lemeztest sugárirányú deformációját elhanyagolhatjuk kicsisége miatt az y_{rc}-hez képest, azaz a rudak befogási helyének elmozdulásával nem számolunk. A rúdvégek elmozdulása Q erő hatására [5]:

$$y_{rQ} = \frac{Q l^3}{3 I E_r} = \frac{64 l^3 Q}{3\pi d^4 E_r} = c_{rQ} Q ,$$

így

$$c_{rQ} = \frac{64l^3}{3\pi E_r d^4}.$$

A rúdvégek elmozdulása M nyomaték hatására [5]:

$$y_{rM} = \frac{M l^2}{2I E_r} = \frac{32l^2 M}{\pi d^4 E_r} = c_{rM} M,$$

azaz

$$c_{rM} = \frac{32l^2}{\pi d^4 E_r}.$$

A rúdvég elfordulása a saját centrifugális erő hatására ω szögsebesség esetén [5]:

$$\varphi_{rc} = \frac{pl^3}{6I E_r} = \frac{4D_k l^3}{3d^2 E_r} \mu_r \omega^2 = \gamma_{rc} \omega^2,$$

ezzel

$$\gamma_{rc} = \frac{4D_k l^3 \mu_r}{3d^2 E_r}.$$

A rúdvég Q erő hatására történő szögelfordulása [5]:

$$\varphi_{rQ} = \frac{Ql^2}{2I E_r} = \frac{32 l^2 Q}{\pi d^4 E_r} = \gamma_{rQ} Q,$$

vagyis

$$\gamma_{rQ} = \frac{32 l^2}{\pi d^4 E_r}.$$

Végül a rúdvég M nyomaték hatására történő elfordulása [5]:

$$\varphi_{rM} = \frac{M l}{IE} = \frac{64lM}{\pi d^4 E} = \gamma_{rM} M,$$

tehát

$$\gamma_{rM} = \frac{64l}{\pi d^4 E_r}.$$

Ha a rúd nem körkeresztmetszetű, akkor a rugóállandók számítása természetszerűleg kissé módosul.

3. A gyűrű és a rúdrendszer illesztése

Szerelésnél mint láttuk, fedéssel vagy játékkal lehet a gyűrűt és a rúdrendszert illeszteni. Ilyenkor a rendszer elő van feszítve. Célszerű az előfeszí-

tést úgy meghatározni, hogy a legkedvezőtlenebb állapot során fellépő feszültséghez ellenkező előjellel adódjék hozzá. Mégpedig az y_{rg}-értékét úgy határozzuk meg, hogy a kényesebb elemben fellépő feszültség, a szerelési és az üzemi határértéknek megfelelő szélső értéket tekintve, abszolút értékben körülbelül azonos legyen.

Az y_{rg} szélső határát megszabja az, hogy a rúd szereléskor nem deformálódhat maradóan. Ezért az y_{rg} értékét úgy választhatjuk meg, hogy a befogás helyén

$$\sigma_m \leqq \sigma_F$$

értéknél nagyobb feszültség ne lépjen fel.

A hajlított tartókra érvényes összefüggés alapján a rúd szélső szálában fellépő feszültség (példaként körkeresztmetszetre)

$$\sigma_h = \frac{Q\, l_o}{I} \frac{d}{2} \leqq \sigma_m .$$

Ugyanekkor a rúd behajlása

$$y_{rg} = \frac{Q\, l_o^3}{3I\, E_r} = \frac{2\sigma_h}{l_o d} \frac{l_o^3}{3E_r} \leqq \frac{l_o^2 \sigma_m}{1{,}5 d E_r} .$$

IV. A feszültségek számítása

1. Feszültségek a gyűrűben

A Z számú rúdnak megfelelő sugárirányú q megoszló terhelés üzemben a III. 1. pont szerint számítható ki. Ennek ismeretében a feszültség, a 4. ábra jelölésével [5]:

$$\sigma_g' = \frac{D_o q}{D_k - D_b} ,$$

amelynek előjelét q előjele határozza meg.

M nyomaték hatására a kifordulásból számítható feszültség a szélső szálakban [6]:

$$\sigma_g'' = \pm \gamma_{gM} M \frac{b}{D_o} E_g .$$

A gyűrű forgásból nyerhető feszültsége az egész keresztmetszetben [5]:

$$\sigma_g''' = \mu_g \left(\frac{D_o}{2} \right)^2 \omega^2 .$$

Végül a redukált feszültség a legveszélyesebb pontban (az előjelektől függően a legkedvezőtlenebb esetet véve)

$$\sigma_g = \sigma'_g \pm \sigma''_g + \sigma'''_g .$$

2. Feszültségek a (körkeresztmetszetű) rúdban

a) *Az 1 jelzésű helyen* a Q erő hatásából adódó hajlító feszültség a szélső szálakban:

$$\sigma'_k = \pm \frac{32Ql_*}{\pi d^3},$$

ahol a 4. ábra szerint

$$l_* = l_o - 0{,}5b .$$

Az M nyomatékból származó hajlító feszültség a szélső szálakban:

$$\sigma''_r = \pm \frac{32M}{\pi d^3} .$$

A tehetetlenségi erőkből nyerhető terhelést III. 2. pontban megadott kifejezéssel számíthatjuk. Ennek megfelel az

$$M_p = \mu_r \left(\frac{D_k}{2}\right) \omega^2 \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{l_*^2}{2}$$

nyomaték a befogás helyén.

A szélső szálban fellépő hajlító feszültség:

$$\sigma'''_r = \pm \frac{2\mu_r D_k l_*^2 \omega^2}{d} .$$

A redukált feszültség (az előjeleket figyelembe véve)

$$\sigma_r = \pm \sigma'_r \pm \sigma''_r \pm \sigma'''_r .$$

b) *A 2 jelzésű helyen* a nyomatékból származó hajlító feszültség a szélső szálakban

$$\sigma_{rg} = \pm \frac{32M}{\pi d^3} .$$

Az egyes feszültségeket természetesen a legkritikusabb üzemállapotnak megfelelően kell számítani, hogy a szilárdsági ellenőrzést elvégezhessük.

IRODALOM

1. LISKA: Villamosgépek V (Szerkezettan). Tankönyvkiadó, Budapest 1954.
2. BÁLINT: Aszinkron motorok kalickáinak szilárdsági méretezése. *Elektrotechnika* 1955.
3. LENGYEL: Különleges kalickás forgórészek tervezése. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest 1955.
4. BRAMBILLA: Alcuni problemi relativi alla construzione e al dimensionamento delle gabbie rotoriche dei motori asincroni. *L'Elettrotechnica* 1964.
5. MUTTNYÁNSZKY: Szilárdságtan. Tankönyvkiadó, Budapest 1957.
6. *Красовский:* Вопросы прочности электрических машин. Изд. Академии Наук СССР, Москва 1951.

KÖRSZIMMETRIKUSAN NYOMOTT KÖRGYŰRŰ ALAKÚ LEMEZEK STABILITÁSVIZSGÁLATA

RÓZSA MIHÁLY
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA
ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI INTÉZET, BUDAPEST

[Beérkezett 1964. július 8-án]

Ez a dolgozat a radiális irányban nagyméretű, gyűrű alakú vékony lemezek stabilitásával foglalkozik, de csak a gyűrű tengelyével párhuzamos irányban történő kihajlás veszélyét vizsgálja. A dolgozat első része a külső peremen sugárirányban nyomott, a belső peremen szabad gyűrűk stabilitását tárgyalja, második része a belső peremen sugárirányban nyomott, a külső peremen szabad gyűrűk kihajlását ismerteti.

1. Bevezetés

A körszimmetrikusan nyomott gyűrű alakú tartók stabilitásukat kétféleképpen veszíthetik el: a kihajlás vagy a gyűrű tengelye irányában következik be, vagy a tengelyre merőleges síkban. Az első eset a radiális irányban nagyméretű, a tengely irányában kisméretű gyűrűkön veszélyes. A kihajlás második esete a tengely irányában vastag gyűrűkön következik be.

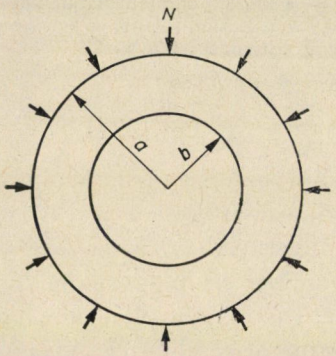
A külső és belső peremen egyenletesen megoszló egyenlő radiális nyomóerővel terhelt gyűrű alakú lemezek stabilitási problémáival W. R. DEAN [1] és N. YAMAKI [2] foglalkozott. YAMAKI a gyűrű peremei megtámasztásának minden lehetséges esetére táblázatokban és diagramokban megadta a kritikus nyomóerő értékét. Ezt a stabilitásproblémát tehát már teljesen megoldották, további tárgyalása felesleges.

A külső (befogott vagy szabadon megtámasztott) peremen radiálisan nyomott, a belső szabad peremen terheletlen körgyűrű alakú lemezek stabilitását E. MEISSNER [3] tanulmányozta. MEISSNER számításai azon a feltevésen alapulnak, hogy a körgyűrű kihajlási alakja forgásfelület. Ez a feltevés azonban a külső peremén kihajlással szemben *befogott* lemezeknél nem mindig helytálló, amint erre már TIMOSHENKO ([4], 391—392 oldal) is rámutatott. Könyvében MEISSNER számítási eredményeinek ismertetése után a következőket írja:

„It must be noted, however, that in this discussion buckling symmetrical with respect to the center of the plate is assumed while for b/a (b — radius of the inner boundary, a — radius of the outer boundary) approaching unity the conditions for a compressed ring with outer boundary clamped are analogous to those of a long compressed rectangular plate clamped along one side and free along the other. Such a plate buckles in many waves (see p. 364); we should expect that in the case of a narrow ring also several waves along the circumference would be formed during buckling and that the values of k obtained on the assumption of symmetrical buckling would give exaggerated values for $(N_r)_{cr}$."

TIMOSHENKOnak ezt a feltevését a továbbiakban közölt számítások teljesen igazolják. MEISSNER feltevése csak akkor helyes, ha $b/a < 0{,}46$. Ha $b/a > 0{,}46$, akkor a lemez kihajlott alakja nem forgásfelület, mert a lemez középpontjával koncentrikus körök — a befogott peremtől eltekintve — a kihajláskor egy vagy több hullámú szinuszgörbékké torzulnak. A b/a arány növekedésével a hullámok száma egyre nagyobb lesz, a kritikus nyomóerő tényleges értéke pedig egyre jobban eltér a MEISSNER által megadott értékektől.

Más a helyzet, ha a külső nyomott perem szabadon megtámasztott. Ebben az esetben TIMOSHENKO fentebb ismertetett határátmenetével a körgyűrű elemi szektorából egy olyan hosszú nyomott derékszögű négyszögű lemezt kapunk, amelynek a nyomóerővel párhuzamos egyik oldala szabadon



1. ábra. Külső peremén nyomott körgyűrű

megtámasztott, a másika pedig szabad. Egy ilyen lemez az oldalak arányától függetlenül mindig egy irányban hajlik ki (lásd pl. [4] 362. oldal). A külső nyomott peremen szabadon megtámasztott gyűrűk kihajlott alakja tehát forgásfelület, és így MEISSNER feltevése helytálló. Ezért a szabadon megtámasztott gyűrű stabilitásvizsgálatával itt nem foglalkozunk.

A belső peremen nyomott, a külső peremen szabad körgyűrűk stabilitását a végtelen külső átmérőjű gyűrű speciális esetének kivételével [5] az irodalom eddig nem tárgyalta.

2. A külső peremen körszimmetrikusan nyomott körgyűrű kihajlása

2.1. *A körgyűrű kihajlott alakjának integrodifferenciálegyenlete*

A körgyűrű alakú lemez a sugarú *külső* peremét N egyenletesen megoszló radiális nyomóerő terheli (1. ábra). Ezt a peremet a lemez síkjára merőleges kihajlással szemben befogottnak tételezzük fel. A körlemez b sugarú belső pereme szabad és terheletlen. A számítások egyszerűsítésére feltesszük, hogy $a = 1$.

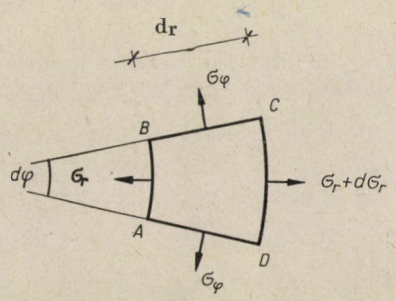
A radiális nyomóerő hatására a lemezben fellépő σ_r radiális és σ_φ gyűrűfeszültségeket LAMÉ képletei adják meg:

$$\sigma_r = -\frac{N}{h}\cdot\frac{1}{1-b^2}\left(1-\frac{b^2}{r^2}\right),$$

$$\sigma_\varphi = -\frac{N}{h}\cdot\frac{1}{1-b^2}\left(1+\frac{b^2}{r^2}\right), \qquad (1)$$

ahol

h a lemez vastagsága;
r a körgyűrű középpontjától számított távolság.



2. ábra. Elemi körgyűrűszektor

A kihajlott alak egyenletének levezetésére felírjuk a saját síkjától z távolságra kihajlott lemez gyűrűszektor alakú ABCD elemének (2. ábra) egyensúlyi feltételét a lemez eredeti síkjának normálisa irányában. A CD és AB szakaszon ható húzóerőnek ezen normális irányába eső összetevője:

$$\left(h\,\sigma_r\,r\,\frac{\partial z}{\partial r}\right)_{r+dr} d\varphi - \left(h\,\sigma_r\,r\,\frac{\partial z}{\partial r}\right)_r d\varphi = h\,\frac{\partial}{\partial r}\left(\sigma_r\,r\,\frac{\partial z}{\partial r}\right) dr\,.\,d\varphi\,.$$

Ugyanúgy a BD és AC szakaszon:

$$\left(h\,\frac{\sigma_\varphi}{r}\,\frac{\partial z}{\partial \varphi}\right)_{\varphi+d\varphi} dr - \left(h\,\frac{\sigma_\varphi}{r}\,\frac{\partial z}{\partial \varphi}\right)_\varphi dr = h\,\frac{\sigma_\varphi}{r}\,\frac{\partial^2 z}{\partial \varphi^2}\,dr\,.\,d\varphi.$$

E két kifejezést összeadva és az összeget az elem $r\,d\varphi\,dr$ területével elosztva, megkapjuk a kihajlott lemez területegységére ható q fiktív megoszló teher értékét:

$$q = \frac{h}{r}\,\frac{\partial}{\partial r}\left(\sigma_r\,r\,\frac{\partial z}{\partial r}\right) + \frac{h}{r^2}\,\sigma_\varphi\,\frac{\partial^2 z}{\partial \varphi^2}\,. \qquad (2)$$

Az ABCD elemre ható erők radiális összetevőinek egyensúlyi feltétele:

$$\frac{\partial}{\partial r}(r\,\sigma_r) = \sigma_\varphi\,.$$

Ezt a kifejezést az előző képletbe behelyettesítve:

$$q = h\left[\sigma_r \frac{\partial^2 z}{\partial r^2} + \sigma_\varphi \left(\frac{1}{r}\frac{\partial z}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 z}{\partial \varphi^2}\right)\right]. \tag{2*}$$

A végtelen kicsinynek feltételezett kihajláskor változatlan σ_r és σ_φ feszültségek (1) kifejezéseit (2*)-ba helyettesítjük:

$$q = -\frac{N}{1-b^2}\left[\left(1-\frac{b^2}{r^2}\right)\frac{\partial^2 z}{\partial r^2} + \left(1+\frac{b^2}{r^2}\right)\left(\frac{1}{r}\frac{\partial z}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 z}{\partial^2 \varphi}\right)\right]. \tag{3}$$

A q terhű lemez egyensúlyi feltételét a poláris koordinátákban felírt lemezegyenlet fejezi ki:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}\right)\left(\frac{\partial^2 z}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial z}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 z}{\partial \varphi^2}\right) =$$

$$= -\frac{N}{D(1-b^2)}\left[\left(1-\frac{b^2}{r^2}\right)\frac{\partial^2 z}{\partial r^2} + \left(1+\frac{b^2}{r^2}\right)\left(\frac{1}{r}\frac{\partial z}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 z}{\partial \varphi^2}\right)\right], \tag{4}$$

ahol $D = Eh^3/12(1-\mu^2)$ a lemez hajlítási merevsége.*

Mindegyik N sajátérték és a hozzátartozó $z(r,\varphi)$ tehát tartoznak (4) differenciálegyenletet kielégíteni; természetesen $z(r,\varphi)$-nek a kerületi feltételeket is ki kell elégítenie.

Tegyük fel, hogy a lemez n hullámban hajlik ki, vagyis:

$$z = w_n(r)\cos \mathrm{n}\varphi, \quad (\mathrm{n} = 0,\ 1,\ 2,\ 3, \ldots). \tag{5}$$

Ezt a kifejezést (3)-ba behelyettesítve és bevezetve a

$$p_n = -\frac{N}{1-b^2}\left[\left(1-\frac{b^2}{r^2}\right)\frac{d^2 w_n}{d r^2} + \left(1+\frac{b^2}{r^2}\right)\left(\frac{1}{r}\frac{d w_n}{dr} - \frac{n^2}{r^2} w_n\right)\right] \tag{6}$$

jelölést, a következőt kapjuk:

$$q = p_n \cos n\varphi\,. \tag{7}$$

A q fiktív teher (7) szerint mindig ugyanolyan függvénye a φ szögnek, mint a z kihajlás.

Az (5) kifejezést (4)-be helyettesítve (6) figyelembevételével:

$$\left[\frac{d^2}{d r^2} + \frac{1}{r}\frac{d}{dr} - \frac{n^2}{r^2}\right]^2 \cdot w_n = \frac{p_n}{D}, \quad (n = 0, 1, 2, 3, \ldots), \tag{8}$$

* Ezt az egyenletet más alakban már E. MEISSNER a [3] dolgozatban levezette.

vagy részletesen kiírva:

$$\frac{d^4 w_n}{d r^4} + \frac{2}{r}\frac{d^3 w_n}{d r^3} - \frac{1+2n^2}{r^2}\frac{d^2 w_n}{d r^2} + \frac{1+2n^2}{r^3}\frac{d w_n}{d r} + \frac{n^4 - 4n^2}{r^4} w_n =$$

$$= -\frac{N_n}{D(1-b^2)}\left[\left(1-\frac{b^2}{r^2}\right)\frac{d^2 w_n}{d r^2} + \left(1+\frac{b^2}{r^2}\right)\left(\frac{1}{r}\frac{d w_n}{d r} - \frac{n^2}{r^2} w_n\right)\right]. \quad (8^*)$$

A w_n függvény a (8) közönséges differenciálegyenleten kívül kielégíti a lemez peremei megtámasztásának megfelelően a következő kerületi feltételeket:

az $r = 1$ helyen (befogott perem):

$$(w_n)_{r=1} = 0\,, \quad (a)$$

$$\left(\frac{d w_n}{d r}\right)_{r=1} = 0\,, \quad (b)$$

az $r = b$ helyen (szabad perem):
a radiális nyomaték zérus, vagyis

$$\left[\frac{d^2 w_n}{d r^2} + \mu\left(\frac{1}{r}\frac{d w_n}{d r} - \frac{n^2}{r^2} w_n\right)\right]_{r=b} = 0\,, \quad (c)$$

a nyíróerő zérus:

$$\left[\frac{\partial}{\partial r}(\Delta z) + \frac{1-\mu}{r}\frac{\partial^2}{\partial r\,\partial\varphi}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial z}{\partial\varphi}\right)\right]_{r=b} = 0\,.$$

Az (5) kifejezés behelyettesítése és a kijelölt műveletek elvégzése után:

$$\left[\frac{d^3 w_n}{d r^3} + \frac{1}{r}\frac{d^2 w_n}{d r^2} - (1+2n^2-\mu n^2)\frac{1}{r^2}\frac{d w_n}{d r} + \right.$$

$$\left. + (3n^2 - \mu n^2)\frac{1}{r^3} w_n\right]_{r=b} = 0\,. \quad (d)$$

A további számításokban μ értékét 1/3-ra vesszük fel, ami megfelel a MEISSNER [3] által felvett értéknek.

A (8) differenciálegyenletek az (*a*) — (*d*) kerületi feltételekkel együtt a $w_0, w_1, w_2, \ldots, w_n$ „lehajlás-amplitúdó" függvényekre vonatkozó *sajátérték feladatokat* képeznek. Mindegyik sajátérték feladathoz tartozik valamely $N_0, N_1, N_2, \ldots, N_n$ legkisebb sajátérték. A tényleges kihajlás mindig annál az N_i nyomóerőnél következik be (i számú szinuszhullám alakjában), amelyik

az adott b/a viszonyszámnál az $N_0, N_1, N_2, \ldots, N_n$ értékek közül a legkisebb. Feadatunk az N_i meghatározása.

A tárgyalt sajátérték feladatokra először bebizonyítjuk, hogy *önadjungáltak*. E célból (8) differenciálegyenletet r-rel szorozzuk és a következő alakra hozzuk:

$$\frac{d^2}{dr^2}\left(r\frac{d^2 w_n}{dr^2}\right) - \frac{d}{dr}\left(\frac{1+2n^2}{r}\frac{dw_n}{dr}\right) + \frac{n^4-4n^2}{r^3}w_n =$$

$$= -\frac{N_n}{D(1-b^2)}\frac{d}{dr}\left[\left(r-\frac{b^2}{r}\right)\frac{dw_n}{dr}\right].$$

A fenti egyenletben szereplő összes kifejezések önadjungáltak [6, 7], tehát a sajátérték feladatok is önadjungáltak.

Az önadjungált sajátérték problémák legkisebb sajátértékét az *iterációs módszerrel* lehet meghatározni [7]. Ha jelen esetben ezt a módszert a (8) differenciálegyenlet és az (a)—(d) feltételek alakjában megadott feladatra alkalmaznók, akkor minden iterációs lépésben egy Euler-féle negyedrendű inhomogén differenciálegyenletet kellene megoldani. Amint ismeretes, az inhomogén lineáris differenciálegyenletek megoldása az állandók variálásának módszerével a homogén egyenletek megoldására vezethető vissza. Az adott feladat esetében azonban ez a módszer igen hosszadalmas számításokra vezetne, amihez hozzájárul még, hogy a négy integrálási állandó meghatározására minden iterációs lépésben egy-egy a kerületi feltételek alapján felírt négyismeretlenes lineáris egyenletrendszert kellene megoldanunk.

A tárgyalt sajátérték problémát egy másodfajta homogén Fredholm-féle integrálegyenlet sajátérték problémájára lehet visszavezetni. A megoldás szempontjából azonban a Fredholm-féle integrálegyenlet nem előnyös, a körszimmetrikus kihajlás esete ($n = 0$) kivételével. Az $n \equiv 0$ esethez tartozó integrálegyenlet levezetését a *Függelékben* közöljük.

Sajátérték feladatunkat a lehajlási *hatásfüggvény* (Green-féle függvény) segítségével egy integrodifferenciálegyenlet sajátérték feladatává fogjuk átalakítani, mert az iterációs módszert ebben az esetben előnyösebben lehet alkalmazni.

Az integrodifferenciálegyenlet levezetése előtt $w_n(\varrho, r) \equiv K_n(\varrho, r)$ lehajlás hatásfüggvényeket határozzuk meg (ϱ — hatás sugara; r — erő sugara). A hatásfüggvények, amint a Green-féle függvények elméletéből ismeretes, a következő feltételeket elégítik ki:

I. A $\varrho = r$ pont kivételével eleget tesznek (8) differenciálegyenletnek, ha annak jobb oldala (a tehertag) zérus:

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial\varrho^2} + \frac{1}{\varrho}\frac{\partial}{\partial\varrho} - \frac{n^2}{\varrho^2}\right]^2 K_n(\varrho, r) = 0\,, \quad (n = 0, 1, 2, \ldots)\,. \tag{9}$$

II. A $\varrho = 1$ és $\varrho = b$ helyen kielégítik a w_n-re felírt (a), (b), (c) és (d) homokerületi feltételeket.

III. A $\varrho = r$ helyen a hatásfüggvény és ϱ szerinti első két differenciálhányadosa folytonos, harmadik differenciálhányadosa a $p_n = 1$ koncentrált tehernek megfelelően szakadásos. Részletesen leírva:

$$[K_n(\varrho, r)]_{\varrho=r-0} = [K_n(\varrho, r)]_{\varrho=r+0}, \tag{e}$$

$$\left[\frac{\partial K_n(\varrho, r)}{\partial \varrho}\right]_{\varrho=r-0} = \left[\frac{\partial K_n(\varrho, r)}{\partial \varrho}\right]_{\varrho=r+0}, \tag{f}$$

$$\left[\frac{\partial^2 K_n(\varrho, r)}{\partial \varrho^2}\right]_{\varrho=r-0} = \left[\frac{\partial^2 K_n(\varrho, r)}{\partial \varrho^2}\right]_{\varrho=r+0}, \tag{g}$$

$$\left[\frac{\partial^3 K_n(\varrho, r)}{\partial \varrho^3}\right]_{\varrho=r-0} + \frac{1}{D} = \left[\frac{\partial^3 K_n(\varrho, r)}{\partial \varrho^3}\right]_{\varrho=r+0}. \tag{h}$$

Az (e) feltétel a $p_n = 1$ teher alatt behajlott lemez folytonosságát, az (f) feltétel pedig a lemez sugárirányú érintőjének folytonosságát fejezi ki. A (g) feltétel a nyomaték folytonosságából következik. A (h) feltétel azt fejezi ki, hogy a nyíróerő „ugrása" az erő helyén egyenlő $p_n = 1$ koncentrált erővel.

A hatásfüggvény kiszámítására felírjuk (9) homogén Euler-féle differenciálegyenletek általános megoldásait:

$$\begin{aligned}
&\text{ha } n = 0: K_0(\varrho, r) = A_0(r) + B_0(r)\,\varrho^2 + C_0(r)\,\varrho^2 \ln \varrho + D_0(r) \ln \varrho\,; \\
&\text{ha } n = 1: K_1(\varrho, r) = A_1(r)\,\varrho + B_1(r)\frac{1}{\varrho} + C_1(r)\,\varrho^3 + D_1(r)\,\varrho \ln \varrho\,; \\
&\text{ha } n > 1: K_n(\varrho, r) = A_n(r)\,\varrho^n + B_n(r)\,\varrho^{-n} + C_n(r)\,\varrho^{n+2} + D_n(r)\,\varrho^{-n+2}.
\end{aligned} \tag{10}$$

Az általános megoldásokban szereplő A, B, C, D állandók értékét az (a)—(h) kerületi feltételek határozzák meg. Minthogy a $b \leq \varrho \leq r$ szakaszhoz és az $r \leq \varrho \leq 1$ szakaszhoz tartozó kerületi feltételek különbözők, az A, B, C, D állandók értékei is különbözők ezen a két szakaszon. Végeredményben tehát $K(\varrho, r)$-re $\varrho \leq r$ és $\varrho \geq r$ esetében két különböző kifejezést kapunk. A 8 állandót az (a)—(h) feltételekből adódó nyolcismeretlenes lineáris egyenletrendszer egyértelműen meghatározza. Az $n = 0$, $n = 1$ és $n > 1$ értékekhez tartozó egyenletrendszereket megoldva és az állandókra kapott értékeket (10) egyenletekbe behelyettesítve, a hatásfüggvényekre a következő kifejezéseket kapjuk:

A) *az* $n = 0$ *esetben:*

a) ha $\varrho \leq r$

$$K_0(\varrho, r) = \frac{r}{D(8 + 16b)^2}\,[(1 + 4b^2) + (-1 - 4b^2)\,r^2 +$$

$$+ (2 + 4b^2) r^2 \ln r + 4b^2 \ln r + (1 - r^2 + 2 \ln r) \varrho^2 +$$
$$+ (4b^2 - 4b^2 r^2 + 8b^2 \ln r) \ln \varrho] ; \tag{11a}$$

b) ha $\varrho \geq r$

$$K_0(\varrho, r) = \frac{r}{D(8 + 16b^2)} [(1 + 4b^2) + r^2 + 4b^2 \ln r -$$
$$- (+ 1 + 4b^2 + r^2 + 4b^2 \ln r) \varrho^2 + (2 + 4b^2) \varrho^2 \ln \varrho +$$
$$+ (4b^2 - 2r^2 + 8b^2 \ln r) \ln \varrho] ;$$

B) *az* $n = 1$ *esetben:*

a) ha $\varrho \leq r$

$$K_1(\varrho, r) = \frac{r}{D(16 + 80b^4)} \left\{ \left[(- 2 + 10b^4) r - 10b^4 \cdot \frac{1}{r} + \right. \right.$$
$$+ 2r^3 - (4 + 20b^4) r \ln r \Big] \varrho + \left(- 10b^4 r + 5b^4 \frac{1}{r} + 5b^4 r^3 \right) \frac{1}{\varrho} +$$
$$\left. + \left(2r - \frac{1}{r} - r^3 \right) \varrho^3 \right\}, \tag{11b}$$

b) ha $\varrho \geq r$

$$K_1(\varrho, r) = \frac{r}{D(16 + 80b^4)} \left\{ \left[(- 2 + 10b^4) r - 10b^4 \frac{1}{r} + 2r^3 \right] \varrho + \right.$$
$$+ \left(- 10b^4 r + 5b^4 \frac{1}{r} - r^3 \right) \frac{1}{\varrho} + \left(2r + 5b^4 \frac{1}{r} - r^3 \right) \varrho^3 -$$
$$\left. - (4 + 20b^4) r \varrho \ln \varrho \right\} ;$$

C) *az* $n > 1$ *esetben:*

a) ha $\varrho \leq r$

$$K_n(\varrho, r) = \frac{r}{8D [n^2 - 2(n^2 - 1) b^2 + (n^2 + 24) b^4 + 5b^{2n+2} + 5b^{-2n+2}]} \times$$
$$\times \left\{ \left[\left(- \frac{n^2 + 24}{n^2 (n - 1)} b^4 - \frac{5}{n - 1} b^{-2n+2} \right) r^n + \frac{1}{n} (b^2 + 5b^{-2n+2}) r^{n+2} + \right. \right.$$
$$+ \left(- \frac{n + 1}{n} b^2 + \frac{n^2 + 24}{n(n - 1)} b^4 + \frac{5}{n(n - 1)} b^{-2n+2} \right) r^{-n+2} +$$
$$+ \left(b^2 - \frac{n^2 + 24}{n^2} b^4 \right) r^{-n} \Big] \varrho^n + \left[\left(b^2 - \frac{n^2 + 24}{n^2} b^4 \right) r^n + \left(- \frac{n - 1}{n} b^2 + \right. \right.$$
$$\left. \left. + \frac{n^2 + 24}{n(n + 1)} b^4 + \frac{5}{n(n + 1)} b^{2n+2} \right) r^{n+2} - \frac{1}{n} (b^2 + 5b^{2n+2}) r^{-n+2} +$$

$$+\left(\frac{n^2+24}{n^2(n+1)}b^4+\frac{5}{n+1}b^{2n+2}\right)r^{-n}\Big]\varrho^{-n}+\Big[\frac{1}{n}(b^2+5b^{-2n+2})r^n-$$

$$-\frac{1}{n+1}(1+5b^{-2n+2})r^{n+2}+(1-b^2)r^{-n+2}+\Big(-\frac{n}{n+1}+\frac{n-1}{n}b^2-$$

$$-\frac{5}{n(n+1)}b^{-2n+2}\Big)r^{-n}\Big]\varrho^{n+2}+\Big[\Big(-\frac{n}{n-1}+\frac{n+1}{n}b^2-$$

$$-\frac{5}{n(n-1)}b^{2n+2}\Big)r^n+(1-b^2)r^{n+2}+\frac{1}{n-1}(1+5b^{2n+2})r^{-n+2}-$$

$$-\frac{1}{n}(b^2+5b^{2n+2})r^{-n}\Big]\varrho^{-n+2}\Big\}; \tag{11c}$$

b) ha $\varrho \geq r$

$$K_n(\varrho,r)=\frac{r}{8D\,[n^2-2(n^2-1)\,b^2+(n^2+24)\,b^4+5b^{2n+2}+5b^{-2n+2}}\times$$

$$\times\Big\{\Big[\Big(-\frac{n^2+24}{n^2(n-1)}b^4-\frac{5}{n-1}b^{-2n+2}\Big)r^n+\frac{1}{n}(b^2+5b^{-2n+2})r^{n+2}+$$

$$+\Big(-\frac{n}{n-1}+\frac{n+1}{n}b^2-\frac{5}{n(n-1)}b^{+2n+2}\Big)r^{-n+2}+$$

$$+\Big(b^2-\frac{n^2+24}{n^2}b^4\Big)r^{-n}\Big]\varrho^n+\Big[\Big(b^2-\frac{n^2+24}{n^2}b^4\Big)r^n+\Big(-\frac{n}{n+1}+$$

$$+\frac{n-1}{n}b^2-\frac{5}{n(n+1)}b^{-2n+2}\Big)r^{n+2}-\frac{1}{n}(b^2+5b^{2n+2})+$$

$$+\Big(\frac{n^2+24}{n^2(n+1)}b^4+\frac{5}{n+1}b^{2n+2}\Big)r^{-n}\Big]\varrho^{-n}+\Big[\frac{1}{n}(b^2+5b^{-2n+2})r^n-$$

$$-\frac{1}{n+1}(1+5b^{-2n+2})r^{n+2}+(1-b^2)r^{-n+2}+\Big(-\frac{n-1}{n}b^2+$$

$$+\frac{n^2+24}{n(n+1)}b^4+\frac{5}{n(n+1)}b^{2n+2}\Big)r^{-n}\Big]\varrho^{n+2}+\Big[\Big(-\frac{n+1}{n}b^2+$$

$$+\frac{n^2+24}{n(n-1)}b^4+\frac{5}{n(n-1)}b^{-2n+2}\Big)r^n+(1-b^2)r^{n+2}+$$

$$+\frac{1}{n-1}(1+5b^{2n+2})r^{-n+2}-\frac{1}{n}(b^2+5b^{2n+2})r^{-n}\Big]\varrho^{-n+2}\Big\}.$$

Bebizonyítjuk, hogy a

$$K_n(\varrho,r)\frac{1}{r}$$

kifejezés a ϱ és r változók szimmetrikus függvénye. Ugyanis $p_n = 1$ esetében az r sugáron ható $q = 1 \cdot \cos n\varphi$ teher által a ϱ sugáron okozott $z = K_n(\varrho, r)\cos n\varphi$ lehajlás folytán a ϱ sugáron ható $q = 1 \cdot \cos n\varphi$ teher által végzett munka:

$$M_\varrho = \int_{\varphi=0}^{2\pi} zq\varrho \cdot d\varphi = \int_{\varphi=0}^{2\pi} [K_n(\varrho, r)\cos n\varphi](1 \cdot \cos n\varphi)\varrho \cdot d\varphi = \pi \cdot K_n(\varrho, r) \cdot$$

Ugyanígy a ϱ sugáron ható $q = 1 \cdot \cos n\varphi$ teher által az r sugáron okozott $z = K_n(r, \varrho)\cos n\varphi$ lehajlás folytán az r sugáron ható $q = 1 \cdot \cos n\varphi$ teher által végzett munka:

$$M_r = \pi K_n(r, \varrho) \cdot r .$$

Betti tétele szerint $M_r = M_\varrho$, amiből következik, hogy

$$K_n(\varrho, r)\frac{1}{r} = K_n(r, \varrho)\frac{1}{\varrho} . \tag{12}$$

Ezzel a hatásfüggvény szimmetriáját bebizonyítottuk.

A (11) alatti, egymástól függetlenül kiszámított függvények kielégítik (12) feltételt, ami igazolja a számítások helyességét.

A $K_n(\varrho, r)$ lehajlás hatásfüggvény segítségével az n hullámban történő kihajlás w_n amplitúdója tetszőleges ϱ sugáron a következő alakban írható fel:

$$w_n(\varrho) = \int_{r=b}^{1} K_n(\varrho, r)\, p_n(r) \cdot dr , \quad (n = 0, 1, 2, \ldots) . \tag{13}$$

Behelyettesítjük (13)-ba a $p_n(r)$ fiktív teherre kapott (6) kifejezést:

$$w_r(\varrho) = -\frac{N_n}{1 - b^2}\int_{r=b}^{1} K_n(\varrho, r)\left[\left(1 - \frac{b^2}{r^2}\right)\frac{d^2 w_n(r)}{d r^2} + \right.$$

$$\left. + \left(1 + \frac{b^2}{r^2}\right)\left(\frac{1}{r}\frac{d w_n(r)}{dr} - \frac{n^2}{r^2} w_n(r)\right)\right] dr , \quad (n = 0, 1, 2, \ldots) \tag{13*}$$

A (13*) homogén integrodifferenciálegyenlet alakjában felírt sajátérték probléma azonos a (8*) differenciálegyenlet és (a)—(d) kerületi feltételek által meghatározott sajátérték problémával. A kerületi feltételek itt a hatásfüggvényben implicite szerepelnek.

2.2. *Az integrodifferenciálegyenlet megoldása*

A (13*) integrodifferenciálegyenlet legkisebb sajátértékét az iterációs módszerrel [7] határoztuk meg. Az iteráció a következő rekurzív képlet alapján történt:

$$w_n^{(i)}(\varrho) = -\frac{D}{1-b^2}\int_{r=b}^{1} K_n(\varrho, r)\left[\left(1-\frac{b^2}{r^2}\right)\frac{d^2}{dr^2}w_n^{(i-1)}(r) + \right.$$

$$\left. + \left(1+\frac{b^2}{r^2}\right)\left(\frac{1}{r}\frac{d}{dr}w_n^{(i-1)}(r) - \frac{n^2}{r^2}w_n^{(i-1)}(r)\right)\right]dr\,, \qquad (14)$$

$$(n = 0, 1, 2, 3, \ldots),\ (i = 1, 2, 3, \ldots).$$

A számítás kezdetén a $w_n^0(r)$ függvény tetszőlegesen vehető fel azzal a korlátozással szemben, hogy nem lehet ortogonális az első sajátfüggvényre. Az $a = 1$ külső átmérőjű gyűrű n hullámban történő kihajlásakor N_n legkisebb sajátértéket a következő képlet adja meg:

$$N_n = D \cdot \lim_{i\to\infty} \frac{w_n^{(i-1)}(b)}{w_n^{(i)}(b)}.$$

Könnyen belátható, hogy az általános esetben, amikor $a \neq 1$, fenti képlet a következőképpen módosul:

$$N_n = k_n \frac{D}{a^2}, \qquad (15)$$

ahol

$$k_n = \lim_{i\to\infty} \frac{w_n^{(i-1)}(b)}{w_n^{(i)}(b)}. \qquad (16)$$

A k_n együttható meghatározását az $n = 0, 1, 2, 3$ esetekben végeztük el $\beta = b/a$ $(a = 1)$ különböző értékeire. A hosszadalmas numerikus számítások megrövidítésére $w_n^{(0)}(r)$ függvényt úgy vettük fel, hogy a hozzá tartozó $p_n(r)$ fiktív teher egységnyi legyen, vagyis:

$$p_n(r) = \left(1-\frac{b^2}{r^2}\right)\frac{d^2}{dr^2}w_n^{(0)}(r) + \left(1+\frac{b^2}{r^2}\right)\left(\frac{1}{r}\frac{d}{dr}w_n^{(0)}(r) - \frac{n^2}{r^2}w_n^{(0)}(r)\right) = 1\,.$$

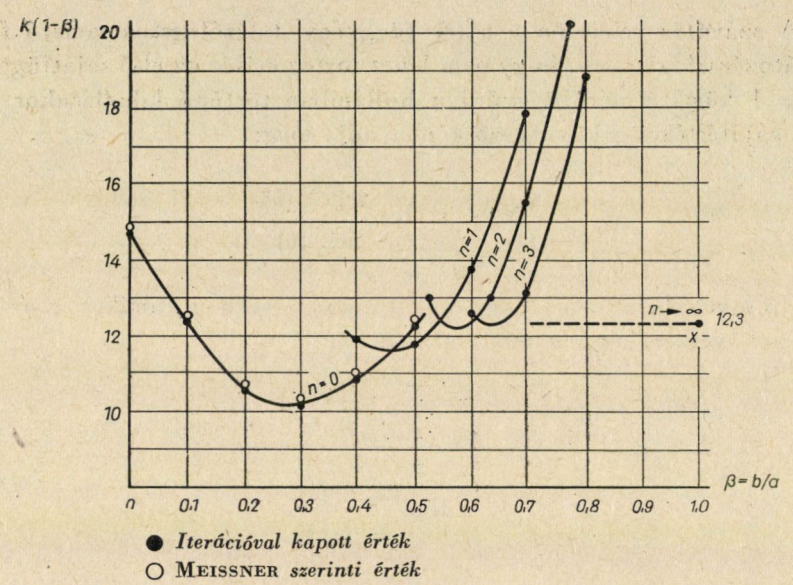
Ezzel a felvétellel az első iterációs lépésben a (14) képlet a következő egyszerűbb alakot ölti:

$$w_n^{(1)}(\varrho) = \int_{r=b}^{1} K_n(\varrho, r)\cdot dr\,.$$

Az iteráció gyors konvergenciája folytán már a második iterációs lépés $(i = 2)$ után k-ra jó közelítő érték adódott, és így az iterációt nem folytattuk tovább.

A k_n-re a második iterációs lépés után kapott értékeket $\beta = b/a$ függvényében az I; II; III; IV. táblázat adja meg. A 3. ábra diagramjain k helyett

a szemléletesebb $k(1-\beta)$ értékeket tüntettük fel. Az I. táblázatban és 3. ábrán az $n = 0$ esetben (körszimmetrikus kihajlás) a MEISSNER [3] által kiszámított értékeket is megadtuk. Az iterációs módszerrel számított és a Meissner-féle értékek közötti eltérés mindenhol kisebb ~1%-nál. (Megjegyzendő azonban, hogy MEISSNER k_0 értékét csak β bizonyos irracionális értékeire határozta meg, és így az itt közölt Meissner-féle értékek interpolációval kapott közelítések.)



3. ábra. Diagram a külső peremén nyomott körgyűrű kritikus nyomóerejének meghatározására

Ha a gyűrű szélessége sugarához viszonyítva kicsiny ($\beta \approx 1$), akkor TIMOSHENKOnak a bevezetésben közölt meggondolása szerint a gyűrű kihajlásának számítását egy hosszú derékszögű négyszögű lemez stabilitásproblémájára lehet visszavezetni, amelynek a nyomóerővel párhuzamos egyik oldala befogott, másik oldala pedig szabad. (A másik két oldal megtámasztási módja a lemez nagy hosszúsága folytán nem befolyásolja a kritikus erő nagyságát.) A kihajlás ilyenkor igen nagyszámú hullámban ($n \to \infty$) következik be. A P_∞ gyűrűirányú kritikus nyomóerő értékét az irodalomban ([4] 363. o.) megadott transzcendens egyenletből könnyen ki lehet számítani:

$$P_\infty = k' \pi^2 \frac{D}{(a-b)^2},$$

ahol $\mu = 1/3$ esetben a transzcendens egyenletből $k' = 1{,}25$ értéket kapunk, vagyis

$$P_\infty = 12{,}3 \frac{D}{(a-b)^2}.$$

A gyűrűre ható erők egyensúlyi feltételéből az a sugáron ható radiális nyomóerő kritikus értéke:

$$N_\infty = P_\infty \frac{a-b}{a} = \frac{12{,}3}{1-\beta} \cdot \frac{D}{a^2},$$

vagy (15) mintájára:

$$N_\infty = k_\infty \frac{D}{a^2},$$

ahol

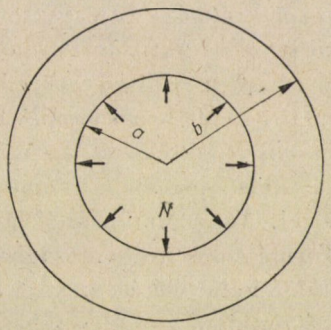
$$k_\infty (1-\beta) = 12{,}3\,.$$

A $\beta \approx 1$ értékhez a 3. ábrán a $k_\infty(1-\beta) = 12{,}3$ ordinátájú X-el jelölt pont tartozik.

Az X ponton át az abszcisszatengellyel párhuzamosan húzott egyenes, amint az ábrából látható, közelítően egybeesik az $n = 3$-nak megfelelő k_3 görbe minimumában húzott érintővel. Nyilvánvalóan következik ebből, hogy az $n > 3$-hoz tartozó k görbék minimumai is közelítően ugyanerre az egyenesre esnek, más szóval ez az egyenes az $n = 3, 4, 5, \ldots$ rendszámú k görbék burkolója. Minthogy ezek a görbék n növekedésével egyre sűrűbben követik egymást, a $k = 12{,}3/1-\beta$ képlet β növekedésével egyre jobban megközelíti k tényleges értékét. Ezért az $n > 3$ értékekhez tartozó k görbék kiszámítására nincs szükség.

3. A belső peremen körszimmetrikusan nyomott körgyűrű kihajlása

A körlemez a sugarú *belső* peremét N egyenletesen megoszló radiális nyomóerő terheli (4. ábra). Ezt a peremet a lemez síkjára merőleges kihajlással

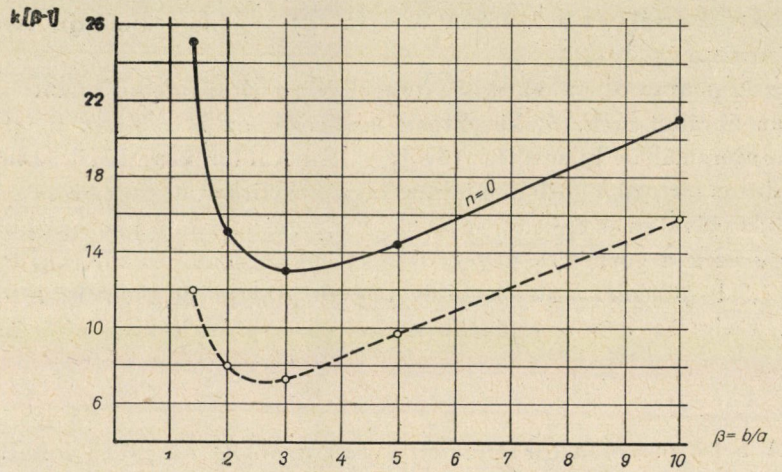


4. ábra. Belső peremén nyomott körgyűrű

szemben befogottnak tételezzük fel. A körlemez b sugarú külső pereme szabad és terheletlen. A számítások egyszerűsítésére — ugyanúgy, mint a külső peremen terhelt gyűrűk esetében — feltesszük, hogy $a = 1$.

Könnyen bebizonyítható, hogy a fenti jelölésekkel az (1) Lamé-féle egyenletek, a (8) differenciálegyenlet, az (a)—(d) kerületi feltételek és a (13*) integrodifferenciálegyenlet teljesen változatlan alakban érvényesek. Ezért a kritikus nyomóerőt is az előzőleg használt (14) iterációs képlettel határoztuk meg. Az iterációt itt is csak a második lépésig folytattuk.

A képletek azonossága ellenére a belső peremen nyomott körgyűrűk a külső peremen nyomottaktól eltérően *mindig körszimmetikusan hajlanak ki.* Ugyanis a belső peremen nyomott gyűrűkben (1) szerint σ_φ gyűrűfeszültség



● *Iterációval kapott érték*
○ MANSFIELD *szerinti érték*

5. ábra. Diagram a belső peremén nyomott körgyűrű kritikus nyomóerejének meghatározására

húzás, mert $b > 1$. Ez a húzófeszültség egy vagy több hullámú kihajlás esetében a kihajlást akadályozni igyekvő fiktív terhet hozna létre. Ezért a kihajlás mindig körszimmetrikus alakban ($n = 0$) következik be.

Az $n = 0$ esetben a (15) képletben szereplő k együtthatóra a $\beta = b/a$ viszonyszám függvényében kapott értékeket az V. táblázat adja meg. Az 5. ábra — ugyanúgy, mint a külső peremen nyomott gyűrűkre 3. ábra — a $k(\beta-1)$ értékeket tünteti fel. Amint az ábrából látható, ha $\beta \to 1$, k értéke minden határon túl nő. Természetesen a valóságban a kritikus erő nem nő a végtelenségig, mert a folyási határ elérése után a közölt számítási módszert már nem lehet alkalmazni. Ezenkívül $\beta \approx 1$ esetében a gyűrű síkjában történő kihajlás már veszélyesebb lehet, mint a gyűrű síkjára merőleges kihajlás.

A belső, befogott peremen radiálisan nyomott, a külső peremen szabad gyűrűk stabilitásvizsgálatával foglalkozó dolgozatot idáig még nem közöltek. Bizonyos fokig közelálló problémával MANSFIELD [5] foglalkozott. Azt az esetet vizsgálta, amikor a gyűrű a sugarú belső peremén N radiális nyomóerő hat, külső b sugarú peremét pedig $N(a/b)^2$ radiális nyomóerő terheli. Ilyenkor LAMÉ képlete szerint a lemez minden pontjában $\sigma_r = -\sigma_\varphi$. A MANSFIELD által kapott k értékeket az V. táblázat adja meg, a $k(\beta-1)$ értékeket pedig az 5. ábrán a szaggatott vonal tünteti fel. A külső peremre gyakorolt nyomóerő folytán a kritikus erő lényegesen kisebb, mint szabad külső perem esetében. A gyűrű külső átmérőjének növekedésével a külső peremre gyakorolt $N(a/b)^2$ nyomóerő egyre csökken, és így a kapott értékek közelednek a szabad külső peremre kapott értékekhez (lásd az V. táblázat utolsó sorát). Végtelen külső átmérő esetén az eltérés 0-ra csökken.

FÜGGELÉK

Az egyik peremen radiálisan nyomott körgyűrű körszimmetrikus kihajlási alakjának integrálegyenlete

Körszimmetrikus kihajlás ($n = 0$) esetében az (5) és (7) képletek szerint

$$z \equiv w \quad \text{és} \quad q \equiv p\,.$$

A fiktív fajlagos teher (2) szerint

$$p(r) = \frac{h}{r}\frac{d}{dr}\left(\sigma_r\, r\, \frac{dw(r)}{dr}\right) dr\,.$$

Ezt a kifejezést (13)-ba helyettesítve:

$$w(\varrho) = h\int_{r=b}^{1} K_0(\varrho, r)\,\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(\sigma_r\, r\, \frac{dw(r)}{dr}\right) dr\,.$$

$K_0(\varrho, r)\cdot(1/r)$ kifejezés (12) szerint a ϱ, r változók szimmetrikus függvénye. Bevezetvén a

$$L(\varrho, r) = K_0(\varrho, r)\,\frac{1}{r},$$

illetve

$$w(\varrho) = h\int_{r=b}^{1} L(\varrho, r)\,\frac{d}{dr}\left(\sigma_r\, r\, \frac{dw(r)}{dr}\right) dr$$

jelölést, az egyenletet ϱ szerint differenciáljuk:

$$\frac{dw(\varrho)}{d\varrho} = h\int_{r=b}^{1} \frac{\partial L(\varrho, r)}{\partial \varrho} \frac{d}{dr}\left(\sigma_r r \frac{dw(r)}{dr}\right) dr .$$

Parciális integrálással

$$\frac{dw(\varrho)}{d\varrho} = \left[h \frac{\partial L(\varrho, r)}{\partial \varrho} \sigma_r r \frac{dw(r)}{dr}\right]_{r=b}^{1} - h\int_{r=b}^{1} \frac{\partial^2 L(\varrho, r)}{\partial \varrho \partial r} \sigma_r r \frac{dw(r)}{dr} dr .$$

Minthogy az $r = b$ helyen $\sigma_r = 0$ (szabad perem), az $r = 1$ helyen pedig a befogás folytán $dw/dr = 0$, a jobboldali első tag eltűnik. Behelyettesítve σ_r feszültség (1) kifejezését, a következőt kapjuk:

$$\frac{dw(\varrho)}{d\varrho} = \frac{N}{1-b^2}\int_{r=b}^{1} \frac{\partial^2 L(\varrho, r)}{\partial \varrho \partial r}\left(1 - \frac{b^2}{r^2}\right) r \frac{dw(r)}{dr} dr .$$

Bevezetjük az

$$\eta(r) = \frac{dw(r)}{dr}\left(1 - \frac{b^2}{r^2}\right) r$$

függvényt. Ezzel a fenti egyenletet a következő alakra hozhatjuk:

$$\eta(\varrho) = \frac{N}{1-b^2}\int_{r=b}^{1} \frac{\partial^2 L(\varrho, r)}{\partial \varrho \partial r} \sqrt{\left(\varrho - \frac{b^2}{\varrho}\right)\left(r - \frac{b^2}{r}\right)}\, \eta(r)\, dr .$$

Ez egy *szimmetrikus magú homogén Fredholm-féle integrálegyenlet.* Bebizonyítható, hogy az integrálegyenlet a $b < 1$ és $b > 1$ esetben mindig pozitív definit, tehát körszimmetrikus kihajlás csak pozitív N értékekre következhetik be.

IRODALOM

1. DEAN, W. R.: The Elastic Stability of an Annular Plate. *Proc. Royal Soc. London*, ser. A. **106** (1924) 268—284.
2. YAMAKI, N.: Buckling of a Thin Annular Plate under Uniform Compression. *Journ. Applied Mechanics* **25** (1958), 267—273.
3. MEISSNER, E.: Über des Knicken kreisförmiger Scheiben. *Schweiz. Bauzeitung*, **101** (1933), 87—89.
4. TIMOSHENKO, S. P.—GERE, J. M.: Theory of Elastic Stability (1961).
5. MANSFIELD, E. H.: On the Buckling of an Annular Plate. *Quart. Journ. of Mechanics and Appl. Mathematics* **13** (1960), 16—23.
6. KAMKE, E.: Gewöhnliche Differentialgleichungen (1951). 236.
7. COLLATZ, L.: Eigenwertaufgaben mit technischen Anwendungen (1949).

ÁTMÉRŐJÉNEK KÉT VÉGPONTJÁN NYOMOTT SZABAD PEREMŰ KÖRLEMEZ STABILITÁSVIZSGÁLATA

RÓZSA MIHÁLY
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA, ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI INTÉZET, BUDAPEST

[Beérkezett 1964. október 15-én]

A dolgozat az átmérőjének két végpontján nyomott szabad peremű körlemez stabilitásproblémáját Fourier-sorok iterációjával oldja meg. A számítás eredményeként képletet közöl a kritikus nyomóerő meghatározására és megadja a kihajlott felület alakját.

1. Bevezetés

A peremükön egyenletesen megoszló nyomóerővel terhelt kör és körgyűrű alakú lemezek stabilitásvizsgálatával számos szakkönyv és tanulmány foglalkozik (lásd pl. [1]—[5]). Ezt a problémát a gyakorlatban előforduló összes terhelési esetekre megoldották. Viszont a kerületük egyes pontjain összpontos erőkkel nyomott kör és körgyűrű alakú lemezek stabilitásvizsgálatával foglalkozó dolgozat a szakirodalomban nem található.

Jelen tanulmány az átmérőjének két végpontján összpontos erőkkel nyomott szabad peremű körlemez stabilitásproblémájának megoldását tartalmazza. Az itt közölt számítási módszer az összpontos erőkkel nyomott kör alakú lemezek más terhelési eseteire és a hasonlóképpen terhelt körgyűrűk stabilitásvizsgálatára is alkalmazható.

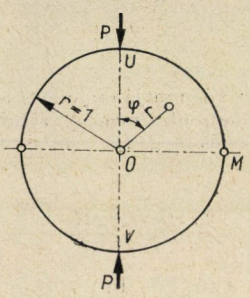
A dolgozat a körlemez kihajlási alakja differenciálegyenletének levezetése után megadja a differenciálegyenletnek az iterációs módszerrel történő megoldásához szükséges képleteket. Ezek alapján numerikusan meghatározza a kritikus erő nagyságát és a körlemez kihajlási alakját.

2. A körlemez kihajlási alakjának differenciálegyenlete

A szabad peremű, állandó vastagságú körlemez egymással szemben levő U és V kerületi pontjait P összpontos nyomóerő terheli (1. ábra). Feltesszük, hogy P erők térbeli iránya és nagysága a kihajlás folyamán változatlan marad. A körlemez O középpontjának helyzetét a kihajláskor változatlannak tételezzük fel. Nem változtatna a stabilitásszámítás eredményén, ha az U és V pontokat összekötő egyenest vennénk fel mint rögzített helyzetű egyenest, azonban ez a feltevés számítástechnikai szempontból hátrányosabb lenne.

A számítások egyszerűsítése érdekében a körlemez sugarát tekintjük hosszegységnek. A körlemez anyaga — feltételezésünk szerint — tökéletesen rugalmas, Poisson-féle tényezője pedig $\mu = 0{,}25$. A kihajlást okozó kritikus nyomóerőt λP-vel jelöljük.

A lemez kihajlásakor a kritikus nyomóerő által okozott síkbeli metszeti erőknek a lemez eredeti középsíkjára merőleges összetevője p fiktív megoszló terhet hoz létre, amely a lemezt hajlításra veszi igénybe.



1. ábra. Átmérőjének két végpontján nyomott körlemez

A fiktív teher nagyságát a lemez középsíkjában felvett x, y derékszögű koordinátarendszerben a következő ismert képlet adja meg:

$$p(x,y) = \lambda (n_x \varkappa_x + n_y \varkappa_y + 2n_{xy} \varkappa_{xy}), \tag{1}$$

ahol

n_x, n_y, n_{xy} metszeti erők x, y koordinátarendszerben P nyomóerő hatására;

$$\varkappa_x = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\,;\quad \varkappa_y = \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\,;\quad \varkappa_{xy} = \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}\,;$$

w a lemez eredeti középsíkjára merőleges irányú elmozdulás a kihajlás folytán.

A kihajlott lemez egyensúlyi feltételét a lemezegyenlet fejezi ki, amelyben teherként a fiktív teher szerepel:

$$\Delta^2 w(x,y) = \frac{p(x,y)}{K}. \tag{2}$$

Itt

$K = IE/(1 - \mu^2)$ a lemez hajlítási merevsége.

A körlemez vizsgálatánál derékszögű koordinátarendszer helyett célszerűbb az 1. ábrán feltüntetett r, φ poláris koordinátarendszert bevezetni.

A fiktív teher (1) képlete a poláris koordinátarendszerben a következőképpen módosul:

$$p(r,\varphi) = \lambda(n_r \varkappa_r + n_\varphi \varkappa_\varphi + 2n_{r\varphi} \varkappa_{r\varphi}), \tag{3}$$

ahol

n_r, n_φ, $n_{r\varphi}$ metszeti erők az (r, φ) koordinátarendszerben;

$$\varkappa_r = \frac{\partial^2 w}{\partial r^2}; \quad \varkappa_\varphi = \frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2}; \quad \varkappa_{r\varphi} = \frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial \varphi}\right). \tag{4}$$

A lemezegyenlet ugyanebben a koordinátarendszerben a következő:

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}\right]^2 w = \frac{p(r,\varphi)}{K}. \tag{5}$$

A $p(r, \varphi)$ (3) szerinti kifejezését és (4)-et (5)-be behelyettesítve, megkapjuk a *kihajlási alak differenciálegyenletét:*

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}\right]^2 w =$$

$$= \lambda\left[n_r \frac{\partial^2}{\partial r^2} + n_\varphi\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}\right) + 2n_{r\varphi}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial \varphi}\right)\right] w. \tag{6}$$

A $w(r, \varphi)$ függvénynek a $w(0, \varphi) = 0$ feltételen kívül a kövtkező *kerületi feltételeket* kell kielégítenie:

a) A körlemez peremén az m_r sugárirányú nyomaték zérus, vagyis

$$[m_r]_{r=1} = 0; \tag{7}$$

b) A körlemez kerületén a q_r nyíróerő egyensúlyban van a peremnek a lemez eredeti középsíkjára merőleges p „külső terhével". A „külső teher" — amint látni fogjuk — a fiktív teher által az U és V pontban okozott „reakcióerőknek" a lemez kerülete mentén Fourier-sorba fejtése révén adódik. A perem egyensúlyi feltétele tehát:

$$[q_r]_{r=1} + [p]_{r=1} = 0. \tag{8}$$

3. A kihajlási alak differenciálegyenletének elvi megoldása

A (6) parciális differenciálegyenlet a (7) és (8) kerületi feltételekkel a $w(r, \varphi)$ függvényre *sajátérték probléma.* Ezt a problémát a Schwartz-féle iterációs módszerrel oldjuk meg, amely a parciális differenciálegyenleteknél is mindig konvergál és a legkisebb sajátértékhez tartozó (vagyis első) sajátfüggvényhez vezet (lásd [6] 159. oldal). Az iteráció képlete a következő:

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}\right]^2 w^{(k+1)}(r,\varphi)=$$

$$=\left[n_r\frac{\partial^2}{\partial r^2}+n_\varphi\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}\right)+\right.$$

$$\left.+2n_{r\varphi}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\varphi}\right)\right]w^{(k)}(r,\varphi),\ (k=0,1,2,\ldots). \tag{9}$$

A $w^0(r,\varphi)$ függvényt elvben tetszőlegesen vehetjük fel, célszerű azonban ezt úgy megválasztani, hogy lehetőleg jól közelítse meg a várható kihajlási alakot.

A felvett, vagy az előző iterációval kapott lehajlásból először a fiktív terhet határozzuk meg:

$$p^{(k)}(r,\varphi)=\left[n_r\frac{\partial^2}{\partial r^2}+n_\varphi\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}\right)+2n_{r\varphi}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\varphi}\right)\right]w^{(k)}(r,\varphi). \tag{9*}$$

Ezután (7) és (8) kerületi feltételek figyelembevételével a

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}\right]^2 w^{(k+1)}(r,\varphi)=p^{(k)}(r,\varphi) \tag{9**}$$

differenciálegyenletet oldjuk meg. Ily módon sorban egymás után meghatározzuk a $w^{\mathrm{I}}, w^{\mathrm{II}}, w^{\mathrm{III}}$ stb. iterált függvényeket. Az eljárást addig folytatjuk, amíg $w^{(k+1)}$ és $w^{(k)}$ függvények aránya r és φ bármely értékére közelítően ugyanaz lesz.

A körlemez kihajlási alakjának egyenlete (az első *sajátfüggvény)*:

$$w(r,\varphi)\approx w^{(k+1)}(r,\varphi). \tag{10}$$

Az első *sajátérték:*

$$\lambda\approx\frac{w^{(k)}}{w^{(k+1)}}, \tag{11}$$

tehát a *kritikus erő:*

$$P_{kr}=\lambda P\approx\frac{w^{(k)}}{w^{(k+1)}}P. \tag{12}$$

A sajátérték probléma megoldására célszerű a (3)—(6) egyenletekben szereplő n_r, n_φ, $n_{r\varphi}$, w és p függvényeket φ független változó szerint Fourier-sorba fejteni. Minthogy a $\varphi=0$ és $\varphi=\pi/2$ egyenesek a körlemez kihajlási alakjának szimmetriatengelyei, a felsorolt függvények periódusa π szög; n_r, n_φ, w és p a φ szög páros függvényei, $n_{r\varphi}$ pedig φ páratlan függvénye.

Határozzuk meg a metszeti erők Fourier-sorait. Ezeket legegyszerűbben úgy számíthatjuk ki, hogy az U és V pontokon ható P összpontos erőket

a körlemez kerülete mentén Fourier-sorba fejtjük. A sor egyes tagjai a lemez kerületén szinuszgörbe szerint megoszló terhek, amelyekhez tartozó metszeti erők azonosak a metszeti erők Fourier-sorának megfelelő tagjaival.

A P összpontos erőket a körlemez kerületén sorbafejtve, a lemez kerületét terhelő radiális húzóerőre a következő kifejezést kapjuk:

$$n_r(1,\varphi) = -\frac{P}{\pi}\left(1 + 2\sum_{n=2,4,6,\ldots}\cos n\varphi\right). \tag{13}$$

A körlemez kerületén nyíróerők nem lépnek fel, tehát

$$n_{r\varphi}(1,\varphi) = 0\,. \tag{14}$$

A metszeti erőkre vonatkozó (13) és (14) kerületi feltételek kielégítését a következőképpen felvett Airy-féle függvénnyel kíséreljük meg:

$$\Phi(r,\varphi) = C_0 r^2 + \sum_{n=2,4,6,\ldots}(A_n r^n + C_n r^{n+2})\cos n\varphi\,. \tag{15}$$

Ez a függvény kielégíti a biharmonikus differenciálegyenletet [7]. A C_0, A_n és C_n együtthatókat úgy kell felvenni, hogy a kerületi feltételek is teljesüljenek. A körlemez kerületén n_r metszeterőre (15)-ből a következő kifejezést kapjuk:

$$n_r(1,\varphi) = \left|\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\Phi}{\partial\varphi^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial\Phi}{\partial r}\right|_{r=1} =$$

$$= 2C_0 + \sum_{n=2,4,6,\ldots}[(n - n^2)A_n + (n + 2 - n^2)C_n]\cos n\varphi\,.$$

A (13) kerületi feltételből következik, hogy

$$2C_0 + \sum_{n=2,4,6,\ldots}[(n - n^2)A_n + (2 + n - n^2)C_n]\cos n\varphi =$$

$$= -\frac{P}{\pi}\left(1 + 2\sum_{n=2,4,6,\ldots}\cos n\varphi\right). \tag{16}$$

A kerületi $n_{r\varphi}$ metszeterő (15)-ből:

$$n_{r\varphi}(1,\varphi) = \left|-\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial\Phi}{\partial\varphi}\right)\right|_{r=1} = \sum_{n=2,4,6,\ldots}[(-n + n^2)A_n + (n + n^2)C_n]\sin n\varphi\,.$$

A (14) kerületi feltétel szerint:

$$\sum_{n=2,4,6,\ldots}[(-n + n^2)A_n + (n + n^2)C_n]\sin n\varphi = 0\,. \tag{17}$$

A (16) és (17) feltételeknek φ bármely értéke esetében teljesülniük kell, tehát a (16) baloldalán és jobboldalán levő Fourier-sorok összes együtthatói egyenlők egymással, (17)-ben pedig a baloldali Fourier-sor összes együtthatói zérussal egyenlők, vagyis

$$C_0 = -\frac{P}{2\pi},$$

$$(n - n^2) A_n + (2 + n - n^2) C_n = -\frac{2P}{\pi},$$

$$(-n + n^2) A_n + (n + n^2) C_n = 0, \quad (n = 2, 4, 6, \ldots). \tag{18}$$

A (18) egyenletekből C_0, A_n, C_n együtthatók értékei a következők:

$$C_0 = -\frac{P}{2\pi}; \quad A_n = \frac{P}{\pi(n-1)}; \quad C_n = -\frac{P}{\pi(n+1)}, \quad (n = 2, 4, 6, \ldots). \tag{19}$$

A (19) kifejezéseket (15)-be behelyettesítve:

$$\Phi(r, \varphi) = \frac{P}{\pi}\left[-\frac{1}{2} r^2 + \sum_{n=2,4,6,\ldots} \left(\frac{1}{n-1} r^n - \frac{1}{n+1} r^{n+2}\right) \cos n\varphi\right]. \tag{20}$$

Az n_r, n_φ, $n_{r\varphi}$ metszeterőkre (20)-ból a következő kifejezéseket kapjuk:

$$n_r = \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \Phi}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \Phi}{\partial r} =$$

$$= -\frac{P}{\pi}\left\{1 + \sum_{n=2\,4,6,\ldots} [n r^{n-2} - (n-2) r^n] \cos n\varphi\right\},$$

$$n_\varphi = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} = -\frac{P}{\pi}\left\{1 - \sum_{n=2,4,6,\ldots} [n r^{n-2} - (n+2) r^n] \cos n\varphi\right\}, \tag{21}$$

$$n_{r\varphi} = -\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{1}{r}\frac{\partial \Phi}{\partial \varphi}\right) = \frac{P}{\pi}\left\{\sum_{n=2\,4,6,\ldots} [n r^{n-2} - n r^n] \sin n\varphi\right\}.$$

A metszeterők Fourier-sorba fejtése után $w^{(k)}(r, \varphi)$ lehajlásfüggvényt is Fourier-sorba fejtjük:

$$w^{(k)}(r, \varphi) = w_0^{(k)}(r) + \sum_{n=2\,4,6,\ldots} w_n^{(k)}(r) \cos n\varphi. \tag{22}$$

A $p^{(k)}(r, \varphi)$ fiktív terhet úgy kapjuk meg, hogy a (21) és (22) Fourier-sorokat (9*)-ba behelyettesítjük:

$$p^{(k)}(r,\varphi) = \sum_{n=0,2,4,\ldots} \sum_{m=0,2,4,\ldots} a_{nm}(r) \cos n\varphi \cos m\varphi + \sum_{n=2,4,\ldots} \sum_{m=2,4,\ldots} b_{nm}(r) \sin n\varphi \sin m\varphi.$$

Az itt szereplő $a_{nm}(r)$ és $b_{nm}(r)$ függvényeket (21) és (22)-ből könnyen meg lehet határozni.

A fenti kifejezést az ismert

$$\cos n\varphi \cdot \cos m\varphi = \frac{1}{2}[\cos(n+m)\varphi + \cos(n-m)\varphi],$$

$$\sin n\varphi \cdot \sin m\varphi = \frac{1}{2}[-\cos(n+m)\varphi + \cos(n-m)\varphi]$$

trigonometriai összefüggések alapján a következő alakra hozhatjuk:

$$p^{(k)}(r,\varphi) = \sum_{n=0,2,4,\ldots} p_n^{(k)}(r) \cos n\varphi, \tag{23}$$

ahol

$$p_n^{(k)}(r) = \sum_{s=0,2,\ldots,n} \frac{1}{2}(a_{n-s,s} + a_{s,n-s}) + \sum_{s=0\,2,4,\ldots} \frac{1}{2}(a_{s,n+s} + a_{n+s,s}) - \sum_{s=2,4,\ldots,n-2} \frac{1}{2}(b_{n-s,s} + b_{s,n-s}) + \sum_{s=2,4,\ldots} \frac{1}{2}(b_{s,n+s} + b_{n+s,s}).$$

A (23) képlet megadja $p(r,\varphi)$ fiktív teher Fourier-sorát.

Az iteráció folytatásához meg kell oldanunk (9**) differenciálegyenletet, amely $p^{(k)}(r,\varphi)$ (23) szerinti Fourier-sorának behelyettesítése után a következő alakba megy át:

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}\right]^2 w^{(k+1)}(r,\varphi) = \frac{1}{K} \sum_{n=0,2,4,\ldots} p_n^{(k)}(r) \cos n\varphi.$$

A differenciálegyenlet megoldásához $w^{(k+1)}(r,\varphi)$ függvényt is (22) szerint Fourier-sorba fejtjük. Feladatunk a $w_0(r), w_2(r), \ldots, w_n(r)$ függvények meghatározása. (Itt és a további számításokban elhagyjuk a (k) indexet.) A szóban forgó függvények kiszámítására először meghatározzuk a fiktív teher Fourier-sora egyes tagjai okozta lehajlásokat. A $p_n(r) \cos n\varphi$ fiktív teher hatásának vizsgálata céljából ezt a terhet végtelen keskeny koncentrikus gyűrűkön ható elemi terhekre bontjuk fel, ily módon a teljes lehajlást az elemi terhek által okozott lehajlások integráljaként kapjuk meg.

Vizsgáljuk meg először a $p_0(r)$ *körszimmetrikus fiktív teher* által okozott lehajlást. Ezt a terhet a fentebb leírt módon elemi terhekre bontva, kiszámítjuk

az r sugarú körön ható $p_0(r)$ teher által okozott lehajlást. Ez a lehajlás, amely *nem körszimmetrikus*, a következő alakban írható fel:

$$w(\varrho, \varphi) = w_0(\varrho) + \sum_{n=2,4,\ldots} w_n(\varrho) \cos n\varphi .$$

Itt

ϱ a hatás (lehajlás) helye, vagyis a megfelelő sugár.

A $w_0(\varrho)$ körszimmetrikus lehajlásnak a terhelt r sugarú körön belül és kívül egyaránt ki kell elégítenie a biharmonikus differenciálegyenletet. Ennek megfelelően bevezetjük a következő ismert megoldó kifejezéseket [7]:

$$\text{ha } \varrho \leq r, \quad w_0(\varrho) = A_0'(r) + B_0'(r)\,\varrho^2 ; \tag{24a}$$

$$\text{ha } \varrho \geq r, \quad w_0(\varrho) = A_0(r) + B_0(r)\,\varrho^2 + C_0(r) \ln \varrho + D_0(r)\,\varrho^2 \ln \varrho . \tag{24b}$$

Az itt szereplő állandókat a következő kerületi feltételek határozzák meg: A $\varrho = r$ sugarú kör mentén

a) w_0 folytonos függvény, tehát

$$(A_0 - A_0') + r^2 (B_0 - B_0') + \ln r \cdot C_0 + r^2 \ln r \cdot D_0 = 0 ; \tag{I}$$

b) $dw_0/d\varrho$ folytonos függvény, tehát

$$2r (B_0 - B_0') + \frac{1}{r} C_0 + (2r \ln r + r) D_0 = 0 ; \tag{II}$$

c) az

$$m_r = K \left(\frac{d^2 w_0}{d\varrho^2} + \frac{\mu}{\varrho} \frac{d w_0}{d\varrho} \right)$$

radiális nyomaték folytonos; minthogy $dw_0/d\varrho$ b) szerint folytonos, $d^2w_0/d\varrho^2$ is folytonos függvény, tehát

$$2 (B_0 - B_0') - \frac{1}{r^2} C_0 + (2 \ln r + 3) D_0 = 0 ; \tag{III}$$

d) a

$$q_r = K \frac{\partial}{\partial \varrho} \Delta w_0(\varrho)$$

nyíróerő ugrásszerű változása egyenlő $p_0(r)$ fajlagos teherrel; részletesen kiírva:

$$K \left| \frac{d^3 w_0}{d\varrho^3} + \frac{1}{\varrho} \frac{d^2 w_0}{d\varrho^2} - \frac{1}{\varrho^2} \frac{d w_0}{d\varrho} \right|_{\varrho=r-0}^{\varrho=r+0} = p_0(r).$$

Minthogy b) és c) szerint $dw_0/d\varrho$ és $d^2w_0/d\varrho^2$ a $\varrho = r$ helyen folytonos, $w_0(\varrho)$ (24) kifejezéseinek behelyettesítése után a következőt kapjuk:

$$m_r = K\frac{2}{r^3}C_0 + \frac{2}{r}D_0 = \frac{p_0(r)}{K}. \qquad \text{(IV)}$$

A $\varrho = 1$ sugarú peremen

e) az

$$m_r = K\left(\frac{d^2w_0}{d\varrho^2} + \frac{\mu}{\varrho}\frac{dw_0}{d\varrho}\right)$$

hajlító nyomaték zérus, tehát

$$2B_0 - C_0 + 3D_0 + 0{,}25\,(2B_0 + C_0 + D_0) = 0$$

rendezés után

$$2{,}5\,B_0 - 0{,}75\,C_0 + 3{,}25\,D_0 = 0\,; \qquad \text{(V)}$$

f) a szabad peremen nyíróerő nem lép fel. Azonban az r sugáron működő $p_0(r) \cdot 2\,r\,\pi$ fiktív teher az U és V pontokon $N = -p_0(r) \cdot r\,\pi$ fiktív reakcióerőket hoz létre. Ezek a „reakcióerők" tulajdonképpen az U és V pontokon ható P nyomóerőnek a kihajlott lemez érintősíkjára merőleges összetevői. Az összpontos N erőket ugyanúgy Fourier-sorba kell fejtenünk a lemez kerülete mentén, mint a P nyomóerőket. Ily módon a lemez egész kerülete mentén megoszló fiktív terhet kapunk, amely a lemez peremét nyírásra veszi igénybe. A fiktív kerületi teherre a (13) képlet mintájára a következő kifejezést kapjuk:

$$p_{r=1} = \frac{N}{\pi}\left(1 + 2\sum_{n=2,4,6,\ldots}\cos n\varphi\right) =$$

$$= -\,r\,p_0(r)\left(1 + 2\sum_{n=2,4,6,\ldots}\cos n\varphi\right), \qquad (25)$$

Ennek a Fourier-sornak az első tagja $-rp_0(r)$ egyenletesen megoszló kerületi erő, amely egyensúlyt tart az r sugáron ható $p_0(r)$ egyenletesen megoszló fiktív erővel és azzal együtt hozza létre a $w_0(\varrho)$ körszimmetrikus lehajlást. A Fourier-sor többi tagjai önmagukban egyensúlyban levő erőrendszereket képeznek, amelyek saját periódusukkal egyenlő periódusú lehajlásokat hoznak létre. Ezeket a lehajlásokat az ugyanolyan periódusú $p_n(r)$ fiktív teher által okozott lehajlásokkal együtt később fogjuk kiszámítani. A körszimmetrikus lehajlás számításakor tehát a lemez peremét terhelő külső erőként csak $-rp_0(r)$ tagot vesszük figyelembe. Ezzel az erővel a lemez peremén fellépő nyíróerő egyensúlyban van, tehát

$$K\left|\frac{d^3 w_0}{d\varrho^3}+\frac{1}{\varrho}\frac{d^2 w_0}{d\varrho^2}-\frac{1}{\varrho^2}\frac{d w_0}{d\varrho}\right|_{\varrho=1}-r\,p_0(r)=0.$$

A (24b) kifejezés behelyettesítése, a kijelölt műveletek elvégzése és rendezés után a következőt kapjuk:

$$4\,D_0=\frac{r\,p_0(r)}{K}. \tag{VI}$$

Az (I)—(VI) lineáris egyenletrendszer meghatározná a (24) kifejezésekben szereplő 6 állandót, ha egymástól független egyenletekből állna. Azonban könnyen ki lehet mutatni, hogy (VI) egyenlet (II), (III) és (IV)-ből következik. A hatodik független egyenletet abból a kiindulási feltevésből kapjuk, hogy a körlemez középpontjának lehajlása zérus, vagyis

$$A_0'=0. \tag{VI'}$$

Az (I)—(VI') egyenletrendszer megoldása a következő:

$$A_0=\frac{p_0(r)\,r}{K}\frac{r^2}{4}(1-\ln r),\qquad D_0=\frac{p_0(r)\,r}{K}\cdot\frac{1}{4},$$

$$B_0=\frac{p_0(r)\,r}{K}\left(\frac{3}{40}r^2-\frac{13}{40}\right),\qquad A_0'=0,$$

$$C_0=\frac{p_0(r)\,r}{K}\cdot\frac{r^2}{4},\qquad B_0'=\frac{p_0(r)\,r}{K}\left(\frac{3}{40}r^2+\frac{1}{4}\ln r-\frac{3}{40}\right). \tag{26}$$

Ezeket az értékeket (24a) és (24b) egyenletekbe helyettesítve, megkapjuk az r sugarú körön ható körszimmetrikus teher által okozott körszimmetrikus lehajlást. A teljes körszimmetrikus teher által okozott körszimmetrikus lehajlást ezeknek a kifejezéseknek az integrálása révén kapjuk meg. Bevezetve az

$$\bar{A}_0(r)=\int_0^r A_0(r)\,dr;\quad \bar{B}_0(r)=\int_0^r B_0(r)\,dr+\int_r^1 B_0'(r)\,dr;$$

$$\bar{C}_0(r)=\int_0^r C_0(r)\,dr;\quad \bar{D}_0(r)=\int_0^r D_0(r)\,dr \tag{26a}$$

jelöléseket, a teljes körszimmetrikus lehajlás:

$$w_0(r)=\bar{A}_0(r)+\bar{B}_0(r)\,r^2+\bar{C}_0(r)\ln r+\bar{D}_0(r)\,r^2\ln r. \tag{27}$$

Áttérünk a (22) Fourier-sor általános tagjának, a $w_n(r)\cos n\varphi$ függvénynek, vagyis a $2\pi/n$ *periódusú lehajlásnak* a kiszámítására. Ezt a lehajlást

a fiktív teher Fourier-sorának $p_n(r)\cos n\varphi$ tagja és a (25) egyenlet szerint a körlemez kerületén ható $-2rp_0(r)\cos n\varphi$ fiktív teher együttesen hozzák létre. A lehajlás számításánál a fiktív terhet megint koncentrikus körökön ható elemi terhekre bontjuk fel. Vizsgáljuk meg tehát az r sugáron ható $p_n(r)\cos n\varphi$ és $p_0(r)$ fiktív terhek által a ϱ sugáron okozott $w_n(\varrho)\cos n\varphi$ lehajlást. Ennek a lehajlásfüggvénynek a terhelt r sugarú körön belül és kívül egyaránt ki kell elégítenie a biharmonikus differenciálegyenletet. Ennek megfelelően bevezetjük a következő megoldó kifejezéseket [7]:

$$\text{ha } \varrho \leq r \quad w_n(\varrho) = A_n'(r)\,\varrho^n + C_n'(r)\,\varrho^{n+2}; \tag{28a}$$

$$\text{ha } \varrho \geq r \quad w_n(\varrho) = A_n(r)\,\varrho^n + B_n(r)\,\varrho^{-n} + C_n(r)\,\varrho^{n+2} + D_n(r)\,\varrho^{-n+2}. \tag{28b}$$

Az állandókat a következő kerületi feltételek határozzák meg:
A $\varrho = r$ sugarú kör mentén

a) w_n folytonos függvény, vagyis (28) szerint

$$r^n(A_n - A_n') + r^{-n}B_n + r^{n+2}(C_n - C_n') + r^{-n+2}D_n = 0; \tag{I}$$

b) $dw_n/d\varrho$ folytonos, vagyis (28) szerint

$$n\,r^{n-1}(A_n - A_n') - n\,r^{-n-1}B_n + (n+2)\,r^{n+1}(C_n - C_n') - \\ - (n-2)\,r^{-n+1}D_n = 0; \tag{II}$$

c) a radiális nyomaték

$$m_r = K\left[\frac{d^2 w_n}{d\varrho^2} + \mu\left(\frac{1}{\varrho}\frac{d w_n}{d\varrho} - \frac{n^2}{\varrho^2}w_n\right)\right]\cos n\varphi \tag{29}$$

folytonos; minthogy a) és b) szerint w_n és $dw_n/d\varrho$ folytonos, $d^2w_n/d\varrho^2$ is folytonos függvény, tehát (28) figyelembevételével

$$n(n-1)\,r^{n-2}(A_n - A_n') + n(n+1)\,r^{-n-2}B_n + (n+2)(n+1)\,r^n(C_n - C_n') + \\ + (n-2)(n-1)\,r^{-n}D_n = 0; \tag{III}$$

d) a nyíróerő ugrásszerű változása egyenlő a $p_n(r)\cos n\varphi$ teherrel. A nyíróerőt a következő képlet adja meg [8]:

$$q_r = K\frac{\partial}{\partial\varrho}(\Delta w) + K\frac{1-\mu}{\varrho}\frac{\partial}{\partial\varphi}\left[\frac{\partial}{\partial\varrho}\left(\frac{1}{\varrho}\frac{\partial w}{\partial\varphi}\right)\right] = \\ = K\left[\frac{d^3 w_n}{d\varrho^3} + \frac{1}{\varrho}\frac{d^2 w_n}{d\varrho^2} -\right.$$

$$- (1 + 2n^2 - \mu n^2) \frac{1}{\varrho^2} \frac{d w_n}{d\varrho} + n^2 (3 - \mu) \frac{1}{\varrho^3} w_n \Big] \cos n\varphi \,. \tag{30}$$

Minthogy a), b) és c) szerint w_n, $dw_n/d\varrho$ és $d^2w_n/d\varrho^2$ folytonos függvények, (28) és (30) figyelembevételével a következő feltételi egyenletet kapjuk:

$$n (n - 1) (n - 2) r^{n-3} (A_n - A_n') - n (n + 1) (n + 2) r^{-n-3} B_n +$$

$$+ (n + 2) (n + 1) n r^{n-1} (C_n - C_n') - (n - 2) (n - 1) n r^{-n-1} D_n = \frac{p_n(r)}{K} \,. \tag{IV}$$

A $\varrho = 1$ sugarú peremen:

e) az m_r radiális nyomaték zérus, tehát (28b) és (29) figyelembevételével:

$$n (n - 1) A_n + n (n + 1) B_n + (n + 2) (n + 1) C_n + (n - 2) (n - 1) D_n +$$
$$+ 0{,}25 [n A_n - n B_n + (n + 2) C_n - (n - 2) D_n -$$
$$- n^2 (A_n + B_n + C_n + D_n)] = 0 \,,$$

illetve rendezés után:

$$(3n^2 - 3n) A_n + (3n^2 + 3n) B_n + (3n^2 + 13n + 10) C_n +$$
$$+ (3n^2 - 13n + 10) D_n = 0 \,. \tag{V}$$

f) A q_r nyíróerő egyensúlyban van a $p_0(r)$ körszimmetrikus teher által okozott $2\pi/n$ periódusú fiktív kerületi teherrel, amely (25) szerint $-2 p_0(r) \cos n\varphi$. A (28b) és (30) figyelembevételével ebből a következő egyenletet nyerjük:

$$n (n - 1) (n - 2) A_n - n (n + 1) (n + 2) B_n + (n + 2) (n + 1) n C_n -$$
$$- (n - 2) (n - 1) n D_n + n (n - 1) A_n + n (n + 1) B_n +$$
$$+ (n + 2) (n + 1) C_n + (n - 2) (n - 1) D_n - (1 + 1{,}75n^2) [n A_n - n B_n +$$
$$+ (n + 2) C_n - (n - 2) D_n] + 2{,}75n^2 (A_n + B_n + C_n + D_n) =$$
$$= \frac{1}{K} 2p_o(r) r \,.$$

Innen rendezés után:

$$(3n^2 - 3n) A_n + (- 3n^2 - 3n) B_n + (3n^2 - 13n - 16) C_n +$$
$$+ (- 3n^2 - 13n + 16) D_n = - \frac{8p_o(r) r}{nK} \,. \tag{VI}$$

Az (I)—(VI) lineáris egyenletrendszert a következőképpen oldjuk meg. Az (I)-et változatlanul hagyjuk, (II)-t r-rel szorozzuk, (II) r-szereséhez (III)

r^2-szeresét hozzáadjuk, végül (II) r-szeresét (III) 3 r^2-szeresét és (IV) r^3-szörösét összeadjuk. Ezekkel az átalakításokkal és az

$$x_1 = (A_n - A_n')\, r^n; \quad x_2 = B_n\, r^{-n}; \quad x_3 = (C_n - C_n')\, r^{n+2}; \quad x_4 = D_n\, r^{-n+2};$$

$$a_1 = n; \quad a_2 = -n; \quad a_3 = n+2; \quad a_4 = -n+2; \quad b = \frac{p_0(r)}{K}\, r^3 \qquad (31)$$

jelölésekkel (I)—(IV)-ből a következő egyenleteket kapjuk:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 0\,, \qquad (I')$$

$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_4 = 0\,, \qquad (II')$$

$$a_1^2 x_1 + a_2^2 x_2 + a_3^2 x_3 + a_4^2 x_4 = 0\,, \qquad (III')$$

$$a_1^3 x_1 + a_2^3 x_2 + a_3^3 x_3 + a_4^3 x_4 = b\,. \qquad (IV')$$

Az (I')—(IV') egyenletrendszer determinánsa egy Vandermonde-féle determináns [9]. Az egyenletrendszer megoldása tehát a következő:

$$x_1 = \frac{b}{(a_1 - a_2)(a_1 - a_3)(a_1 - a_4)}; \quad x_2 = \frac{b}{(a_2 - a_1)(a_2 - a_3)(a_2 - a_4)};$$

$$x_3 = \frac{b}{(a_3 - a_1)(a_3 - a_2)(a_3 - a_4)}; \quad x_4 = \frac{b}{(a_4 - a_1)(a_4 - a_2)(a_4 - a_3)}.$$

A (30) kifejezések behelyettesítése után:

$$(A_n - A_n')\, r^n = -\frac{p_n(r)}{K} \cdot \frac{r^3}{8n(n-1)}\,, \qquad (I'')$$

$$B_n\, r^{-n} = -\frac{p_n(r)}{K} \cdot \frac{r^3}{8n(n+1)}\,, \qquad (II'')$$

$$(C_n - C_n')\, r^{n+2} = \frac{p_n(r)}{K} \cdot \frac{r^3}{8n(n+1)}\,, \qquad (III'')$$

$$D_n\, r^{-n+2} = \frac{p_n(r)}{K} \cdot \frac{r^3}{8n(n-1)}\,. \qquad (IV'')$$

Az (I'')—(IV''), (V), (VI) egyenletrendszerből, amely már egyszerű helyettesítésekkel megoldható, az ismeretlen állandókra a következő kifejezéseket kapjuk:

$$A_n = \frac{p_n(r)\, r}{K}\left[-\frac{3}{104n}\, r^{n+2} + \frac{9n^2 + 160}{312n^2(n-1)}\, r^n\right] + \frac{p_0(r)\, r}{K}\left[-\frac{12n + 40}{39n^2(n-1)}\right],$$

$$B_n = \frac{p_n(r)\,r}{K}\left[-\frac{r^{n+2}}{8n(n+1)}\right],$$

$$C_n = \frac{p_n(r)\,r}{K}\left[\frac{3}{104(n+1)}r^{n+2} - \frac{3}{104n}r^n\right] + \frac{p_0(r)\,r}{K}\cdot\frac{4}{13n(n+1)},$$

$$D_n = \frac{p_n(r)\,r}{K}\cdot\frac{r^n}{8n(n-1)}, \tag{32}$$

$$A'_n = \frac{p_n(r)\,r}{K}\left[-\frac{3}{104n}r^{n+2} + \frac{9n^2+160}{312n^2(n-1)}r^n + \frac{1}{8n(n-1)}r^{2-n}\right] + \frac{p_0(r)\,r}{K}\left[-\frac{12n+40}{39n^2(n-1)}\right],$$

$$C'_n = \frac{p_n(r)\,r}{K}\left[\frac{3}{104(n+1)}r^{n+2} - \frac{3}{104n}r^n - \frac{1}{8n(n+1)}r^{-n}\right] + \frac{p_0(r)\,r}{K}\cdot\frac{4}{13n(n+1)}.$$

$$(n = 2, 4, 6, \ldots)$$

A (32) kifejezéseket (28a) és (28b) egyenletekbe helyettesítve, megkapjuk az r sugarú körön ható $p_n(r)\cos n\varphi$ és $p_0(r)$ terhek által okozott lehajlást. A teljes $w_n(r)$ lehajlást ezeknek a kifejezéseknek az integrálása révén kapjuk meg. Bevezetve az

$$\bar{A}_n(r) = \int_0^r A_n(r)\,dr + \int_r^1 A'_n(r)\,dr\,; \quad \bar{B}_n(r) = \int_0^r B_n(r)\,dr\,;$$
$$\bar{C}_n(r) = \int_0^r C_n(r)\,dr + \int_r^1 C'_n(r)\,dr\,; \quad \bar{D}_n(r) = \int_0^r D_n(r)\,dr \tag{32a}$$

jelöléseket, a teljes lehajlás:

$$w_n(r) = \bar{A}_n(r)\,r^n + \bar{B}_n(r)\,r^{-n} + \bar{C}_n(r)\,r^{n+2} + \bar{D}_n(r)\,r^{-n+2}. \tag{33}$$

A $w_0(r), w_2(r), w_4(r), \ldots$ Fourier-sor együtthatók meghatározása után (22) megadja a $p(r,\varphi)$ fiktív teher által okozott $w(r,\varphi)$ lehajlást.

4. A kihajlási alak és a kritikus erő numerikus számítása

A fentebb levezetett képletek alapján elvégezzük az iterációs számítást. A számítások egyszerűsítésére feltesszük, hogy

$$K = 1, \tag{34a}$$

$$\frac{P}{\pi} = 1 . \tag{34b}$$

Az iterációt $w^0(r, \varphi)$ kihajlási alak felvételével kezdjük meg. Legyen

$$w^0(r, \varphi) = \frac{1}{2} r^2 (1 + \cos 2\varphi) . \tag{35}$$

Ez parabola-hengerfelület egyenlete, amely szerint a körlemez UV egyenese (1. ábra) parabolává deformálódik, míg az UV-re merőleges egyenesekből a parabola alkotói lesznek. A körlemez középpontja — amint előzőleg feltételeztük — nem mozdul el; az U és V pontok elmozdulása egységnyi. A $\varkappa_r$, $\varkappa_\varphi$, $\varkappa_{r\varphi}$ görbületek (4) képleteibe és n_r, n_φ, $n_{r\varphi}$ metszeterők (21) képleteibe (34) és (35)-öt behelyettesítve, és az így kapott kifejezéseket (9*)-ba helyettesítve, a fiktív teherre a következőt kapjuk:

$$p^0(r, \varphi) = -6 + 4r^2 + \sum_{n=2,4,6,\ldots} [(2n+4) r^{n+2} - (2n+8) r^n] \cos n\varphi , \tag{36}$$

vagyis

$$\begin{aligned} p_0(r) &= -6 + 4r^2 , \\ p_n(r) &= (2n+4) r^{n+2} - (2n+8) r^n . \\ &(n = 2, 4, 6, \ldots) \end{aligned} \tag{37}$$

A (37) kifejezéseket (26) és (32) képletekbe behelyettesítve, majd a (26a) és (32a) integrálásokat elvégezve, (27) és (33) megadja $w^1(r, \varphi)$ első iterált lehajlás Fourier-sora egyes tagjainak együtthatóit, amiből (22) szerint

$$\begin{aligned} w^1(r, \varphi) = {} & \frac{2}{5} r^2 - \frac{3}{32} r^4 + \frac{1}{144} r^6 + \\ & + \sum_{n=2,4,6,\ldots} \left[\frac{-26n^5 + 404n^4 + 5382n^3 + 18688n^2 + 21632n + 3840}{1248n^2 (n^2-1)(n+2)(n+3)} r^n + \right. \\ & + \frac{13n^3 + 15n^2 - 130n - 192}{208n(n+1)(n+2)(n+3)} r^{n+2} - \frac{n+4}{16(n+1)(n+2)} r^{n+4} + \\ & \left. + \frac{1}{48(n+3)} r^{n+6} \right] \cdot \cos n\varphi . \end{aligned} \tag{38}$$

A (38) végtelen sor a körlemez belsejében és kerületén mindenhol, még az U és V pontokon is konvergál. Ugyanis $r = 1$ és $n \to \infty$ esetén a szögletes zárójelben levő kifejezés $1/n^2$-el arányosan csökken, mert az $1/n$-el arányos tag eltűnik.

A (38) képletből az U és V pontok lehajlására a Fourier-sor első hat tagja a következő számértékeket adja (lásd I. táblázat).

I. táblázat

Az U és V pontok lehajlása az első iteráció szerint

Számításba vett Fourier-sor tagok	Lehajlás
w_0^{I}	**+0,313194**
w_2^{I}	+0,530770
$\sum_{n=0,2} w_n^{\mathrm{I}}$	**+0,843964**
w_4^{I}	+0,052807
$\sum_{n=0,2,4} w_n^{\mathrm{I}}$	**+0,896771**
w_6^{I}	+0,015160
$\sum_{n=0,2,4,6} w_n^{\mathrm{I}}$	**+0,911931**
w_8^{I}	+0,006345
$\sum_{n=0,2,\ldots,8} w_n^{\mathrm{I}}$	**+0,918276**
w_{10}^{I}	+0,003241
$\sum_{n=0,2,\ldots,10} w_n^{\mathrm{I}}$	**+0,921517**

Az I. táblázatból látható, hogy a lehajlás Fourier-sorának tagjai igen gyorsan csökkennek. A lehajlási alakra azonban csak közelítő kifejezést kapunk, bárhány tagot is veszünk figyelembe. Ezért az iteráció továbbfolytatásánál csak w_0^{I}, w_2^{I}, w_4^{I} és w_6^{I} tagokat fogjuk számításba venni. Az U és V pontok lehajlásának számításánál w_8^{I} és w_{10}^{I} tagok elhanyagolása az I. táblázat szerint kb. 1%-os hibát okoz. (A w_{10}^{I} után következő tagok elhanyagolása már csak ezrelék nagyságrendű hibát okozhat.)

A fiktív teher első iterált értékére (38) Fourier-sor első négy tagjának ($n = 0, 2, 4, 6$) figyelembevételével a következő kifejezést kapjuk:

$$p^{\mathrm{I}}(r,\varphi) = (-6{,}155128 + 6{,}332052\, r^2 - 5{,}074541\, r^4 + 5{,}023077\, r^6 - -2{,}910716\, r^8 + 1{,}178663\, r^{10} + 10{,}048077\, r^{12} - 8{,}785712\, r^{14} + +1{,}750000\, r^{16}) + (-13{,}764834\, r^2 + 14{,}758974\, r^4 - 9{,}842550\, r^6 + +8{,}003725\, r^8 + 3{,}573412\, r^{10} - 5{,}147495\, r^{12} + 14{,}766023\, r^{14} -$$

$$-11{,}952380\, r^{16} + 2{,}416666\, r^{18}) \cdot \cos 2\varphi + (-15{,}945634\, r^4 + +17{,}072374\, r^6 - 5{,}768955\, r^8 + 4{,}760440\, r^{10} - 2{,}352718\, r^{12} - -0{,}235562\, r^{14} + 17{,}317307\, r^{16} - 15{,}119045\, r^{18} + 3{,}083333\, r^{20}) \cos 4\varphi + +(-16{,}295696\, r^6 + 18{,}437728\, r^6 - 10{,}413004\, r^{10} + 8{,}307692\, r^{12} - -2{,}698719\, r^{14} - 0{,}942674\, r^{16} + 20{,}951924\, r^{18} - 18{,}285713\, r^{20} + +3{,}750000\, r^{22}) \cos 6\varphi + \ldots . \tag{39}$$

A fiktív teher Fourier-sorában szintén csak az első négy tagot vesszük számításba.

A számítást az ismertetett módon tovább folytatva, a $w^{II}(r, \varphi)$ második iterált lehajlás Fourier-sorának első négy tagjára a következő kifejezést kapjuk:

$$w^{II}(r, \varphi) = (+0{,}382997\, r^2 - 0{,}096173\, r^4 + 0{,}010993\, r^6 - -0{,}002202\, r^8 + 0{,}000785\, r^{10} - 0{,}000202\, r^{12} + 0{,}000042\, r^{14} + +0{,}000200\, r^{16} - 0{,}000106\, r^{18} + 0{,}000013\, r^{20}) + (0{,}528899\, r^2 - -0{,}007225\, r^4 - 0{,}035846\, r^6 + 0{,}007687\, r^8 - 0{,}001709\, r^{10} + +0{,}000596\, r^{12} + 0{,}000133\, r^{14} - 0{,}000106\, r^{16} + 0{,}000183\, r^{18} - -0{,}000094\, r^{20} + 0{,}000013\, r^{22}) \cdot \cos 2\varphi + (0{,}062054\, r^4 - -0{,}000464\, r^6 - 0{,}016610\, r^8 + 0{,}004234\, r^{10} - 0{,}000536\, r^{12} + +0{,}000206\, r^{14} - 0{,}000055\, r^{16} - 0{,}000004\, r^{18} + 0{,}000146\, r^{20} - -0{,}000085\, r^{22} + 0{,}000012\, r^{24}) \cos 4\varphi + (0{,}020447\, r^6 + +0{,}000118\, r^8 - 0{,}009094\, r^{10} + 0{,}002667\, r^{12} - 0{,}000602\, r^{14} + +0{,}000236\, r^{16} - 0{,}000042\, r^{18} - 0{,}000009\, r^{20} + 0{,}000129\, r^{22} - -0{,}000075\, r^{24} + 0{,}000011\, r^{26}) \cos 6\varphi . \tag{40}$$

Ezzel a képlettel az U és V pontok lehajlására a II. táblázatban feltüntetett számértékeket kapjuk. A táblázat utolsó oszlopa az első és a második iteráció szerinti lehajlások arányát tünteti fel.

Amint a II. táblázatból látható, a második iterált lehajlás Fourier-sora ugyanolyan gyorsan konvergál, mint az első iterált lehajlásé. Az első és második iterációnál kapott lehajlások λ aránya négy tag figyelembevétele esetén csak 0,1%-kal nagyobb, mintha két tagot vennénk számításba. Nyilvánvaló ebből, hogy a sor $n = 6$-nál magasabbrendű tagjainak elhanyagolása csak igen kis hibát okozhat.

A kritikus nyomóerő (12) és (34b) szerint

$$P_{kr} \approx \lambda P = 1{,}0709\, \pi \approx 3{,}36 .$$

Ez a képlet a számítás elején felvett $r = 1$ és $K = 1$ értékekre vonatkozik. Minthogy a kritikus nyomóerő K-val egyenesen és r-rel fordítottan arányos, az átmérőjének két végpontján nyomott r sugarú és K hajlítási merevségű szabad peremű körlemez kritikus ereje $\mu = 0{,}25$ esetén

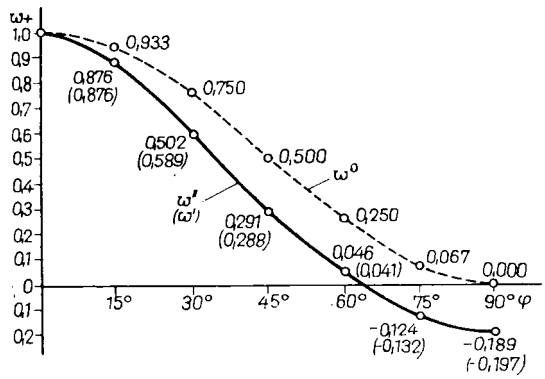
$$P_{kr} = 3{,}36 \frac{K}{r}. \tag{41}$$

II. táblázat

Az U és V pontok lehajlása a második iteráció szerint

Számításba vett Fourier-sor tagok	Lehajlás	$\lambda = w^{I}/w^{II}$
w_0^{II}	**+0,296347**	+1,0568
w_2^{II}	+0,492531	
Σw_n^{II} $n=0,2$	**+0,788878**	+1,0698
w_4^{II}	+0,048898	
Σw_n^{II} $n=0,2,4$	**+0,837776**	+1,0704
w_6^{II}	+0,013786	
Σw_n^{II} $n=0,2,4,6$	**+0,851562**	**+1,0709**

A körlemez peremének $w^{I}(1,\varphi)$ és $w^{II}(1,\varphi)$ kihajlási alakját (a Fourier-sorok első négy tagjának számításbavételével) a 2. ábra szemlélteti. Az U pont ($\varphi = 0$) lehajlását mindkét esetben *egységnek* vettük. A két lehajlásgörbe

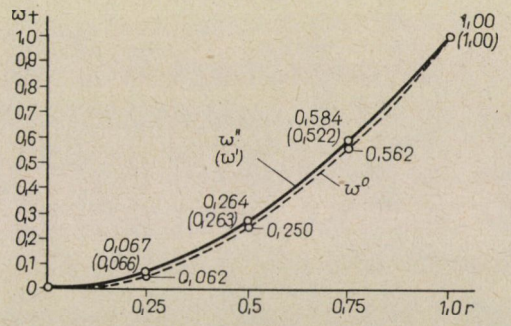


2. ábra. Kihajlott körlemez síkbafejtett peremgörbéje

olyan közel van egymáshoz, hogy külön felrajzolásuk nem volt lehetséges. A görbe melletti zárójel nélküli számok w^{II}-höz, a zárójelbe tett számok pedig w^{I}-hez tartoznak. A $\varphi = 90°$-hoz tartozó pont (az 1. ábrán M jelű pont) lehajlása — amint az ábrán látható — ellenkező irányú, mint U (és V) pont

lehajlása, és annak 18,9%-át teszi ki (az első iteráció szerint 19,7%-át). Teljesség kedvéért 2. ábrán szaggatott vonallal a kiinduláskor felvett w^0 peremgörbét is feltüntettük.

A 3. ábra a körlemez UV metszetének $w^{I}(r, 0)$ és $w^{II}(r, 0)$ kihajlási alakját mutatja (a Fourier-sorok első négy tagjának számításbavételével). Az U pont ($r = 1$) lehajlását mindkét esetben egységnek vettük. A két görbe itt is olyan közel van egymáshoz, hogy külön nem rajzolható fel. A zárójelbe írt számok az első iterációval kapott értékek. A szaggatott vonal a kiinduláskor felvett $w^0(r, 0)$ parabolát ábrázolja.



3. ábra. Kihajlott körlemez $U-V$ metszete

A Fourier-sor négynél több tagjának számításbavételével és az iteráció továbbfolytatásával a kritikus erőt még nagyobb pontossággal lehet meghatározni. Ha a Poisson-féle tényező lényegesen eltér az itt felvett 0,25 értéktől, akkor a közölt számítást a megfelelő μ alapján újra el kell végezni.

IRODALOM

1. Bryan, G. M.: Stability of a Plane Plate under Thrusts in its Own Plane. *Proc. Lond. Math. Soc.* **22** (1891), 54.
2. Meissner, E.: Über das Knicken kreisförmiger Scheiben. *Schweiz. Bauzeitung* **101** (1933), 87—89.
3. Yamaki, N.: Buckling of a Thin Annular Plate under Uniform Compression, *Journ. Applied Mechanics* **25** (1958), 267—273
4. Mansfield, E. H.: On the Buckling of an Annular Plate. *Quart. Journ. of Mechanics and Appl. Mathematics* **13** (1960), 16—23.
5. Timoshenko, S. P.—Gere, J. M.: Theory of Elastic Stability. McGraw-Hill Book Company, New York 1961.
6. Collatz, L.: Eigenwertaufgaben mit technischen Anwendungen. Akademische Verlagsgesellschaft Berlin 1949.
7. Girkmann, K.: Flächentragwerke; 6. Aufl. Springer-Verlag, Wien 1963.
8. Timoshenko, S. P.—Woinowsky-Krieger, S.: Theory of Plates and Shells. McGraw-Hill Book Company, New York 1959.
9. Naas, J.—Schmid, H. L.: Mathematisches Wörterbuch. Akademie-Verlag, Berlin G. B. Teubner Verlagsgesellschaft. Leipzig. II. 796 o. 1962.

TÉRBELI RÁCSOSTARTÓK RÚDERŐINEK ELLENŐRZÉSE

RÉDEI ISTVÁN

[Beérkezett 1965. április 5-én]

Szerző egy előző dolgozatában síkbeli rácsostartók ellenőrzésére alkalmas eljárást mutatott be. Jelen dolgozat ezen eljárásnak térbeli rácsostartókra való alkalmazása. Szerző az ellenőrző eljárás alapjául szolgáló összefüggést tisztán geometriai-statikai úton vezeti le, és kimutatja, hogy az összetartozó rúderők és rúdhosszak szorzatainak algebrai összege a szerkezet rendszerétől, alakjától, a rudak számától, irányától és hosszától független állandó. Ez az összeg egyedül a külső erők függvénye, sőt, bizonyos esetekben kizárólag csak az aktív erőktől függ. Az eljárás egyaránt érvényes külsőleg és belsőleg határozott és határozatlan rácsostartókra. Alkalmazását számpéldák világítják meg.

1. Bevezetés

Jelen tanulmány kiegészítő részét képezi az *MTA VI. Oszt. Közleményei*nek 33. kötetében megjelent dolgozatnak, amely síkbeli rácsostartók ellenőrzésére alkalmas számító eljárást ismertetett. Jelen tanulmány célja: térbeli rácsostartók ellenőrzésére alkalmas egyszerű számítási eljárás levezetése és bemutatása.

2. Térbeli tartók megtámasztása

Térbeli erőrendszer egyensúlyát 6 független egyenlet fejezi ki:

$$\Sigma X = 0\,,\ \Sigma Y = 0,\ \Sigma Z = 0,\ \Sigma M_x = 0,\ \Sigma M_y = 0,\ \Sigma M_z = 0\,.$$

Ennek megfelelőleg, a térbeli tartók statikailag határozott megtámasztásához alkalmasan választott 6 támasztórúd (földhöz kapcsoló rúd) szükséges és elegendő. Hatnál több támasztórúd a szerkezet térbeli erőjátékát külsőleg statikailag határozatlanná teszi.

Azonban a 6 támasztórúd iránya, mint ismeretes, korántsem lehet tetszőleges. Nem határozott a térbeli megtámasztás, ha

1. mind a 6 támasztórúd egy közös síkkal párhuzamos;

2. van olyan tengely, amely valamennyi támasztórúd irányát metszi, vagy olyan tengely, amely valamennyi támasztórúd irányával párhuzamos;

3. 3—3 támasztórúd egy-egy közös ponton megy át;

4. 3 támasztórúd közös ponton megy át, a többi három rúd pedig egymással párhuzamos;

5. 3—3 rúd egy-egy síkban fekszik;

6. 4 rúd közös ponton megy át (akár a végesben, akár a végtelenben fekszik ez a közös pont);

7. 4 rúd közös síkban van.

Két térbeli támasztórúd egyesítése térbeli ingát, három rúd egyesítése gömbcsuklót eredményez. Ezek szerint elvileg alkalmazható volna

6 támasztórúd,

4 támasztórúd és 1 inga,

2 támasztórúd és 2 inga,

3 inga,

3 támasztórúd és 1 gömbcsukló,

1 támasztórúd, 1 inga és 1 gömbcsukló,

természetesen gondosan elkerülve fenti 1—7. alatti eseteket.

A műszaki gyakorlatban azonban — ritka kivételektől eltekintve — a térbeli tartókat saruk segítségével 4 csomóponton támasztjuk alá. Abból a szempontból vizsgálva a kérdést, hogy ezek a műszaki gyakorlatban alkalmazott saruk az összesen lehetséges 3 irányú elmozdulásból és 3 irányú elfordulásból hányra adnak lehetőséget, vagy, ami ugyanazt jelenti, hány képzelt rúdnak felelnek meg, a gyakorlatban alkalmazott sarukat alábbiak szerint osztályozhatjuk:

1. hengeres állósaru (ún. fix saru) 1 irányú elfordulást tesz lehetővé, tehát 5 rúdnak felel meg;

2. álló gömbcsuklós saru 3 irányú elfordulást tesz lehetővé, tehát 3 rúdnak felel meg;

3. hengerszekeres, csuklós mozgósaru 1 irányú elmozdulást és 1 irányú elfordulást tesz lehetővé, tehát 4 rúdnak felel meg;

4. kétsorú hengerszekeres, hengercsuklós mozgósaru 2 irányú elmozdulást és 1 irányú elfordulást tesz lehetővé, tehát 3 rúdnak felel meg.

5. hengerszekeres, gömbcsuklós saru 1 irányú elmozdulást és 3 irányú elfordulást tesz lehetővé, tehát 2 rúdnak felel meg;

6. kétsorú hengerszekeres, gömbcsuklós saru 2 irányú elmozdulást és 3 irányú elfordulást tesz lehetővé, tehát 1 rúdnak felel meg.

Figyelembe véve a 4 ponton való megtámasztást, elvileg alkalmazható volna:

Egy 2. alatti álló gömbcsuklós és három 6. alatti 2 hengerszekeres, gömbcsuklós saru, avval a megszorítással, hogy utóbbiak közül az egyik *nem fekhetik vízszintes síkban.*

Ez az utóbbi követelés gyakorlatilag úgyszólván kivihetetlen. Ugyancsak kivihetetlenek a többi elképzelhető kombinációk, mint pl. egy 4. alatti és

három 6. alatti, vagy két 5. alatti és két 6. alatti saruösszetétel, mert ugyanúgy, mint az elsőnél, nem vízszintes irányú sarufészkeket igényelnek.

Mármost a tényleges mérnöki gyakorlat mindenekelőtt valamennyi sarut vízszintes lapra fekteti fel (kivételek egyes nagy ívmagasságú ívtartók). A tényleges gyakorlat kisebb szélességű térbeli tartókon két hengercsuklós állósarut és két 1 hengerszekeres, hengercsuklós mozgósarut; széles tartókon egy gömbcsuklós állósarut, két egyhengerszekeres, hengercsuklós mozgósarut és egy 2 hengerszekeres, gömbcsuklós mozgósarut alkalmaz.

Előbbi esetben a képzelt támasztórudak száma: $5 + 5 + 4 + 4 = 18$; utóbbi esetben $3 + 4 + 4 + 1 = 12$; tehát mindkét esetben jóval nagyobb, mint az egyensúlyi feltételekből statikai úton megállapítható és feltétlen szükséges 6 rúd.

Fentiekből megállapítható, hogy térbeli tartószerkezetek külső megtámasztása, nagyon kevés kivételtől eltekintve, statikailag határozatlan. A megtámasztás kényszererői csak több-kevesebb idealizálással, leegyszerűsítéssel állapíthatók vagy becsülhetők meg.

3. Az alaptétel levezetése

Az itt következő levezetésben, felesleges ismétlések elkerülése végett, gyakran történik hivatkozás a síkbeli rácsostartókra levezetett alaptételre.

3.1. Csuklós tetraéder esete

Miként a síkbeli rácsostartónál a szabálytalan alakú csuklós háromszögből indultunk ki, a térbeli összefüggés kiindulását a szabálytalan alakú tetraéder képezi (1. ábra).

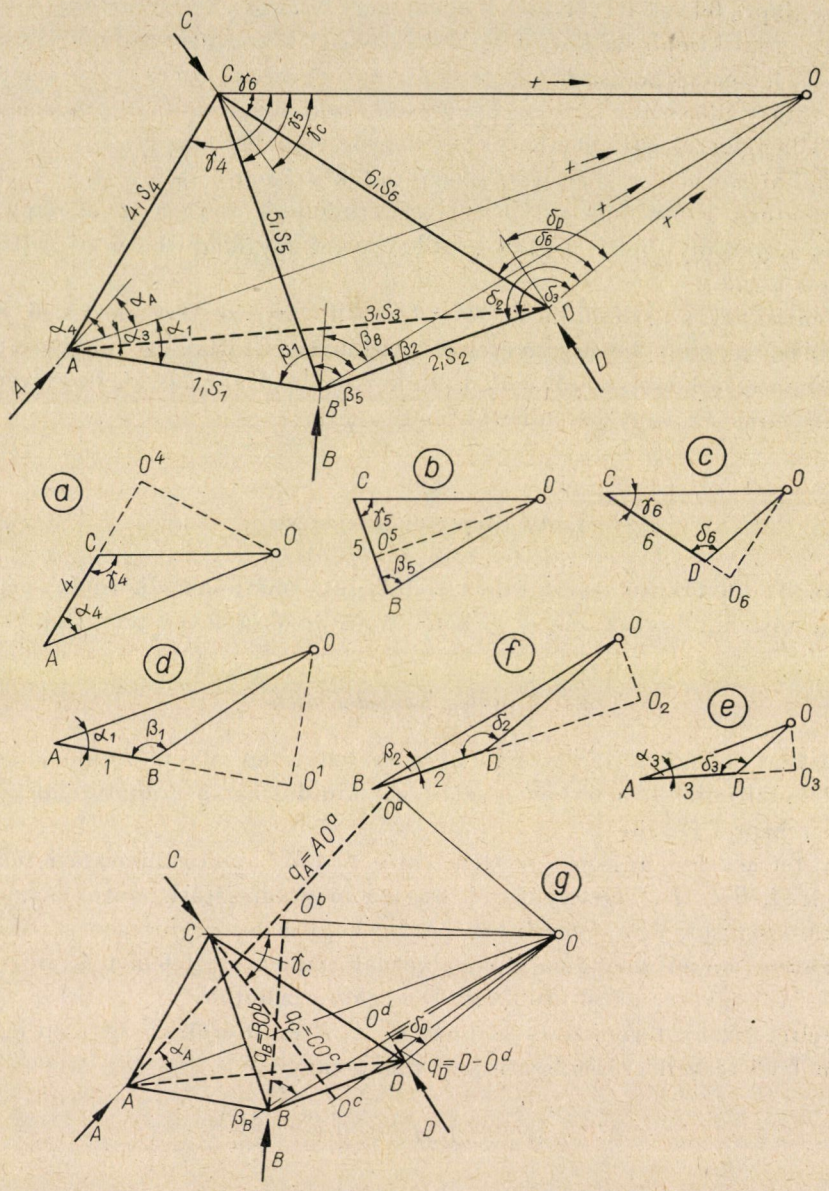
A tetraéderre hasson egyetlen aktív $\bar{C}$ erő, a megtámasztási pontok legyenek A, B és D. Tételezzük fel, hogy a megtámasztási pontokon maguk a megtámasztások úgy vannak kiképezve, hogy azok együttesen statikailag határozott és merev megtámasztást alkotnak, ennek megfelelően $\bar{C}$ aktív erő megadásával egyszersmind utóbbiak is meghatározhatók.

Feltételezzük természetesen, hogy C, A, B és D erők együttesen egyensúlyban levő térbeli erőrendszert képeznek, vagyis

$$(C, A, B, D) \doteq 0.$$

A tetraéder 6 élét képező 6 rúdban az (A, B, D, C) erőrendszer hatására rúderők ébrednek, melyeknek meghatározása az (A, B, C, D) erőrendszer ismeretében teljesen egyértelműen lehetséges. Vagyis, ha az egyes rudakban fellépő rúderőket a rudak számával megegyező indexszel látjuk el, a fellépő rúderők:

$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$; ezeket a rúderőket — ha talán valamivel bonyolultabb úton, mint a síkbeli tartókon —, de minden körülmények között egyértelműen meg tudjuk határozni.



1. ábra. Csuklós tetraéder

Tételezzük fel, hogy ez a meghatározás megtörtént és ismerjük valamennyi rúdban fellépő rúderőt. Egyensúlyi rendszerről lévén szó, a csuklós

tetraéder bármelyik csuklópontjában összefutó külső és belső erők önmagukban külön-külön egyensúlyban vannak. Tehát az 1. ábra jelöléseivel:

$$(C, S_4, S_6, S_5) \doteq 0,$$
$$(A, S_3, S_4, S_1) \doteq 0,$$
$$(B, S_1, S_5, S_2) \doteq 0,$$
$$(D, S_2, S_3, S_6) \doteq 0.$$

Azonban, ha a fenti egyenletek fennállnak, ez egyszersmind azt jelenti, hogy az egy-egy egyenletben felsorolt külső és belső erők vetületeinek algebrai összege a *tér* bármely egyenesére vonatkoztatva zérust kell hogy eredményezzen.

Ezekután vegyünk fel a térben teljesen tetszőlegesen valamely O pontot (1. ábra). Ha a felvett O pontot a tetraéder valamelyik rúdjának két végpontjával összekötjük, síkban fekvő háromszöget kapunk, tekintettel arra, hogy 3 térbeli pont, hacsak nem fekszik egy egyesen, egy síkot határoz meg. Ha tehát ezen összekötő egyenesekre írjuk fel az előbb említett vetületi tételeket, minden esetben közös síkban fekvő erőkkel van dolgunk.

Ezekután kössük össze O pontot a tetraéder 4 csúcsával. Az így származó $\overline{CO}, \overline{AO}, \overline{BO}, \overline{DO}$ egyeneseken vegyük fel a pozitív irányt oly módon, hogy az mind a négy egyenesen O pont *felé* mutasson.

Legyen a külső $\bar{C}, \bar{A}, \bar{B}, \bar{D}$ erők *pozitív* iránya és $\overline{CO}, \overline{AO}, \overline{BO}$ és $\overline{DO}$ segédegyenesek pozitív iránya közötti szögek jele

a C pontban, a $\bar{C}$ külső erő és $\overline{CO}$ egyenes között γ_C,
az A pontban, az $\bar{A}$ külső erő és $\overline{AO}$ egyenes között α_A,
a B pontban, a $\bar{B}$ külső erő és $\overline{BO}$ egyenes között β_B,
a D pontban, a $\bar{D}$ külső erő és $\overline{DO}$ egyenes között δ_D.

Legyen továbbá a tetraéder éleit képező egyenesdarabok és a segédegyenesek *pozitív iránya* közötti szögek betűjele

a C pontban: γ_4, γ_5 és γ_6,
az A pontban: $\alpha_1\ \alpha_3$ és α_4,
a B pontban: β_1, β_2 és β_5,
a D pontban: δ_2, δ_3 és δ_6.

Mindezek után írjuk fel a négy segédegyenesre, $\overline{CO}, \overline{AO}, \overline{BO}$ és $\overline{DO}$-ra az erővetületek 0-értékűségét:

$$C \cos\gamma_C + S_4 \cos\gamma_4 + S_5 \cos\gamma_5 + S_6 \cos\gamma_6 = 0,$$
$$A \cos\alpha_A + S_1 \cos\alpha_1 + S_3 \cos\alpha_3 + S_4 \cos\alpha_4 = 0,$$
$$B \cos\beta_B + S_1 \cos\beta_1 + S_2 \cos\beta_2 + S_5 \cos\beta_5 = 0,$$
$$D \cos\delta_D + S_2 \cos\delta_2 + S_3 \cos\delta_3 + S_6 \cos\delta_6 = 0.$$

Szorozzuk meg ezen egyenletrendszer első egyenletét a $\overline{CO}$ távolsággal, a második egyenletet az $\overline{AO}$ távolsággal, a harmadik egyenletet a $\overline{BO}$ és a negyedik egyenletet a $\overline{DO}$ távolsággal és mindjárt adjuk is össze az így nyert egyenleteket. Eredményünk alábbi lesz:

$$\begin{aligned}&\overline{CO}\cdot C\cos\gamma_C+\overline{CO}\cdot S_4\cos\gamma_4+\overline{CO}\cdot S_5\cos\gamma_5+\overline{CO}\cdot S_6\cos\gamma_6+\\&+\overline{AO}\cdot A\cos\alpha_A+\overline{AO}\cdot S_1\cos\alpha_1+\overline{AO}\cdot S_3\cos\alpha_3+\overline{AO}\cdot S_4\cos\alpha_4+\\&+\overline{BO}\cdot B\cos\beta_B+\overline{BO}\cdot S_1\cos\beta_1+\overline{BO}\cdot S_2\cos\beta_2+\overline{BO}\cdot S_5\cos\beta_5+\\&+\overline{DO}\cdot D\cos\delta_D+\overline{DO}\cdot S_2\cos\delta_2+\overline{DO}\cdot S_3\cos\delta_3+\overline{DO}\cdot S_6\cos\delta_6=0.\end{aligned}\tag{I}$$

A fenti egyenletben minden rúderő két összeadandóban szerepel. Vonjuk össze ezeket az összeadandókat:

$$\begin{aligned}&\overline{CO}\cdot S_4\cos\gamma_4+\overline{AO}\cdot S_4\cos\alpha_4=S_4(\overline{CO}\cos\gamma_4+\overline{AO}\cos\alpha_4),\\&\overline{CO}\cdot S_5\cos\gamma_5+\overline{BO}\cdot S_5\cos\beta_5=S_5(\overline{CO}\cos\gamma_5+\overline{BO}\cos\beta_5),\\&\overline{CO}\cdot S_6\cos\gamma_6+\overline{DO}\cdot S_6\cos\delta_6=S_6(\overline{CO}\cos\gamma_6+\overline{DO}\cos\delta_6),\\&\overline{AO}\cdot S_1\cos\alpha_1+\overline{BO}\cdot S_1\cos\beta_1=S_1(\overline{AO}\cos\alpha_1+\overline{BO}\cos\beta_1),\\&\overline{AO}\cdot S_3\cos\alpha_3+\overline{DO}\cdot S_3\cos\delta_3=S_3(\overline{AO}\cos\alpha_3+\overline{DO}\cos\delta_3),\\&\overline{BO}\cdot S_2\cos\beta_2+\overline{DO}\cdot S_2\cos\delta_2=S_2(\overline{BO}\cos\beta_2+\overline{DO}\cos\delta_2).\end{aligned}\tag{II}$$

Azonban a zárójelekben foglalt mennyiségeknek nagyon egyszerű jelentésük van. Az 1a.—1f. ábrákon kisebb léptékben kirajzoltuk az egyes rudakat, az O ponttal és a rudak két végéhez rajzolt segédegyenesekkel.

1a. ábra alapján:

$$\frac{AO^4}{AO}=\cos\alpha_4,\ \frac{CO^4}{CO}=\cos(\pi-\gamma_4)=-\cos\gamma_4,$$

$$AO\cdot\alpha_4+CO\cdot\cos\gamma_4=AO^4-CO^4=l_4;$$

1b. ábra alapján:

$$\frac{BO^5}{BO}=\cos\beta_4,\ \frac{CO^5}{CO}=\cos\gamma_5,$$

$$BO\cdot\cos\beta_5+CO\cdot\cos\gamma_5=BO^5+CO^5=l_5;$$

1c. ábra alapján:

$$\frac{CO^6}{CO}=\cos\gamma_6,\ \frac{DO^6}{DO}=\cos(\pi-\delta_6)=-\cos\delta_6,$$

$$CO\cdot\cos\gamma_6+DO\cdot\cos\delta_6=CO^6-DO^6=l_6;$$

1d. ábra alapján:

$$\frac{AO^1}{AO} = \cos\alpha_1\,,\quad \frac{BO^1}{BO} = \cos(\pi-\beta_1) = -\cos\beta_1\,,$$

$$AO\cdot\cos\alpha_1 + BO\cdot\cos\beta_1 = AO^1 - BO^1 = l_1\,;$$

1e. ábra alapján:

$$\frac{AO^3}{AO} = \cos\alpha_3\,,\quad \frac{DO^3}{DO} = \cos(\pi-\delta_3) = -\cos\delta_3\,,$$

$$AO\cdot\cos\alpha_3 + DO\cdot\cos\delta_3 = AO^3 - DO^3 = l_3\,;$$

1f. ábra alapján:

$$\frac{BO^2}{BO} = \cos\beta_2\,,\quad \frac{DO^2}{DO} = \cos(\pi-\delta_2) = -\cos\delta_2\,,$$

$$AO\cdot\cos\beta_2 + DO\cdot\cos\delta_2 = BO^2 - DO^2 = l_2\,,$$

vagyis a (II) egyenletek sorjában így írhatók:

$$S_4 l_4\,;\ S_5 l_5\,;\ S_6 l_6\,;\ S_1 l_1\,;\ S_3 l_3 \text{ és } S_2 l_2\,;$$

ha ti. l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 és l_6-tal az 1, 2, 3, 4, 5, illetve 6 rudak hosszát jelöljük.

Most még állapítsuk meg az (I) egyenlet első oszlopában szereplő 4 összeadandónak jelentését, ti. azokét, melyekben a külső erők szerepelnek.

Az 1g. ábrán ismét kirajzoltuk az ($ABCD$) tetraédert, a külső erőkkel és az O ponttal. Bocsássunk O pontból valamennyi erő irányára merőlegest és e merőlegesnek az erő irányával való metszéspontját jelöljük O^c, O^a, O^b és O^d-vel. Az 1g. ábra alapján

$$\frac{CO^c}{CO} = \cos\gamma_C\,;\quad \frac{AO^a}{AO} = \cos\alpha_A\,;\quad \frac{BO^b}{BO} = \cos\beta_B\,,\quad \frac{BO^d}{BO} = \cos\delta_D\,,$$

tehát

$$CO\cos\gamma_C = q_C\,,\quad AO\cos\alpha_A = q_A\,,\quad BO\cos\beta_B = q_B\,,\quad DO\cos\delta_D = q_D\,,$$

ha ti. O pontból az erő irányára bocsátott merőlegesnek az erő támadáspontjától mért CO^c, AO^a, BO^b, illetve DO^d távolságát (az 1g. ábrán vonalkázott távolságokat) rendre q_C, q_A, q_B és q_D-nek nevezzük. A továbbiakban ezeket a q távolságokat *az erők karjainak* nevezzük és előjeles távolságoknak tekintjük. A kart akkor nevezzük *pozitívnak*, ha az erő *iránya* az O^c, O^a, O^b, illetve O^d metszéspont *felé mutat*. (Utóbbi logikus következménye annak, hogy a pozitív erőirány és a pozitív segédegyenes iránya közti szöget neveztük $\gamma_C, \alpha_A, \beta_B$, illetve δ_D-nek; ha ti. ez a szög $\pi/2$-nél nagyobb, úgy cos γ_C, cos α_A stb. is, tehát $CO\cdot\cos\gamma_C$, $AO\cdot\cos\alpha_A$ stb. is negatív.)

Mindezeket az eredményeket (I) egyenletbe behelyettesítve, a

$$Cq_C + Aq_A + Bq_B + Dq_D + S_1 l_1 + S_2 l_2 + S_3 l_3 + S_4 l_4 + S_5 l_5 + S_6 l_6 = 0$$

összefüggést kapjuk. Szimbolikusan írva:

$$\Sigma P_i q_i + \Sigma S_i l_i = 0\,,$$

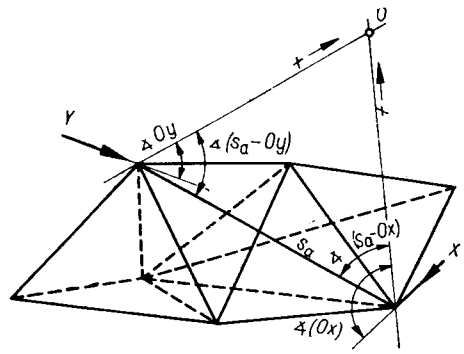
illetve

$$\Sigma P_i q_i = -\Sigma S_i l_i\,, \qquad \text{(III)}$$

ahol P_i általában külső erőt jelent, q_i pedig annak fentiek szerint értelmezett karját jelenti. S_i rúderőt, l_i ugyanannak rúdhosszát jelenti. A szummáció bal oldalon az összes erőre ($i = 1, 2, 3, 4$), jobb oldalon az összes rúdra ($i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$) terjesztendő ki.

3.2. Általános térbeli rácsostartó esete

A 2. ábra általános térbeli rácsostartót tüntet fel. A tartónak fölös rúdjai is vannak, tehát belsőleg statikailag határozatlan felépítésű. A tartót $x, y, \ldots$ csomópontjain $X, Y, \ldots$ külső (aktív- és kényszer-) erők terhelik. Kiinduló



2. ábra. Általános térbeli rácsostartó

feltételünk az, hogy az $(X, Y, \ldots)$ erőrendszer önmagában egyensúlyban van, továbbá, hogy a tartó ezen erők hatására nyugalomban marad, vagyis az egyes csomópontok az $(X, Y, \ldots)$ erők hatására nem mozdulnak el. Utóbbi csak akkor lehetséges, ha külön-külön minden egyes csomópontra ható külső erő és az ugyanezen csomópontba befutó 3, vagy annál több rúd rúderője együttesen egyensúlyi erőrendszert képez.

Ezek szerint a tér tetszés szerinti pontjában felvett O pontból kiinduló és O pontot a tartó egyes csomópontjaival összekötő $Ox, Oy, \ldots$ egyenesek mindegyikére felírható az erővetületek 0-értékűsége, vagyis:

$$X\cos(Ox) + S_a\cos(s_a - Ox) + S_b\cos(s_b - Ob) + \\ + \ldots + S_n\cos(s_n - On) = 0\,,$$
$$Y\cos(Oy) + S_a\cos(s_a - Oy) + S_c\cos(s_c - Oc) + \\ + \ldots + S_m\cos(s_m - Om) = 0 \qquad \text{(IV)}$$
$$\text{stb.},$$

ahol a zárójeles kifejezések az ábrán feltüntetett szögeket jelentik. Ilyen egyenletet pontosan annyit írhatunk fel, ahány (akár külső, akár belső) csomópontja van a szerkezetnek.

A (IV) egyenletrendszerben nyilván minden külső erő szerepel, éspedig egyetlen egy egyenletben, ti. csakis abban, amely az illető erő támadáspontját O ponttal összekötő egyenesre vonatkozó vetítést írja le, pl. X erő csak az Ox egyenesre vonatkozó vetítésben.

Az egyes rúderők mindegyike viszont két egyenletben szerepel, ti. az illető rúd két végpontját O-val összekötő két egyenesre vonatkozó vetületi egyenletben. Így pl. a 2. ábrán feltüntetett (egyébként statikailag fölös) s_a rúd S_a rúderője csakis az x és y csomópontokat O-val összekötő két egyenesre vonatkozó vetületi egyenletben, jelen esetben a (IV) alatti első és második egyenletben fordul elő.

Ámde ilyen viszonyok között a 3.1. alatt az egyszerű tetraéderre alkalmazott levezetés tökéletesen az előbbi úton hajtható végre és a kapható végeredmény is tökéletesen azonos lesz a 3.1. részben kapott (III) végeredménnyel, vagyis

$$\Sigma P_i q_i = -\Sigma S_i l_i\,; \qquad \text{(V)}$$

a különbség mindössze az, hogy a bal oldal szummációja jelen esetben az összes külső (aktív- és kényszer-) erőre, a jobb oldali pedig a térbeli rácsostartó valamennyi rúdjára, beleértve a statikailag fölös rudakat is, kiterjesztendő.

Mindezek alapján a térbeli rácsostartó rúderőinek ellenőrzésére felhasználható alaptétel így foglalható szavakba:

a külső erők és karok szorzatának algebrai összege egyenlő a rúderők és rúdhosszak szorzatainak algebrai összegével; a két összeg azonban ellenkező előjelű.

Amint látjuk, az (V) egyenlet azonos a síkbeli rácsostartókra levezetett alapösszefüggéssel. Az eltérés mindössze az, hogy ezúttal $\bar{P}_i$ térbeli erőrendszert jelent, az erőrendszer egyes erőihez tartozó q_i karok nem egy síkban fekvő, hanem térbeli egyeneseket jelentenek, az (V) egyenlőség jobb oldala pedig a térbeli rácsostartó összes rúdjaira vonatkozó rúderők és rúdhosszak szorzatainak algebrai összegét jelenti.

Itt mindjárt szükséges megjegyezni, hogy bár az O kezdőpont tetszés szerint választható a térben, éppen, mert térbeli tartóról van szó, annak helyét célszerűen kell megválasztani, ha azt akarjuk, hogy az ellenőrzéshez egyszerű

úton jussunk hozzá. Ez itt még sokkal fontosabb, mint síkbeli tartók esetén. Ügyetlen felvétel esetében az (V) képlet bal oldalának kiszámítása igen sok munkával jár.

Befejezésül még egy, inkább elméleti jellegű megjegyzés. Minthogy az O pont felvétele teljesen tetszőleges volt, a levezetett végeredmény O pont bármilyen felvétele esetén érvényben marad. Ebből viszont az is következik, hogy a rúderők és rúdhosszak szorzatának algebrai összege a külső erők felvételével már teljesen meg van határozva, e szorzatösszeg tehát kizárólag a külső erők nagyságától, irányától és értelmétől függ, de nem függ az egyes rudak számától, irányától és a rúdhosszaktól.

Az említett $\Sigma S_i l_i$ szorzatösszeg tehát a szóban forgó rácsostartóra vonatkozólag *állandót, invariánst* képez, ami igen feltűnő jelenség. Szavakkal kifejezve: ha adott a térbeli tartó erőkkel terhelt csomópontjainak helye és adottak maguk a külső (egyensúlyban levő) erők, akkor a rúderők és rúdhosszak szorzatösszege adott és változatlan. Ez a mennyiség teljesen független attól, hogy az erőkkel terhelt csomópontokat hány, milyen irányú és milyen hosszú rudakkal kötjük össze.

Utóbbi megállapítás természetesen csak elméleti érdekességgel bír, gyakorlati haszna nincsen. A műszaki gyakorlatban ugyanis először állapítjuk meg a tartó geometriai viszonyait és csak ezek után a terhelő erőket.

4. Az eljárás gyakorlati alkalmazása

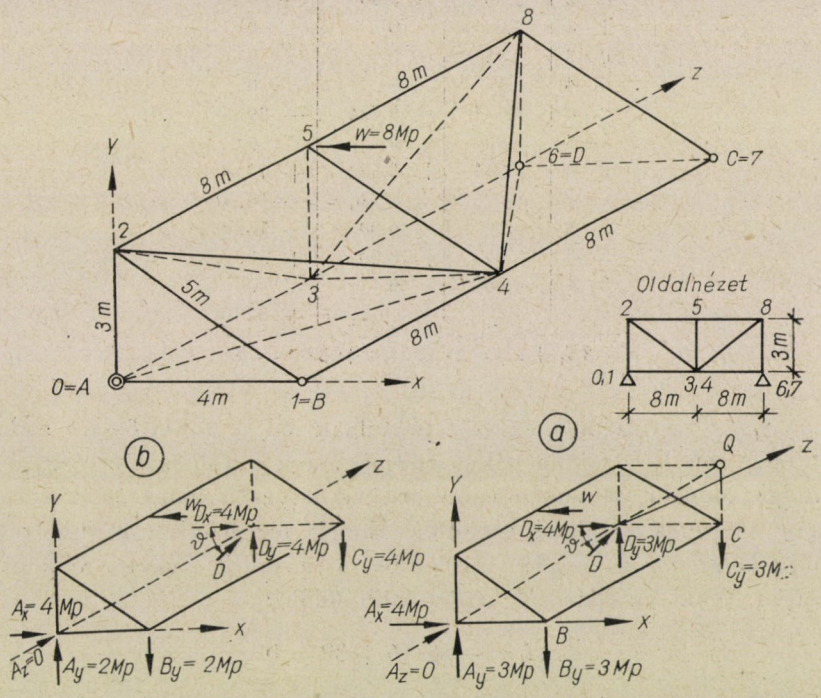
4.1. Számpélda

A 3. ábrán feltüntetett térbeli rácsostartó egy mostanában sűrűn alkalmazott fűrész-tetőszerkezetet tüntet fel, egyszerű vonalozással. A tartó csomópontjainak száma 9, rudak száma 21, tehát a $9 \cdot 3 - 6 = 21$ feltétel teljesítve van.

Terhelő egyetlen külső aktív erő: $W = 8$ Mp (szélerő) az 5 csomóponton. A tartó a $0 = A$, $1 = B$, $7 = C$ és $6 = D$ csomópontokon van megtámasztva.

Az A ponton gömbcsuklót, B és C pontokon függőleges irányú megtámasztó rudakat, D ponton ugyancsak egyszerű támasztórudat képzelünk el, mely utóbbi azonban a tartó véglapjának síkjában (*6—7—8* csomópontok alkotta háromszög síkjában) *ferdén* áll. Így a megtámasztó rudak száma $3 + 3 = 6$, vagyis a tartó idealizált megtámasztási rendszere statikailag határozott. Az elsősorban meghatározandó ismeretlenek: a reakciókomponensek, vagyis A_x, A_y, A_z; B_y; C_y; D_x, D_y. Az ismeretlenek száma tehát 7. Ha azonban a teljes szimmetriából indulunk ki (ami nem feltétlen szükséges!), akkor $B_y = C_y$, vagyis végeredményben csak 6 ismeretlent kell meghatároznunk. Az erők térbeli egyensúlyát kifejező 6 egyenlet:

1. erők vetületösszege x tengelyre: $A_x + D_y + W = 0$,
2. erők vetületösszege y tengelyre: $A_y + B_y + C_y + D_y = 0$,
3. erők vetületösszege z tengelyre: $A_z = 0$,
4. nyomaték x tengelyre: $C_y \cdot 16\ \text{m} + D_y \cdot 16\ \text{m} = 0$,
5. nyomaték y tengelyre: $W \cdot 8\ \text{m} + D_x \cdot 16\ \text{m} = 0$,
6. nyomaték z tengelyre: $B_y \cdot 4\ \text{m} + C_y \cdot 4\ \text{m} + W \cdot 3\ \text{m} = 0$.



3. ábra. Fűrész-tetőszerkezet vizsgálata vízszintes erőre

Fenti egyenleteket, annak figyelembevételével, ami feltételezésünk volt, hogy $B_y = C_y$, egyértelműen meg lehet oldani. A kiadódó eredmények:

$A_x = D_x = -4$ Mp (W irányával ellenkező irányban hat),
$A_y = D_y = +3$ Mp (felfelé mutat),
$A_z = 0$,
$B_y = C_y = -3$ Mp (lefelé mutat, lehorgonyzó erő).
A 3a. ábrán fenti reakcióirányokat feltüntettük.

A ferde rudak hosszai: 2—3 rúd: 8,55 m, 2—4 rúd: 9,42 m, 0—4 rúd: 8,95 m.

Ezekután kiszámítottuk az összes rúderőket. Ezeknek értékeit, egyszersmind az (V) képlet szerinti ellenőrzés számítását az I. táblázat mutatja.

A teljes szimmetria miatt elegendő a rúderőket a tartó felére meghatározni. Figyelembe véve, hogy a tartó közepén levő (5—3), (5—4) és (3—4)

I. táblázat

Rúd jele	Rúdhossz l (m)	Ráderő S (Mp)	Sl (Mpm)
1—0	4.00	— 4.00	— 16.00
1—2	5.00	+ 5.00	+ 25.00
0—2	3.00	— 3.00	— 9.00
1—4	8.00	0	0
0—3	8.00	0	0
0—4	8.95	0	0
2—4	9.434	— 9.434	— 89.00
2—5	8.00	0	0
2—3	8.544	+ 8.544	+ 73.00
		$\Sigma_1 =$	— 16.00
5—3	3.00	— 6.00	— 18.00
5—4	5.00	+ 10.00	+ 50.00
3—4	4.00	0	0
		$\Sigma_2 =$	+ 32.00

$2\Sigma_1 + \Sigma_2 = -2.\ 16.0 + 32.0 = 0$

rudak az egész tartón csak egyszer fordulnak elő, a többi összes rudaknak viszont megvannak a szimmetrikus rúdjai, maga a táblázat csupán a tartó felére dolgozandó ki, viszont a szimmetrikus helyzetű rudak értékei a szummációban kétszeres értékkel veendők. Ennek megfelelően a táblázat első szummája kétszeresen veendő figyelembe, a második szumma viszont csak egyszeresen. Tehát az ellenőrző képlet jobb oldala:

$$\Sigma S_i l_i = -2 \cdot 16 + 32 = 0.$$

Az ellenőrző képlet bal oldalának kiszámításához O kezdőpontot legcélszerűbben A pont helyén vehetjük fel, ebben az esetben ugyanis valamennyi kényszererő, nemkülönben W aktív erőkarja egyaránt 0. Így tehát a bal oldali érték:

$$\Sigma P_i q_i = 0.$$

Ezek szerint az (V) képlet által megkövetelt feltétel teljesítve van.

Fenti példában kiindulásunk az volt, hogy a teljes szimmetria miatt: $B_y = C_y$. Ezt a meghatározást másképpen is lehet fogalmazni. Fenti feltevés alapján ugyanis azt az eredményt kaptuk, hogy $D_x = -4$ Mp, $D_y = +3$ Mp. Ez a megállapítás más szóval azt jelenti, hogy tulajdonképpen a D megtámasztó rúd *irányát* rögzítettük. Ez a rúd ugyanis szükségképpen csakis olyan irányban állhat, mint az általa a tartóra átadott kényszererő, vagyis e képzelt rúdnak a vízszintessel bezárt szöge: $\tan \vartheta = 3/4$ (3a. ábra).

A D rúd irányára azonban elvileg semmiféle megkötésünk nincsen, — kivéve azt, hogy függőleges nem lehet. Kiindulhatunk például abból a fel-

tevésből is, hogy $D_x = D_y$, vagyis $\tan \vartheta = 1/1 = 45°$. Erre a feltevésre ugyanúgy felírhatjuk a térbeli statika 6 egyensúlyi egyenletét és ugyanúgy, mint előbb, kiszámíthatjuk a reakcióerőket és rúderőket. A számítás részleteit mellőzve, a kiadódó eredmények:

$A_x = D_x = -4$ Mp (W-vel ellenkező irány),
$A_y = +2$ Mp; $A_z = 0$,
$B_y = -2$ Mp; $C_y = -4$ Mp (lehorgonyzó erők),
$D_y = +4$ Mp.

(Lásd 3b. ábra).

Bármennyire különösnek is látszik, a D képzelt támasztórúd irányának megváltoztatásával az összes reakciók értékei megváltoznak, a tartó a reakcióerők szempontjából már nem szimmetrikus, a W erőn át fektetett függőleges sík egyik oldalán a reakciók más értékeket adnak, mint ugyanezen sík másik oldalán. Fentiek dacára a tartó egyensúlyban van, amit bármely felvett tengelyre vonatkoztatott nyomatékösszegek 0-értékűségével ellenőrizhetünk. Viszont, természetesen ilyen felvétel mellett, az előző felvételhez képest *megváltoznak az összes rúderők.*

Azonban az ellenőrző képletünk jobb oldalán szereplő $\Sigma P_i q_i$ érték változatlanul 0 marad, amiről legkönnyebben úgy győződhetünk meg, ha ez esetben is az O kezdőpontot A ponttal vesszük azonosnak. Ez viszont azt jelenti, hogy az (V) ellenőrző képlet bal oldali szummája, $\Sigma S_i l_i$ is változatlanul az előző esetben meghatározott érték (jelen esetben 0) kell hogy maradjon. Vagyis végeredményben a rúderők és rúdhosszak algebrai összege jelen tartón *független a megtámasztás kényszererőinek idealizált felvételétől.* Ez a megállapítás tervezés szempontjából sok előnyt jelent.

Még egy utolsó megjegyzést kell tennünk fenti példával kapcsolatban. D ponton működő támaszerő irányát a tartó véglapjának síkjában fekvőnek képzeltük. Ez a feltételezés természetesen csak arra az esetre jelentheti a tartó határozott és merev megtámasztását, ha a külső aktív erő a példában megadott irányú, vagy általában a véglappal párhuzamos síkban fekszik. Egyéb esetben, pl. ferde irányú W erő esetén, D ponton képzelt rudat szükségképpen más irányúnak, a zárólap síkjából kitérő egyenesen fekvőnek kell feltételezni.

4.2. Számpélda

A 4. ábra egy 16 m fesztávú, acélszerkezetű rácsos felülvilágító egyszerűsített szerkezetét tünteti fel. A tartónak 9 csomópontja és 21 rúdja van, tehát a $3 \cdot 9 - 6 = 21$ feltétel teljesítve van.

A tartót egyetlen vízszintes irányú, $W = 8$ Mp aktív erő terheli. A megtámasztás kényszererőire vonatkozólag ismét ugyanúgy, mint előző példában, az A ponton gömbcsuklós, a B, C és D pontokon támasztórudas megtámasztást

tételezzünk fel. A D ponton, természetesen a 2. pontban mondottak alapján, nem helyezhetünk el függőlegesen álló megtámasztó rudat. Az adott esetben, vízszintes irányú és a tartó hossztengelyére merőleges $\overline{W}$ erő esetén, D ponton levő megtámasztó rudat a tartó véglapjának síkjában fekvőnek képzelhetjük el.

Tételezzük fel, hogy $B_y = C_y$.

Fenti feltételezésekkel, a térbeli statika 6 egyensúlyi egyenlete alapján, valamennyi támaszerő-komponens egyértelműen kiszámítható. Felírva a 3 koordinátatengelyre az erővetületek és nyomatékok 0-értékűségét, az alábbi értékeket kapjuk:

$A_x = D_x = -4$ Mp (W-vel ellenkező irány),
$A_y = D_y = +2{,}67$ Mp, $A_z = 0$,
$B_y = C_y = -2{,}67$ Mp (lehorgonyzó erő).

A reakcióerők irányát a 4a. ábra tünteti fel.

Ez a felvétel tehát azt jelenti, hogy $D_y/D_x = 2{,}67/4 = 0{,}66$, vagyis a D-pontbeli képzelt rúd tengelyvonala átmegy a Q ponton (4a. ábra).

A Q pont a C támasztórúd függőlegesének és a tetőszerkezet csúcspontján át képzelt vízszintesnek metszéspontja. Más szóval tehát ez a felvétel D-nél képzelt rúd irányát a véglap síkjában fekvőnek tekinti, tehát mint *síkbeli* rácsostartó síkjában teremti meg az egyensúlyt, ami másképpen nem képzelhető el, minthogy a közös síkban levő három erő, ti. C, D, továbbá W erőnek a tartó tetőpontjára képzelt $W/2$ komponense egy közös pontban metszik egymást. Síkbeli tartón ez a feltétel szükséges velejárója az egyensúlynak. Térbeli tartón ez nem feltétlen szükséges.

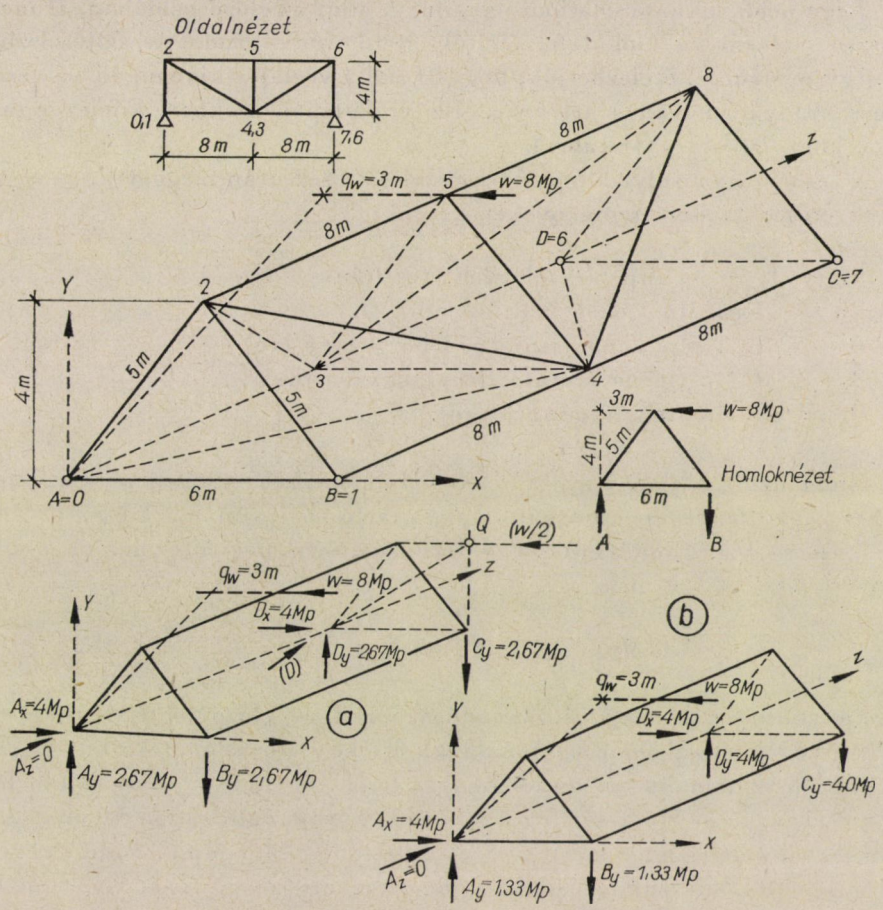
II. táblázat

Rúd jele	Rúdhossz l (m)	Ráderő S (Mp)	Sl (Mpm)
1—0	6.00	— 2.00	— 12.00
1—2	5.00	+ 3.33	+ 16.67
0—2	5.00	— 3.33	— 16.67
1—4	8.00	0	0
0—3	8.00	0	0
0—4	10.00	0	0
2—4	9.434	— 6.29	— 59.34
2—5	8.00	9	0
2—3	9.434	+ 6.29	+ 59.34
		$\Sigma_1 =$	— 12.00
5—3	5.00	— 6.66	— 33.33
5—4	5.00	+ 6.66	+ 33.33
3—4	6.00	0	0
		$\Sigma_2 =$	0

$$2\Sigma_1 + \Sigma_2 = -24.00$$

Fenti előkészítés után a tartó rúdjainak rúderői egyértelműen meghatározhatók. Mellőzve a számítási részleteket, a végeredményt a II. táblázat tünteti fel.

A szimmetria miatt itt is, ugyanúgy mint előző példában, a rúderőket csupán a tartó felére számítottuk ki. Így az ellenőrző képlet (V) jobb oldali



4. ábra. Felülvilágító-szerkezet vizsgálata vízszintes erőre

szummáját oly módon kapjuk meg, hogy a táblázat felső részének a szummációját kétszeresen, az alsó részét egyszeresen vesszük számításba.

Ezek szerint az ellenőrző képlet jobb oldala:

$$\Sigma S_i l_i = -2 \cdot 12\,\text{Mpm} + 0 = -24\,\text{Mpm}.$$

Az ellenőrző képlet bal oldalát legkönnyebben úgy kapjuk meg, ha az *O* pontot *A* pont helyére képzeljük. Ez esetben ugyanis az összes kényszererők

q karjai zérussal egyenlők és a szummációban egyedül az aktív erő, W marad benn. Utóbbinak karja, az ábra tanúsága szerint 3 m, tehát:

$$\Sigma P_i q_i = 3 \cdot 8 = +24 \text{ Mpm},$$

ami azt bizonyítja, hogy a rúderők kiszámítása helyesen történt.

Jelen példával kapcsolatban ugyanúgy, mint az előző példában, D megtámasztó rúdként az előbbi felvételtől eltérő irányú rudat is feltételezhetünk. Így például feltételezhetjük, hogy D rúd a véglap síkjában, 45°-os ferde egyenes irányában van elhelyezve. Ez erőkomponensekben kifejezve azt jelenti, hogy $D_x = D_y$ (4b. ábra).

A térbeli egyensúlyt kifejező 6 egyenletet ezek után megoldva, az egyes kényszererőkre alábbi eredményeket kapjuk:

$A_x = D_x = +4$ Mp (W-vel ellentétes irány),
$A_y = +1{,}33$ Mp (felfelé mutató erő), $A_z = 0$,
$B_y = -1{,}33$ Mp (lefelé mutató, lehorgonyzó erő),
$C_y = -4$ Mp (lefelé mutató, lehorgonyzó erő),
$D_y = +4$ Mp (felfelé mutató erő).

Ismét azt találjuk, hogy a reakciókomponensek értékei az előző felvételhez képest lényegesen megváltoztak, a tartó középsíkjához képest a szimmetria nincs meg. Ebből kifolyólag természetesen megváltoznak az összes rúderők értékei is, így pl.

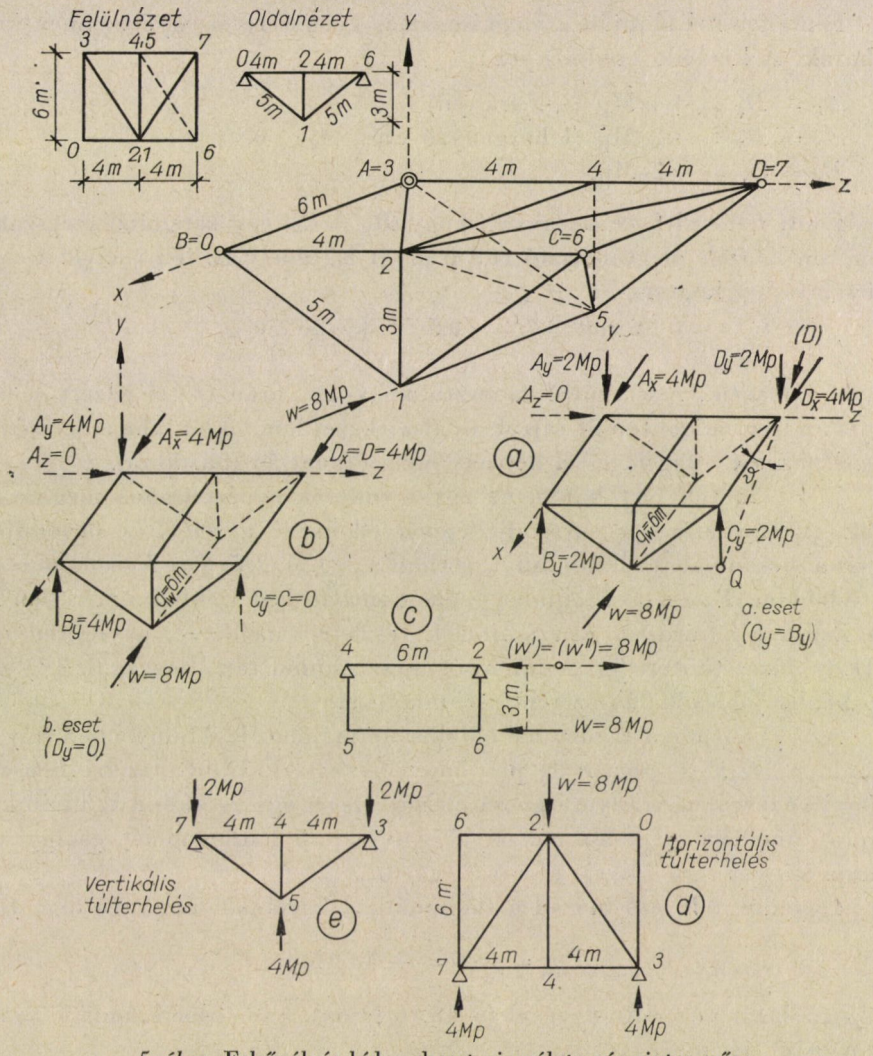
$$S_{1-0} = -1{,}0 \text{ Mp}; \; S_{1-2} = +1{,}67 \text{ Mp}; \; S_{0-2} = -2{,}0 \text{ Mp stb.},$$

azonban ebben az esetben is, ugyanúgy, mint az előző felvétel esetében, az ellenőrző képlet bal oldali szummájának értéke változatlan, tekintettel arra, hogy utóbbi szummából az összes kényszererők, ugyanúgy, mint előbbi felvétel esetében, kiesnek és csupán a W erő marad benn, változatlan 3,0 m karral. Vagyis a bal oldali szumma értéke változatlanul +24,0 Mpm. Ebből következőleg a jobb oldali szumma értéke sem változhatik meg. Tehát ismét ahhoz az eredményhez jutunk, hogy a rúderők és rúdhosszak szorzatának algebrai összege függetlenné vált a megtámasztás kényszererőinek idealizált felvételétől és utóbbiak számszerű értékétől.

4.3. Számpélda

Az 5. ábra felsőpályás hídszerkezetet leegyszerűsített formában tüntet fel. A szerkezet viszonylag *széles* tartónak tekintendő, minthogy fesztáva 8,0 m, szélessége pedig 6,0 m. A térbeli rácsostartó csomópontjainak száma 8, a rudak száma 18, tehát a $3 \cdot 8 - 6 = 18$ feltétel teljesítve van. A felépítés

a (*7, 4, 5*) alapháromszögből indult ki, ehhez kapcsoltuk, a tetraéderes felépítési szabály szerint, egymás után a *2, 6, 1* és *3* csomópontokat. A 0 csomóponton az előbbi szabálytól némileg eltértünk. Meg kell jegyezni, hogy a megkívánt *határozott* szerkezet elérése céljából, a szerkezet maga aszimmetrikus, ti. az (*5—6*) rúdnak megfelelő szimmetrikus rúd hiányzik.



5. ábra. Felsőpályás hídszerkezet vizsgálata vízszintes erőre

A szerkezet a *0, 3, 6* és *7* csomópontokon van megtámasztva, éspedig $A = 3$ ponton gömbcsukló, $B = 0$ ponton, továbbá $C = 6$ ponton függőlegesen álló támasztórúd, végül $D = 7$ ponton ferdén álló megtámasztó rúd alkotják a szerkezet megtámasztási rendszerét.

A szerkezetet az 1 jelű csomóponton egyetlen vízszintes, $W = 8$ Mp erő (szélerő) terheli.

Vizsgáljuk meg a tartót kétféle megtámasztási rendszer alapján.

a) Tekintsük a megtámasztás feltételének, hogy B és C megtámasztási pontokon a szerkezetre adódó függőleges megtámasztó erők egyenlők, vagyis $B_y = C_y$.

Fenti feltétel alapján a megtámasztás kényszererői egyértelműen kiszámíthatók. A kiadódó eredmények:

$A_x = D_x = +4$ Mp ($+x$ irányú),
$A_y = D_y = -2$ Mp (lehorgonyzó erő), $A_z = 0$,
$B_y = C_y = +2$ Mp.

Fenti feltétellel, tehát avval, hogy $B_y = C_y$, egyszersmind megszabtuk D ponton képzelt megtámasztó rúd irányát is, amely ti. fenti felvétel esetén a vízszinteshez képest

$$\tan \vartheta = 2/4 = 0{,}5 \qquad (\sim 26° 30')$$

irányban fekszik, más szóval keresztülmegy az ábrán Q-val jelzett ponton, vagyis az 1 csomóponton át rajzolt és a szerkezet homloklapjába eső vízszintes egyenesnek a C függőlegessel képzett metszéspontján (5a. ábra).

Fenti adatok birtokában az egyes rúderők egyértelműen meghatározhatók. A meghatározás sorrendje éppen ellenkező a felépítés sorrendjével, vagyis a *0* csomópontból kiindulva, sorban a *3, 1, 6, 2, 5, 4* és *7* csomópontokat kell feloldani. Ez esetben minden csomópontban legfeljebb 3 ismeretlen rúderőt kell meghatározni. A számítások részleteit mellőzve, a végeredményt a III. táblázat tünteti fel. A táblázat egyszersmind tartalmazza az (V) ellenőrző képlet jobb oldalán szereplő szummát is.

Az (V) ellenőrző képlet bal oldali szummájához legkönnyebben úgy juthatunk, ha *0* kezdőpontot *A* pontban vesszük fel. Ebben az esetben valamennyi kényszererő irányára bocsátott merőleges egyszersmind az illető kényszererő támadáspontjában metszi a kényszererő hatásvonalát és így valamennyi kényszererő q karja zérussal egyenlő.

Egyedül a W erő marad a szummában, karjának nagysága 6 m és így

$$\Sigma P_i q_i = 8 \cdot 6 = +48{,}0 \text{ Mpm},$$

ami a táblázat végeredményével (−48,16 Mpm), a logarléc számítási pontosságán belül, jól megegyezik.

b) Ugyanezt a szerkezetet, ugyanilyen aktív erő mellett, oldjuk fel azzal a feltételezéssel, hogy D megtámasztási ponton az átadódó reakcióerő iránya vízszintes, vagyis $D_y = 0$.

Ugyanúgy, miként előbb, egyértelműen meghatározhatjuk az összes kényszererőket. Az eredmények:

III. táblázat

Rúd jele	Rúdhossz l (m)	Rúderők S (Mp)		Sl (Mpm)		Horizontális és vertikális túlterhelésként számítva	
		a. eset $B_y=C_y$	b. eset $D_y=0$	a. eset	b. eset	Rúderő S (Mp)	Sl (Mpm)
0—1	5.00	+ 3.33	+ 6.67	+ 16.67	+ 33.33	+ 3.33	+ 16.67
0—2	4.00	— 2.67	— 5.33	— 10.66	— 21.33	— 2.67	— 10.66
0—3	6.00	0	0	0	0	0	0
3—2	7.21	— 4.80	— 4.80	— 34.61	— 34.61	— 4.80	— 34.61
3—4	4.00	+ 5.33	+ 8.00	+ 21.33	+ 32.00	+ 5.33	+ 21.33
3—5	5.06	— 3.33	— 6.67	— 16.67	— 33.33	— 3.33	— 16.67
1—6	5.00	+ 3.33	+ 6.67	+ 16.67	+ 33.33	+ 3.33	+ 16.67
1—5	6.00	— 8.00	— 8.00	— 48.00	— 48.00	0	0
1—2	3.00	— 4.00	— 8.00	— 12.00	— 24.00	0	0
2—6	4.00	— 2.67	0	— 10.66	0	— 2.67	— 10.66
2—7	7.21	— 4.80	— 14.37	— 34.61	— 103.61	— 4.80	— 34.61
2—4	6.60	0	0	0	0	0	0
2—5	6.71	+ 8.90	+ 17.90	+ 59.72	+ 120.01	0	0
6—5	7.81	0	— 10.50	0	— 82.01	0	0
6—7	6.00	0	+ 8.00	0	+ 48.00	0	0
4—5	3.00	0	0	0	0	0	0
4—7	4.00	+ 5.33	+ 8.00	+ 21.33	+ 32.00	+ 5.33	+ 21.33
5—7	5.00	— 3.33	6	— 16.67	0	— 3.33	— 16.67
			Σ Sl =	— 48.16	— 48.22		— 47.88

$A_x = +4$ Mp, $D_x = +4$ Mp,
$B_y = +4$ Mp, $C_y = 0$,
$A_y = -4$ Mp (lehorgonyzó erő), $A_z = 0$ (5b. ábra).

A reakcióerők meghatározása után meghatározhatók az egyes rúderők is. Utóbbiak értékeit ugyancsak a III. táblázat tartalmazza. Ugyanott van kiszámítva az (V) ellenőrző képlet jobb oldali szummája is, erre az esetre.

Az (V) ellenőrző képlet bal oldala, az előző esethez képest, semmiféle változást sem mutat, e szummában ismét csupán W külső erő szerepel, $q = 6$ m kartávolsággal. Vagyis (V) ellenőrző képletünk bal oldala változatlanul +48,0 Mpm. Evvel szemben a táblázat —48,22 Mpm-et eredményez, az eltérés ismét a logarléccel való számítás pontatlanságából adódik.

Érdemes megfigyelni, hogy az egyes rúderők értékei miképpen változnak D képzelt megtámasztó rúd irányának felvételével kapcsolatban.

A III. táblázatot kiegészítettük a horizontális és vertikális túlterhelés számítási elve alapján nyerhető rúderőkkel is. Megfigyelhető, hogy ez az általánosan alkalmazott számítási módszer a rudak egy részénél az a) esettel azonos rúderő-értékeket szolgáltat (5c., 5d., 5e. ábrák). De az is megállapítható, hogy szemben az a) és b) feltételezésekkel, egyes rudakban, éppen a legna-

gyobb igénybevételt szenvedőkben, ez az eljárás nem ad rúderő-értékeket. Ez a tény azt mutatja, hogy széles hidakon, széles szerkezeteken a túlterhelésalapon való számítás a valóságtól lényegesen eltérhet. Az (V) ellenőrző képlet szummációja azonban ezen utóbbi módszer esetében is változatlan (+48,0 Mpm), amit a III. táblázat utolsó oszlopa mutat ki (—47,88 Mpm).

5. Összefoglalás

A bemutatott számpéldák szerint a térbeli rácsostartó egyes rúdjaiban keletkező rúderők értékei nagymértékben függnek attól a körülménytől, hogy a tartó, mint térbeli szerkezet, miképpen van megtámasztva, a földhöz kapcsolva, illetve, hogy a megtámasztások okozta kényszererőket miképpen *képzeljük el.* Pontos képünk ugyanis ezekről a megtámasztó erőkről általában nincsen. A legsűrűbben alkalmazásra kerülő rendszer: 2 álló- és 2 mozgósaru (a tartó hossztengelyének irányában gördülő hengersorral), mint azt 2. alatt kimutattuk, 12-szeresen statikailag határozatlan.

Míg a *belső* statikai határozatlanság feloldására pontos módszerek állnak rendelkezésünkre, addig ennek a külső határozatlanságnak feloldására nincs általánosan alkalmazható megoldás. A szokásos elrendezések csakis függőleges terhelés esetében szolgáltatnak hibátlan megoldásokat (a kényszererők pontosan számíthatók), ám általános irányú erőhatások esetén a megtámasztás kényszererői meghatározhatatlanok. A meglehetősen önkényes felvételek fajtái, rendszerei szerint változnak az egyes rúderők értékei is.

Viszonylag keskeny, hosszú szerkezeteken, nagy függőleges terhelést feltételezve, ez a bizonytalanság nem számottevő; a függőleges terhelések okozta hatások mellett a ferde erők fentiek szerinti változása végeredményben nem jelent nagy eltérést.

Rövid, széles szerkezeteken, kis függőleges terhelések mellett azonban ezek a körülmények nem hanyagolhatók el.

Utóbbi szerkezeteken a méretezést a képzelt megtámasztó rudak „veszélyes állása" alapján volna célszerű elvégezni.

Térbeli tartót ferde irányú erők ellenében kizárólag függőleges képzelt rudakkal nem lehet megtámasztani. Ferde vagy részben ferde irányú képzelt rudakkal természetesen lehetséges, ilyen rudak azonban a valóságban nem léteznek. Végeredményben a ferde erőket a saruknál fellépő *csúszó súrlódási erők* veszik fel. Utóbbiak maximumai viszont számíthatók és így a képzelt megtámasztások szélső irányai, tehát a maximális ferdeségű megtámasztó erők is meghatározhatók.

Mindezek a szempontok számításainkat némileg bonyolultabbá teszik. Ezért felette indokolt a fentiekben ismertetett egyszerű ellenőrzési eljárás alkalmazása.

SZEMNAGYSÁGVIZSGÁLATI ADATOKNAK SZEMCSEELOSZLÁSI FÜGGVÉNYEKKEL VALÓ LEÍRÁSA

PETHŐ SZILVESZTER
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

NEHÉZIPARI MŰSZAKI EGYETEM, MISKOLC

[Beérkezett 1965. május 20-án]

A dolgozat a három leggyakoribb, a Gaudin—Schumann, a Rosin—Rammler és a Kolmogorov szemnagyságeloszlási függvényekkel kapcsolatban annak eldöntésére nyújt útmutatást, hogy valamely adott szemnagyságeloszlást melyik függvény írja le leginkább. A bemutatott eljárás matematikai-statisztikai módszereken alapszik. Az említett szemnagyságeloszlási függvények képe bizonyos diagramhálókon egyenes. A dolgozat nemcsak az említett egyenesek meghatározási módját, hanem a függvények állandóinak számítási módszerét is bemutatja. A módszer gyakorlati alkalmazását számpélda ismerteti.

1. A módszer ismertetése

Azon kérdést, hogy egy adott szemnagyságeloszlás melyik szemcseeloszlási függvény képét követi leginkább, és mekkora az állandók értéke, grafikus úton döntik el: olyan koordinátarendszerekben ábrázolják a szemnagyságvizsgálat összetartozó értékeit, amelyekben a függvény képe egyenes, és azon szemnagyságeloszlási függvénnyel közelítik a tapasztalati szemnagyságeloszlást, amely szerint a szemcsevizsgálati adatok a leginkább kerülnek egy egyenesre, s az állandókat erről az egyenesről olvassák le.

A kérdés egzaktabb eldöntése, továbbá az állandók legmegbízhatóbb értékének meghatározása, a mért és a függvény által meghatározott értékek közti különbségek négyzetes összege minimumának kiszámítása a korrelációs számítás módszereivel történik; az itt bemutatott módon a függvény linearizált formájából meghatározzuk a változók szórását és kovarianciáját, ezekből kiszámítjuk a korrelációs együtthatót, felírjuk az egyenes, majd a szemcseeloszlási függvény állandóit, végül a standard eltérés nagyságát is bemutatjuk. Ezek az értékek a leggyakrabban használt szemcseeloszlási függvényeknél (Rosin—Rammler, Schumann—Gaudin és Kolmogorov) a következők lesznek.

A Rosin—Rammler-féle szemcseeloszlási függvény linearizált alakjában

$$\log\log\frac{100}{s_D} = b\log d - b\log a + \log\log e \qquad (1)$$

b és a az ismert állandókat, d szemnagyságot és s_D a d szemnagyságnál durvább szemek súlyszázalékát jelöli [1]. A változók — $\log\log(100/s_D)$ és $\log d$ — szórásait, kovarianciáját a szemcsevizsgálati adatokból számítjuk,

$$s^2_{\log\log\frac{100}{s_D}} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\log\log\frac{100}{s_{D_i}} - \overline{\log\log\frac{100}{s_D}}\right)^2}{n-1}, \tag{2}$$

$$s^2_{\log d} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\log d_i - \overline{\log d})^2}{n-1}, \tag{3}$$

$$s_{\log\log 100/s_D \log d} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\log\log\frac{100}{s_{D_i}} - \overline{\log\log\frac{100}{s_D}}\right)(\log d_i - \overline{\log d})}{n-1} \tag{4}$$

szerint, ahol n jelenti a szemnagyságosztályok számát, s a felül húzott vízszintes vonásokkal a számtani átlagokat jelöltük. Ezen értékekkel a korrelációs együttható

$$\varrho_{RR} = \frac{s_{\log\log 100/s_D \log d}}{s_{\log\log 100/s_D}\, s_{\log d}}. \tag{5}$$

A korrelációs együttható abszolút értéke alapján döntjük el, hogy az adott szemcsevizsgálati adatok melyik szemcseeloszlási függvénnyel közelíthetők: a vizsgálatba bevont függvények közül azt tartjuk legmegfelelőbbnek, amelynél a korrelációs együttható (1)-et a legjobban megközelíti. Ha az egyenes egyenletének a szórások, a korrelációs együttható és az átlagok segítségével felírható alakját, azaz a

$$\begin{aligned}\log\log\frac{100}{s_D} = \varrho_{RR}\frac{s_{\log\log 100/s_D}}{s_{\log d}}\log d + \overline{\log\log\frac{100}{s_D}} - \\ - \varrho_{RR}\frac{s_{\log\log 100/s_D}}{s_{\log d}}\overline{\log d} = \tan\alpha \log d + c\end{aligned} \tag{6}$$

kifejezést összehasonlítjuk a linearizált formával, akkor a Rosin—Rammler-függvényben szereplő állandók számíthatók és azt kapjuk, hogy

$$b = \varrho_{RR}\frac{s_{\log\log 100/s_D}}{s_{\log d}} = \frac{s_{\log\log 100/s_D \log d}}{s^2_{\log d}} \tag{7}$$

és a

$$-b\log a + \log\log e = \overline{\log\log\frac{100}{s_D}} - \varrho_{RR}\frac{s_{\log\log 100/s_D}}{s_{\log d}}\overline{\log d}$$

egyenlőségből

$$\begin{aligned}a = \operatorname{num}\log\left[\overline{\log d} + \frac{1}{b}\left(\log\log e - \overline{\log\log\frac{100}{s_D}}\right)\right] = \\ = \operatorname{num}\log\left[\overline{\log d} - \frac{1}{b}\left(\overline{\log\log\frac{100}{s_D}} + 0{,}3622\right)\right].\end{aligned} \tag{8}$$

A regressziós egyeneshez való szórást, a standard eltérést [3] az

$$S_{\log\log 100/D} = s_{\log\log 100/D}\sqrt{1-\varrho_{RR}^2} \tag{9}$$

összefüggéssel számoljuk; a szemcsevizsgálatkor kapott és a fenti állandókkal rendelkező Rosin—Rammler-féle szemcseeloszlási függvénnyel számítható súlyszázalékok különbségeit pontról pontra határozhatjuk meg.

A Gaudin—Schumann-féle szemcseeloszlási függvény linearizált alakja (1)

$$\log s_F = \log 100 + b\log d - b\log A\,, \tag{10}$$

ahol $\log s_F$ és $\log d$ a változók, b és A az eloszlás állandói. A regressziós együttható a szórások és a kovariancia ismeretében

$$\varrho_{GS} = \frac{s_{\log\log s_F \log d}}{s_{\log s_F}\, s_{\log d}}\,. \tag{11}$$

Az egyenes egyenlete a szemcsevizsgálati adatokból:

$$\log s_F = \varrho_{GS}\frac{s_{\log s_F}}{s_{\log d}}\log d + \overline{\log s_F} - \varrho_{GS}\frac{s_{\log s_F}}{s_{\log d}}\overline{\log d}. \tag{12}$$

A (10)-nek a (12)-vel történő összehasonlításával az állandókra meg azt kapjuk, hogy

$$b = \varrho_{GS}\frac{s_{\log s_F}}{s_{\log d}} = \frac{s_{\log s_F \log d}}{s^2_{\log d}}\,, \tag{13}$$

és a

$$\log 100 - b\log A = \overline{\log s_F} - \varrho_{GS}\frac{s_{\log s_F}}{s_{\log d}}\overline{\log d}$$

egyenlőségből

$$A = \operatorname{num}\log\left[\overline{\log d} + \frac{1}{b}(2 - \overline{\log s_F})\right]. \tag{14}$$

A Kolmogorov-féle (lognormális) szemcseeloszlási függvény képe akkor egyenes, ha az ordinátán kumulatív súlyszázalékok valószínűségi léptékkel, az abszcisszán pedig a szemnagyságok logaritmusai szerepelnek. A valószínűségi léptékkel arányos értékeket a

$$\Phi(u_p) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2}}\,du$$

standard normális eloszlás táblázatból vehetjük; a szemcsevizsgálati adatokból számítható kumulatív súlyszázalékok százzal osztott értékeihez a megfelelő

I. táblázat

Szemnagyságvizsgálati adatok és összehasonlításuk a szemcseeloszlási függvényekkel

Csokor	mm	Súly, %	Kum. súly, %		$100\left(\frac{d}{10{,}235}\right)^{0{,}6125}$		$100\exp\left(-\frac{d}{4{,}074}\right)^{0{,}805}$		$\frac{100}{\sqrt{2\pi}\cdot 0{,}7225d}\int_{-\infty}^{\log d}\exp\left[-\frac{(\log d-0{,}314)^2}{2\cdot 0{,}7225^2}\right]dd$	
			s_D	s_F	s_F	Diff.	s_D	Diff.	s_F	Diff.
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
—	13,3	0	0	100,1	117,6	+17,5	—	—	—	—
—	9,4	3,5	3,5	96,5	95,1	−1,4	14,0	+10,5	81,9	−14,6
3	6,7	15,5	19,0	81,1	77,0	−4,1	22,6	+3,6	76,0	−5,1
4	4,7	17,4	36,4	63,7	62,0	−1,7	32,6	−3,8	69,0	+5,3
6	3,3	12,0	48,4	51,7	50,1	−1,6	42,8	−5,6	61,3	+9,6
8	2,4	9,1	57,5	42,6	40,7	−1,9	52,5	−5,0	53,3	+10,7
10	1,7	9,2	66,7	33,4	32,7	−0,7	64,9	−1,8	44,7	+11,3
14	1,2	6,3	73,0	27,1	26,5	−0,6	69,4	−3,6	36,6	+9,5
20	0,83	5,4	78,4	21,7	21,6	−0,1	75,4	−3,0	29,6	+7,9
28	0,59	4,3	82,7	17,4	17,4	0	81,0	−1,7	22,5	+5,1
35	0,42	3,1	85,8	14,3	14,0	−0,3	85,3	−0,5	16,8	+2,5
48	0,30	2,9	88,7	11,4	11,4	0	88,6	−0,1	12,1	+0,7
65	0,21	2,4	91,1	9,0	9,2	+0,2	91,3	+0,2	8,4	−0,6
100	0,15	1,9	93,0	7,1	7,4	+0,3	93,3	+0,3	5,7	−1,4
150	0,10	1,2	94,2	5,9	6,0	+0,1	94,9	+0,7	3,6	−2,3
200	0,074	1,1	95,3	4,8	4,9	+0,1	96,1	+0,8	2,3	−2,5
200	—	4,8	100,1	0	—	—	—	—	—	—
		100,1		Regressziós módszerrel	absz. eltérések összege	30,6		41,2		89,1
					szórásnégyzet	22,3		15,9		57,2
				Grafikus úton	absz. eltérések összege	29,5		75,3		
					szórásnégyzet	35,6		92,4		

u_p abszcissza értékeket a táblázatból kikeressük. A szórások és a kovariancia kiszámítása után a regressziós együtthatót a

$$\varrho_K = \frac{s_{u_p \log d}}{s_{u_p s} \log d} \tag{15}$$

képlet szerint, az egyenes egyenletét pedig az

$$u_p = \varrho_K \frac{s_{u_p}}{s_{\log d}} \log d + \overline{u_p} - \varrho_K \frac{s_{u_p}}{s_{\log d}} \overline{\log d} \tag{16}$$

összefüggés szerint írhatjuk fel. Ezen egyenletből az

$$s_F = \frac{100}{\sqrt{2\pi}\,\sigma d} \int_{-\infty}^{\log d} \exp\left[-\frac{(\log d - m)^2}{2\sigma^2}\right] dd$$

Kolmogorov-féle szemcseeloszlási függvényben szereplő σ és m állandókra ($u_p = 1$ és 0 helyettesítése, s az így kifejezhető $\log d$-k kivonása, ill. $u_p = 0$ helyettesítése révén) azt kapjuk, hogy

$$\sigma = \frac{s_{\log d}}{\varrho_K s_{u_p}} = \frac{1}{\tan\alpha} \tag{17}$$

$$m = \overline{\log d} - \overline{u_p} \frac{s_{\log d}}{\varrho_K s_{u_p}} = \overline{\log d} - \frac{1}{\tan\alpha} \overline{u_p}. \tag{18}$$

2. Példa a módszer alkalmazására

Az ismertetett módszer és a bemutatott összefüggések alkalmazását az I. táblázat első öt oszlopában szereplő szemnagyságvizsgálati adatokra mutatjuk be. (A szemnagyságvizsgálati adatokat az [1] és [2] művek megjelölt helyeiről vettük át.)

A II. táblázatban a Rosin—Rammler-féle szemcseeloszlási függvényre vonatkozó szórások és a kovariancia kiszámítását látjuk. A táblázat 5., 6. és 7. oszlopainak értékeit számológéppel számoltuk úgy, hogy a megfelelő szorzatokat a számológépen összegeztük.

A III. táblázatban a Kolmogorov-féle szemnagyságeloszlásra találjuk meg a szórások és a kovariancia számítását. A táblázat 1. oszlopában az u_p értékek szerepelnek az s_F súlyszázalékok alapján. Az első sorban a 4,8%-hoz tartozó $u_p = -1{,}6650$ értéket látjuk, melyet a standard normális eloszlás táblázatából kerestük ki úgy, hogy a $\Phi(u_p) = 1 - 4{,}8/100 = 0{,}952$-höz tartozó u_p-t negatív előjellel vettük. Ha $s_F > 50\%$, akkor u_p pozitív előjelű. A következőkben a szórások és a kovariancia kiszámításának egy kevesebb munkával járó módját mutatjuk be: a megfelelő összefüggések, melyeket az (1), (2) és (3) képletek kifejtése révén nyerhetünk, a táblázat alján megtalálhatók. Ezen összefüggések alkalmazásával a II. táblázat 3. és 4. oszlopában szereplő kivonásokat nem kell elvégeznünk [3].

A IV. táblázatban mindhárom szemcseeloszlási függvényre megtaláljuk a szórások és kovariancia, a regressziós együttható és a regressziós egyenes állandóit, továbbá a standard eltérés és az eloszlásfüggvények állandóinak értékét. Az adott szemcseeloszláshoz a legnagyobb regressziós együtthatót a Gaudin—Schumann-féle szemnagyságeloszlási függvénnyel való közelítés révén kapjuk, $\varrho_{GS} = 0{,}9991$, s ennek megfelelően a standard eltérés is ennél a függvénynél a legkisebb. (Az $s_{\log d}$ a Rosin—Rammler-féle és a lognormális függvénynél

II. táblázat

Szórások és a kovariancia számítása a Rosin—

$\log\log\frac{100}{s_D}$	$\log d$	$\log\log\frac{100}{s_D} - \overline{\log\log\frac{100}{s_D}}$	$\log d - \overline{\log d}$
1.	2.	3.	4.
0,1631	0,9742	1,0803	1,0535
—0,1419	0,8248	0,7753	0,9041
—0,3576	0,6720	0,5596	0,7513
—0,5016	0,5221	0,4156	0,6014
—0,6192	0,3733	0,2986	0,4526
—0,7550	0,2177	0,1622	0,2970
—0,8642	0,0674	0,0530	0,1467
—0,9759	—0,0740	—0,0587	0,0053
—1,0841	—0,2299	—0,1669	—0,1506
—1,1772	—0,3799	—0,2600	—0,3006
—1,2848	—0,5302	—0,3676	—0,4509
—1,3915,	—0,6819	—0,4743	—0,6026
—1,5031	—0,8327	—0,5859	—0,7534
—1,5850	—0,9830	—0,6678	—0,9037
—1,6799	—1,1308	—0,7627	—1,0515
Összeg —13,7579	—1,1900		
Átlag —0,9172	—0,0793		

III. táblázat

Szórások és a kovariancia rövidített számítási módjának

u_p	$\log d$	Σu_p^2
1.	2.	3.
—1,6650	—1,1308	
—1,5633	—0,9830	
—1,4685	—0,8327	
—1,3406	—0,6819	
—1,2055	—0,5302	
—1,0667	—0,3799	
—0,9385	—0,2299	
—0,7823	—0,0740	
—0,6097	—0,0674	
—0,4289	+0,2177	
—0,1867	+0,3733	
+0,0426	+0,5221	
+0,3505	+0,6720	
+0,8815	+0,8248	
+1,8114	+0,9742	
Összeg —8,1697	—1,1900	20,992240
Átlag —0,5446	—0,0793	$s_{u_p}^2 = \frac{1}{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n} u_{pi}^2 - n\bar{u}_p^2\right) = 0{,}96982$

Rammler eloszlásfüggvénnyel kapcsolatban

$\Sigma\left(\log\log\frac{100}{s_D}-\overline{\log\log\frac{100}{s_D}}\right)^2$	$\Sigma(\log d-\overline{\log d})^2$	$\Sigma\left(\log\log\frac{100}{s_D}-\overline{\log\log\frac{100}{s_D}}\right)(\log d-\overline{\log d})$
5.	6.	7.
4,201874	6,337413	5,101668
$s^2_{\log\log 100/s_D}=\frac{4,201874}{14}=$ $=0,30013$	$s^2_{\log d}=\frac{6,337413}{14}=$ $=0,45267$	$s_{\log\log 100/s_D\ \log d}=\frac{5,101668}{14}=$ $=0,36441$

bemutatása a Kolmogorov eloszlásfüggvénnyel

$\Sigma(\log d)^2$	$\Sigma u_p \log d$
4.	5.
7,431740	9,419054
$s^2_{\log d}=\frac{1}{n-1}\left[\sum_{i=1}^{n}(\log d_i)^2-n\overline{\log d^2}\right]=0,45267$	$s_{up\log d}=\frac{1}{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n}u_{pi}\log d_i-n\bar{u}_p\overline{\log d}\right)=$ $=0,6265$

IV. táblázat

Az eloszlásfüggvények szórásai és állandói

Szórások és állandók		Gaudin—Schumann	Rosin—Rammler	Lognormális
1.		2.	3.	4.
s_y		$s_{\log s_F} = 0{,}440$	$s_{\log\log \frac{100}{s_D}} = 0{,}548$	$s_{up} = 0{,}984$
s_x		$s_{\log d} = 0{,}716$	$s_{\log d} = 0{,}673$	$s_{\log d} = 0{,}673$
s_{yx}		$s_{\log s_F \log d} = 0{,}315$	$s_{\log\log \frac{100}{s_D} \log d} = 0{,}364$	$s_{up\log d} = 0{,}627$
ϱ		0,9991	0,988	0,945
Regressziós egyenes állandói	$\tan\alpha$	0,613	0,805	1,384
	c	1,380	−0,911	−0,435
Standard eltérés		0,019	0,085	0,322
Eloszlásfüggvény		$b = 0{,}613$	$b = 0{,}805$	$\sigma = 0{,}7225$
		$A = 10{,}235$	$a = 4{,}074$	$m = 0{,}314$

ugyanaz — 0,673 —, a Gaudin—Schumann-féle eloszlásnál az $s_{\log d}$ ettől eltér, mivel itt a szórások számításánál a $d = 13{,}3$ és $s_F = 100{,}1$ értékeket is figyelembe vettük.) A szemnagyságvizsgálati adatok a lognormális eloszlást követik legkevésbé, a regressziós együttható 0,945.

A szemcseeloszlási függvények állandóival az I. táblázatban kiszámítottuk a megfelelő súlyszázalékokat, s ezeknek a vizsgálati adatokból számítható súlyszázaléktól való eltéréseit [1, 2]. A táblázatban ezenkívül még megtaláljuk az abszolút eltérések összegét és az eltérések szórásnégyzetét; ezek az értékek természetesen annál kisebbek, minél nagyobb a regressziós együttható. — Érdekes összehasonlítást tehetünk, ha az abszolút eltérések összegét és a szórásnégyzeteket összehasonlítjuk a grafikus úton szerkesztett egyenesekből számítható értékekkel. TAGGART munkájában ugyanis a Schumann—Gaudin és a Rosin—Rammler szerinti koordinátarendszerben megrajzolt egyenesek állandóival (ezek az állandók $A = 9{,}5$, $b = 0{,}623$. ill. $a = 6{,}3$ és $b = 0{,}625$ a 10,2, 0,614, 4,1 és 0,805 helyett) a megfelelő súlyszázalékok és súlyszázalék differenciák megtalálhatók, s ezen differenciák alapján az abszolút eltérések összegét és a szórásnégyzeteket az I. táblázat utolsó két sorában összehasonlítás céljából kiszámítottuk.

Az V. táblázatban a megfelelő állandókkal a legfontosabb statisztikai jellemzőket — az átlagos szemnagyságot vagy várható értéket, az átlagos szemnagyság szórásnégyzetét, a leggyakoribb szemnagyságot vagy móduszt és az 50%-os szemnagyságot vagy mediánt — találjuk kiszámítva; A Schumann—Gaudin- és Rosin—Rammler-féle függvények esetében a grafikus úton kiértékelt állandókkal számított matematikai statisztikai jellemzőket is kiszámítottuk. Ezek a megfelelő oszlopok második soraiban találhatók meg. A táblázat első oszlopában a szemcsevizsgálati adatokból közvetlenül számítható statisztikai jellemzők szerepelnek. A táblázatban feltüntettük azokat az összefüggéseket is, melyekkel az egyes

V. táblázat

Matematikai statisztikai jellemzők

Statisztikai jellemzők	Szemcsevizsgálati adatokból	Schumann—Gaudin eloszlásból	Rosin—Rammler eloszlásból	Lognormális eloszlásból
1.	2.	3.	4.	5.
Átlagos szemnagyság vagy várható érték	$\frac{\sum_{i=1}^{n} s_i d_i}{100} = 3{,}781$	$\frac{b}{b+1} A = 3{,}897$ 3,647	$a \frac{1}{b}! = 4{,}596$ 9,006	$e^{m+\frac{\sigma^2}{2}} = 1{,}777$
Szórásnégyzet	$\frac{1}{n-1}\left[\frac{\sum_{i=1}^{u} s_i d_i^2}{100} - n\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} s_i d_i}{100}\right)^2\right] = 9{,}178$	$\left[\frac{b}{b+2} - \left(\frac{b}{b+1}\right)^2\right] A^2 = 9{,}449$ 8,137	$a^2\left[\frac{2}{b}! - \left(\frac{1}{b}!\right)^2\right] = 33{,}112$ 226,757	$e^{2m+\sigma^2}(e^{\sigma^2}-1) = 21{,}645$
Leggyakoribb szemnagyság vagy módus	0—0,074 mm között $\left(\frac{4{,}8}{0{,}074} = 64{,}9\%/\text{mm a max. gyak.}\right)$	0 (vagy ∞)	$a \sqrt[b]{\frac{b-1}{b}} = \text{imag.}$	$m = 0{,}314$
50%-os szemnagyság vagy medián	3,215	$\frac{A}{\sqrt[b]{2}} = 3{,}304$ 3,123	$a \sqrt[b]{0{,}69315} = 2{,}584$ 3,505	$m = 0{,}314$

statisztikai jellemzők értékei kiszámíthatók. (Ezek a statisztikai jellemzők pl. a [4—6] munkákban megtalálhatók).

A táblázatok megfelelő adataiból (súlyszázalék differenciák, abszolút eltérés, szórásnégyzet, átlagos szemnagyság stb.) arról győződhetünk meg, hogy a Schumann—Gaudin-féle eloszlásfüggvénnyel írhatjuk le legjobban a kiválasztott szemnagyságvizsgálati adatokat, tehát azzal a függvénnyel, melyre vonatkozóan a korrelációs együttható a legnagyobb volt. Az eredményekből azt is látjuk, hogy a szemcseeloszlási függvényekkel számítható súlyszázalékok és statisztikai jellemzők annál inkább eltérnek a mérési eredményektől s az ezekből számítható statisztikai értékektől, minél kisebb az illető függvénnyel kapcsolatban a korrelációs együttható értéke. (Pl. az átlagos szemnagyságok a vizsgálati adatokból számítható átlagos szemnagyságok

$$\frac{3{,}897}{3{,}781}\,100 = 103\%\,,\quad \frac{4{,}596}{3{,}781}\,100 = 121\% \quad \text{és} \quad \frac{1{,}777}{3{,}781}\,100 = 47\%$$

a csökkenő korrelációs együtthatók sorrendjében.) Ha a mérési eredmények összetartozó értékpárjai igen jól meghatározzák az egyenest, akkor a grafikus úton kiértékelt állandókkal számolható súlyszázalékok és statisztikai jellemzők természetesen alig különböznek az eredeti adatoktól, ill. a regressziós módszerrel meghatározható értékektől. Kisebb korrelációs együttható esetén viszont elég nagy a tévedés lehetősége. (Pl. az utolsó táblázat adataival a Schumann—Gaudin-féle eloszlás esetében a statisztikai jellemzők különbségei 3,897 — 3,781 = = 0,116, 9,449 — 9,178 = 0,271 és 3,304 — 3,215 = 0,089, ill. 3,781 — 3,647 = 0,134, 9,178 — 8,137 = 1,041 és 3,215 — 3,123 = 0,092; Rosin—Rammler-féle eloszlás esetében pedig 4,596 — 3,781 = 0,815, 33,112 — 9,178 = 23,934 és 3,215 — 2,584 = 0,631, ill. 9,006 — 3,781 = 5,225, 226,757 — 9,178 = 217,579 és 3,505 — 3,215 = 0,290). Ezért a felvetett kérdésnek — a szemcsevizsgálati adatoknak a legmegfelelőbb függvénnyel való leírásának, a szemnagyságeloszlási függvényben szereplő állandók legvalószínűbb értéke meghatározásának — egzakt eldöntésére a bemutatott módszer a grafikus módszernél alkalmasabb, utóbbinál ui. a legmegfelelőbb függvény megkeresésekor még nehézséget okoz az a körülmény, hogy az ordinátán az egyes szemcseeloszlási függvények esetében más-más értékek (loglog $100/s_D$ log s_F és valószínűségi skála) szerepelnek.

IRODALOM

1. Tarján G.: Ércelőkészítéstan. Tankönyvkiadó, Budapest 1964; 71.
2. Taggart, A. F.: Handbook of Mineral Dressing. John Wiley & Sons Inc., New York, 1948, 19—147.
3. Forrai S.—Patvaros J.: Anwendung der linearen Korrelationsrechnung im Bergbau. *Mitteilungen der technischen Universität für Schwerindustrie*, Miskolc 1964, 55—81.
4. Beke B.: Aprításelmélet. Szilikátkémiai Monográfiák IV. Akadémiai Kiadó, Budapest 1963.
5. Batel, W.: Korngrößenmesstechnik, Springer-Verlag, Berlin /Göttingen/Heidelberg 1960.
6. Herdan, G.: Small Partide Statistics. Butterworth, London/ Toronto/ Sydney/ Wellington/ Durban 1960.

50 ÉVES A LÉGSZÍVÓ SUGÁRHAJTÓMŰ MAGYAR TALÁLMÁNYA

BRODSZKY DEZSŐ
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1965. június 11-én]

A cikk ismerteti a légszívó sugárhajtóműnek egy magyar úttörő által javasolt megoldását.

FONÓ ALBERT gépészmérnök — ma a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja — 50 évvel ezelőtt, 1915. február 10-én sugárhajtású lövedékre (légi torpedóra) nyújtott be javaslatot az osztrák—magyar hadsereg-főparancsnokságához. A javaslat alátámasztására készült részletes számítás kimutatta, hogy a javasolt légi torpedóval sokkal nagyobb távolságra lehet hatásosan lőni, mint az akkor ismert legmesszebb hordó ágyúval [1].

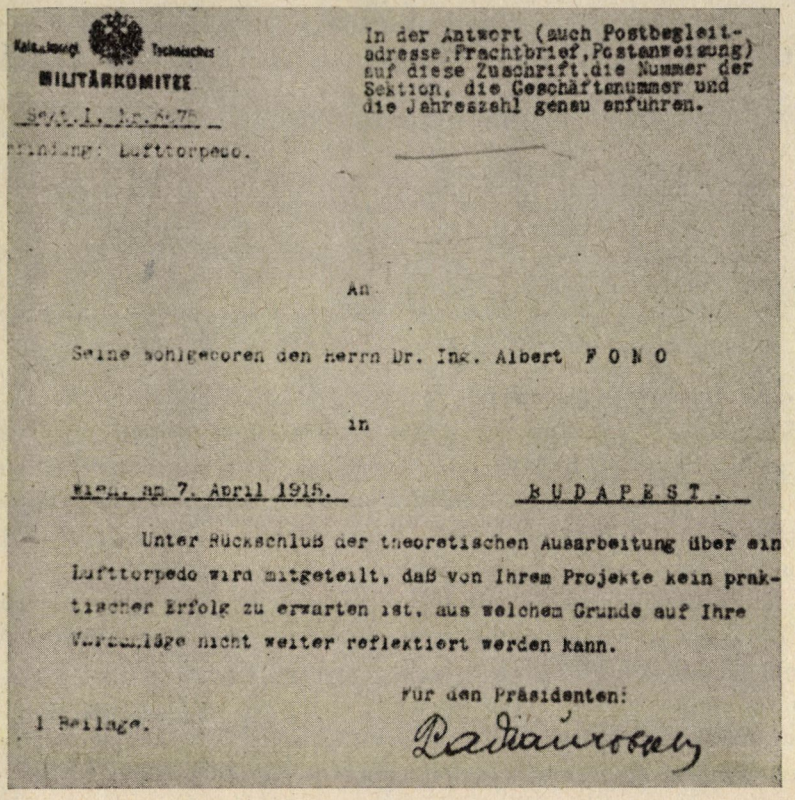
A hadsereg-főparancsnokság technikai bizottsága rövid levélben közölte FONÓval, hogy a javaslat megoldásától gyakorlati siker nem várható, és ezért ezzel nem foglalkozik (1. ábra).

Mai szemmel nézve a javaslatot nem lehet vitás, hogy igen nagy horderejű találmány részesült elutasításban. FONÓ javaslata a korszerű hangkörüli és hangontúli légi közlekedésünk hajtóművének minden lényeges alapgondolatát tartalmazta, s emellett olyan alkalmazást ajánlott, amely a maga korában (1915) a legreálisabb volt, vagyis a leginkább megvalósítható lett volna.

FONÓ ALBERT légi torpedójának vázlata a 2. ábrán látható [1]. Ma csak rá kell pillantanunk és látjuk, hogy légszívó kompresszor nélküli sugárhajtóműről (ram-jet-ről, athodid-ról) van szó. Működését ma már jól ismerjük, elvileg hőerőgépre és propulziós vontató szerkezetre bontható. Működésének alapfeltétele az, hogy a levegő megfelelő relatív sebességgel érkezzék hozzá. Ezt a relatív sebességet maga a repülés biztosítja.

Munkafolyamata a következő: A hajtóműhöz érkező levegő relatív mozgási energiája részben már a hajtómű előtt, részben a hajtómű megfelelően kialakított csatornájában lecsökken, ezáltal entalpiája nő és ezzel együtt nyomása is, vagyis dinamikus kompresszió jön létre. Ezután tüzelőanyagot fecskendezünk a komprimált levegőbe, meggyújtjuk és állandó nyomáson elégetjük, majd a megnövelt energiatartalmú gáz a propulziós fúvócsőben expandál és nagy sebességgel távozik. A nagy sebességű közeg impulzusának reakciója adja a vonóerőt.

A hajtómű eszményi munkafolyamata — előzőek szerint — adiabatikus (izentropikus) kompresszióból, állandó nyomású hőközlésből, adiabatikus expanzióból (kiömlés) és állandó nyomású hőelvonásból áll (3. ábra). Az esz-



Kais. Königl. Technisches
MILITÄRKOMITEE
Sekt. I. Nr. 8675
Erfindung: Lufttorpedo.

In der Antwort (auch Postbegleitadresse, Frachtbrief, Postanweisung) auf diese Zuschrift, die Nummer der Sektion, die Geschäftsnummer und die Jahreszahl genau anführen.

An

Seine Wohlgeboren den Herrn Dr. Ing. Albert F O N O

in

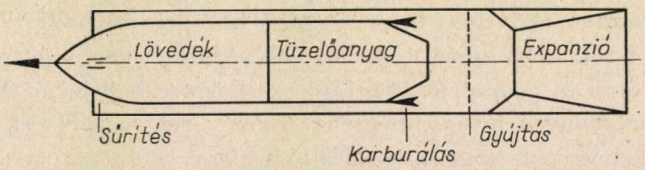
Wien, am 7. April 1915. B U D A P E S T.

Unter Rückschluß der theoretischen Ausarbeitung über ein Lufttorpedo wird mitgeteilt, daß von Ihrem Projekte kein praktischer Erfolg zu erwarten ist, aus welchem Grunde auf Ihre Vorschläge nicht weiter reflektiert werden kann.

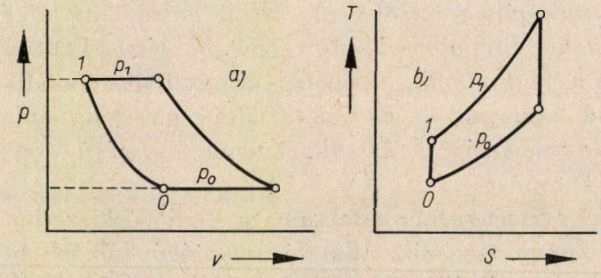
Für den Präsidenten:

1 Beilage.

1. ábra. A hadsereg-főparancsnokság elutasító levele



2. ábra. FONÓ légitorpedójának vázlata [1]



3. ábra. A légszívó sugárhajtómű eszményi munkafolyamata: $p-v$ diagram (a); $T-s$ diagram (b)

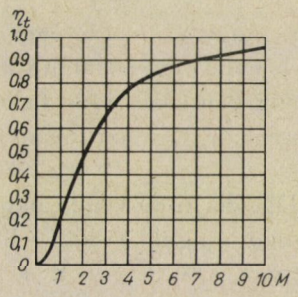
ményi (ideális) körfolyamattal működő hőerőgép hatásfoka egyedül a kompresszió nyomásviszonyának függvénye

$$\eta = 1 - \left(\frac{p_0}{p_1}\right)^{\frac{\varkappa-1}{\varkappa}},$$

ahol p_0 a kompresszió kezdeti, p_1 a kompresszió végső nyomását jelöli. Itt azonban dinamikus kompresszióról lévén szó, a nyomásviszony az érkező sebességtől függ, így végül is a hatásfok az érkező sebesség egyértelmű függvénye, a sebesség pedig M számmal jellemezhető. Így

$$\eta = 1 - \frac{1}{1 + 0{,}2\,M^2} = \frac{1}{\frac{5}{M^2} + 1},$$

ami a 4. ábrán diagram alakjában is látható. Kis M számoknál kicsiny a hatásfok; M növekedésével kezdetben enyhén később rohamosan majd enyhülően növekszik. $M = 0{,}1$-nél csak 0,1%, $M = 0{,}5$-nél 5%, $M = 1$-nél 16,6%, $M = 2$-nél már 45%, végül $M = 5$-nél 83% a hatásfok.



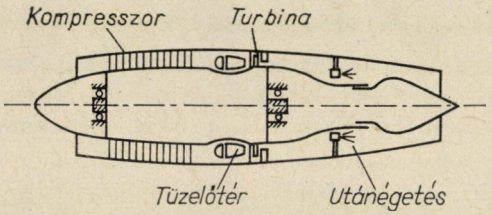
4. ábra. A légszívó sugárhajtómű ideális termikus hatásfokának változása az M szám függvényében

Ha meggondoljuk, hogy ezek az értékek a hőerőgép ideális hatásfokát adják, a hőerőgép effektív hatásfokát még további lényeges veszteségek rontják, az egész hajtómű összhatásfokát pedig még a propulziós hatásfok is kisebbíti, akkor belátható, hogy légszívó kompresszornélküli sugárhajtómű (ram-jet) előnyös alkalmazásának létalapja a hangontúli sebesség, amit ma már a gyakorlat is igazolt.

1915-ben csak a lövedékek értek el hangontúli sebességet, a repülőgépek még gyermekcipőben jártak, sebességük igen messze volt a hangsebességtől, annak törtrészét érte csak el. A hangsebesség elérése akkor nem a hajtóművön múlt, sokkal inkább a sárkányon, hangontúli repülőgéphez alkalmas hajtómű

kifejlesztése ezért még nem volt időszerű. Az akkori repülőgéphez igen jól megfelelt a légcsavaros benzinmotor—vonóerő, hatásfok és sok más szempontból is. Ennek helyettesítésére a légszívó kompresszornélküli sugárhajtómű (ram-jet) kis repülési sebességnél nem alkalmas; ilyen viszonyok között a későbbi fejlődés folyamán sem jutott szerephez.

Az eddigiek alapján is megállapítható, hogy FONÓ 1915-ben nyújtott javaslata reális volt. Sokkal reálisabb volt, mint a francia LORIN 1913-ban megjelent dolgozata, amely szintén felvetette a ram-jet gondolatát anélkül azonban, hogy a nagy sebesség szükségességére utalás történt volna [4]. FONÓ legfontosabb felismerése az volt, hogy a légszívó kompresszornélküli sugárhajtómű hangontúli repülési sebességnél válik nagy fontosságú hajtóművé.



5. ábra. Utánégetéses gázturbinás sugárhajtómű elvi vázlata

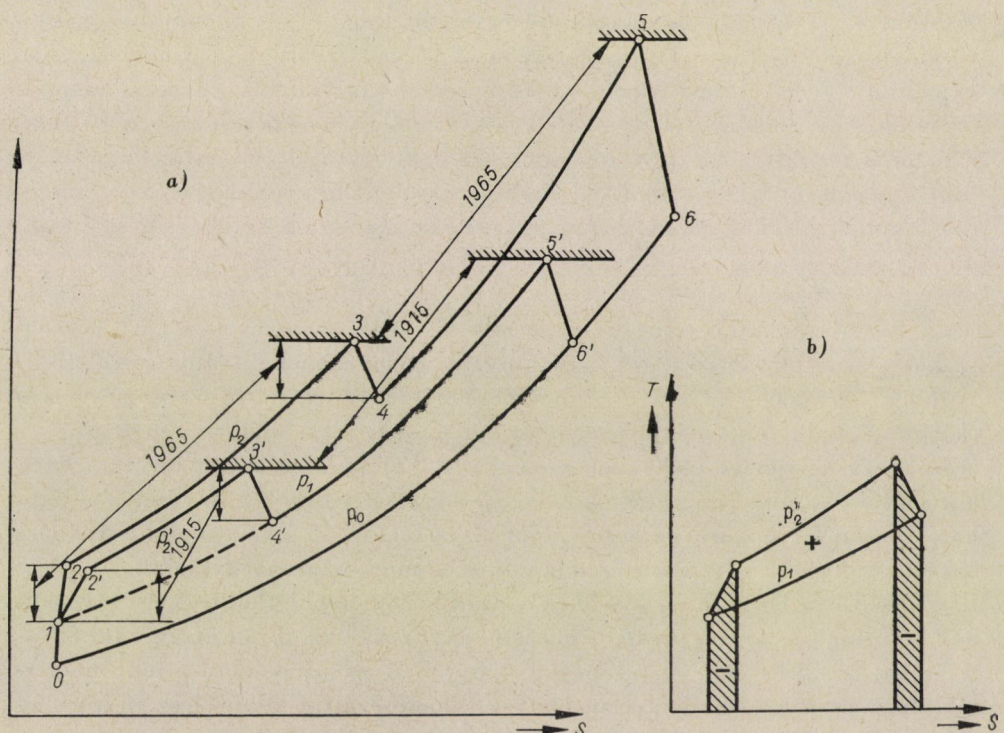
Ezenkívül nemcsak azt látta, hogy a működéséhez szükséges kezdeti sebességet más úton kell biztosítani, hanem meg is találta azt az alkalmazási területet, amelynél a megvalósítás 1915-ben záros időn belül remélhető volt. Tisztában volt a kísérletezés fontosságával, és azt beadványában [1] nyomatékosan hangsúlyozta is.

Ezzel korszerű repülőgéphajtóműveink alapelve megvolt. Kisebb lépés kellett ahhoz, hogy a hajtómű hangnál kisebb sebességre is alkalmassá váljék és startteljesítménye is legyen. FONÓ ennek a kérdésnek megoldásában is lényegeset alkotott. Bár kedvezőtlen körülményei időveszteséget okoztak, a közbenső fejlődés időszerűbbé tette a kérdés megoldását.

Javaslatának elutasítása után huzamos ideig nem volt lehetősége ahhoz, hogy a légszívó sugárhajtómű kérdésével tovább foglalkozzék, csak 1928-ban jutott abba a helyzetbe, hogy repülőgéphez alkalmas sugárhajtómű megvalósítására gondoljon, és erre szabadalmat kérjen. Ezt a német birodalmi szabadalmi hivataltól is kérte, mert ennek elővizsgálatát tekintették akkoriban a legmegbízhatóbbnak. Először a légi torpedóhoz javasolt megoldását jelentette be, hangsebességnél gyorsabb repülőgéphez, majd féléven belül pótszabadalmat kért starthoz és hangsebességen aluli repüléshez alkalmas sugárhajtóműre. Utóbbinál külön hőerőgéppel (példaképpen dugattyús vagy forgódugattyús motorral) hajtott légsűrítő létesíti a jó működéshez szükséges nyomásviszonyt, amihez repülés közben a dinamikus kompresszió is hozzájárul.

Ez a pótszabadalom lényegében a légszívó kompresszoros sugárhajtómű megoldását jelenti, nyitva hagyva azt a kérdést, hogy végül is milyen fajtájú légsűrítő és hőerőgép válik előnyössé. Szokatlanul hosszú ideig, kb. 4 1/2 évig tartó elővizsgálat után megadott német szabadalmak 1928. évi elsőbbséget szögeznek le.

FONÓ a szabadalmi bejelentések után lehetőséget keresett a légszívó sugárhajtás repülőgépen való kipróbálásához. Több ígéret után *(Fokker, Junkers)* végül is nem nyílt erre alkalom, amiben nagy része volt annak is, hogy az akkor



6. ábra. Utánégetéses gázturbinás sugárhajtómű és kompresszornélküli légszívó sugárhajtómű entrópia diagramjai: A mai (1965) gázturbinás sugárhajtómű, valamint az 1915-ben elképzelhető sugárhajtómű i—s diagramja (*a*); üresen járó gázturbina T—s diagramja — a + és — hőterületek kiegyenlítik egymást — (*b*)

technikai szint sem engedett még meg kellő hőmérsékleteket a kritikus helyeken (pl. benzinmotor kipufogó szelepeinél). Így a kísérletezés és a gyakorlati megvalósítás másoknak jutott osztályrészül.

Jelenleg a hangsebesség körüli és hangontúli repülés legfontosabb hajtóműve a gázturbinás sugárhajtómű, amelyhez utánégetés is alkalmazható. Ezt a hajtóművet (ram-jet-et) is kiegészítheti, amely azonban csak nagy sebességnél kerül működésbe.

Vegyünk most szemügyre egy ma szokásos — hangsebességen aluli repülőgéphez is használt — utánégetéssel kiegészített gázturbinás sugárhajtóművet, majd nézzük meg, hogy az 1915. évi általános technikai szint ebből minek a megvalósítását tette volna lehetővé.

Az 5. ábrán korszerű gázturbinás sugárhajtómű elvi vázlata látható utánégető berendezéssel, a 6. ábrán pedig a hajtómű munkafolyamatának $i - s$ és $T - s$ diagramjai a hangontúli repülés üzemállapotában. A munkafolyamat — az $i - s$ diagramban láthatólag — dinamikus kompresszióval kezdődik (*0—1* vonal), majd a kompresszor sűríti tovább a levegőt (*1—2* vonal). Ezután — a kisebb nyomásveszteségtől eltekintve — állandó nyomáson tüzelőanyagot égetünk el a tüzelőtérben (*2—3* vonal), majd a gáz a turbinában expandál (*3—4* vonal). A turbina a kompresszor hajtásához szükséges munkát fedezi, ehhez nem igényli a rendelkezésre álló teljes hőesést, így a nyomás a turbina mögött még nagyobb, mint a kompresszor előtt. A turbina mögött — az utánégető kamrában — újabb tüzelőanyagmennyiséget égetünk el (*4—5* vonal), végül a megnövelt energiájú gázt a propulziós fúvócsőben expandáltatjuk (*5—6* vonal), és ezáltal nagy kiömlési sebességet biztosítunk, ami nagy tolóerőt eredményez.

Ez a munkafolyamat a szerkezeti anyagok és a szerkezet által megszabott korlátok ismeretének és a hozzá való igazodásnak eredménye. Ilyen korlát a turbina lapátjain megengedhető hőmérséklet is. A propulziós fúvócsőben nagyobb hőmérséklet engedhető meg, mint a turbinában a centrifugális erő okozta igénybevételek hiánya és a jobb hűtési lehetőségek folytán. Ezek a korlátok — mint ismeretes — lényeges hatással vannak a folyamatból kapható hasznos munkára és a folyamat hatásfokára. Ezekre további lényeges hatást gyakorol a turbinának, valamint a kompresszornak hatásfoka.

1915-ben lényegesen kisebbek voltak a hőmérséklethatárok és gyengébbek a turbina és a kompresszor hatásfokai. Ezeket az ábrán az évszám feltüntetésével érzékeltetjük. Az utánégető kamrában megengedhető kisebb hőmérsékletnek csak az a hatása van, hogy a tolóerő ezáltal kisebb lesz. A turbina előtt megengedhető kisebb hőmérséklet és a rosszabb turbina és kompresszor hatásfokok azonban alapvető változást hoznak magukkal. A kis beömlési hőmérsékletű és gyenge hatásfokú turbina a még gyengébb hatásfokú kompresszor hajtásához akkora hőesést igényel, hogy a turbina mögötti nyomás lecsökken kb. a kompresszor előtti nyomásra, vagyis a gázturbina csaknem üresen járna, lényeges hasznot nem hajtana. Így a gázturbina mint felesleges bonyodalom elhagyandó. Ekkor pedig FONÓ 1915-ben tett hangontúli repülésre vonatkozó javaslatához jutunk, amelyet a $T—s$ diagram is ábrázol, ahol a p_1 nyomáson történik a hőbevezetés.

Joggal feltehető — bár nehezen volna bizonyítható —, hogy FONÓ gondolatai eljutottak azokhoz, akik a légszívó sugárhajtóművet később megvalósították és azok munkájára termékeny hatást gyakoroltak. FONÓ munkás-

sága a német szabadalom révén és széles körökben az újabb cikkek alapján válik egyre elismertebbé. Így W. H. AVERY az *American Rocket Society Journal* 1960. évfolyamában megjelent tanulmánya [4] a következőkkel zárul:

„The documentation furnished by DR. FONÓ *indicates that he was the first person to visualise the possibilities of ram-jet propulsion for supersonic flight. Although the work of Lorin was earlier, there is no indication in* LORIN*'s published papers that he foresaw the use of ramjets at the high speeds needed by this type of engine to achieve useful thrust or efficient operation.*

I feel sure that all ARS readers will be glad to accord DR. FONÓ *recognition for his pioneering studies of ramjet propulsion."*

IRODALOM

1. FONÓ A.: Lufttorpedo. Beadvány az A. O. K.-hoz, Budapest 1915. február.
2. *DRP* 554 906 sz. szabadalom és a *DRP* 560 075 sz. pótszabadalom.
3. FONÓ, A.: On Ram Jet Propulsion. *Acta Techn. Hung.* **12** (1955), 3—4.
4. AVERY, W. H.: Air Torpedo. A Proposal of Dr. Ing. Albert Fono, Dated 10. February 1915. *ARS Journal* **30** (1960), No. 11.

ÚJ MÓDSZER A SZÖVETGEOMETRIÁBAN

MÉSZÁROS LAJOS
NEHÉZVEGYIPARI KUTATÓ INTÉZET

[Beérkezett 1965. november 8-án]

A szakirodalomból ismert Peirce-féle alapösszefüggésekben alapvető szerepet játszik a fonalkereszteződési szög, amelynek megválasztására semmiféle támpontunk sincs, és így ezeknek az összefüggéseknek az alkalmazása kifejezetten csak közelítésjellegű lehet. Ezért volt szükséges ennek a szögnek a szerepét más, egyszerűbben kezelhető, gyakorlatilag használható új paraméter bevezetésével helyettesíteni. Az új paraméter a kitöltési, ill. fedőtényezők függvényében közvetlenül meghatározható. Az új paraméter alapján a vászonkötésre új alapegyenleteket lehetett felírni. Segítségükkel lehetővé válik a vászonkötésű szövetek szerkezeti felépítés szerinti csoportosítása, és a szövet vastagságának, továbbá a beszövődés méreteinek egzakt meghatározása. A hajlatmagasság és a beszövődések között is a Peirce-féle közelítő összefüggések helyett egzakt összefüggések adódnak. Ennek alapján előre megadott négyzetmétersúlyú vászonkötésű szövetek tervezése lehetséges.

I. Bevezetés

A szöveteket rendszerint úgy készítik, hogy azok tulajdonságai bizonyos követelményeket (m^2—súly, szerkezet, fogás és esztétikai megjelenés) kielégítsenek úgy, hogy a használati célnak is lehető legjobban megfeleljenek. A szövetek jellegét túlnyomórészt azok felépítési tényezői: a fonalak sűrűsége, finomsági száma, beszövődése, kereszteződés-száma és hajlatmagassága határozza meg, mely utóbbi a szövet vastagságára nézve ad útbaigazítást. A szövetszerkezet geometriai felépítésében beállott változás módosítja, vagy legalábbis módosíthatja a szövet egyes használati tulajdonságait. Ezért válik aztán lehetővé a szövetgeometriai elvek alkalmazásával olyan szövetek tervezése, amelyek a kívánt célnak inkább megfelelnek.

A szövetszerkezeteknek gyakorlati, tehát könnyen mérhető (pl. m^2—súly, szélesség stb.) jellemzőin kívül lényegesen nehezebb pl. a szövet vastagságának mérése. Ez a szövet szerkezeti adottságaitól függő összetett tényező, amelyhez meg kell határozni a fonalak hajlatát és hullámmagasságát. Ezzel foglalkozik PEIRCE F. T. [1]. Véleménye szerint a fonalak elhelyezkedése a szövetben a beszövődésüktől függ, amelynek ismeretében a szövet elméleti vastagsága is adott. A szövetszerkezeteket vastagsága szerint legelőször NOVIKOV [2] osztályozta. Módszere azonban nem terjedt el, mert a szöveteket nem lehet csupán kilenc osztályba sorolni. A szövetek vastagságát a lánc- és vetülékfonalak különböző hajlítási módjai határozzák meg. A fonalhajlatok magasságának

számítására SZMIRNOV V. I. [3] adott egzakt összefüggéseket. Képleteit nyitott szövetekre is ki akarta terjeszteni. Ennek téves voltára azonban SZTRJÁKOV N. [4] hívta fel SZMIRNOV figyelmét.

PEIRCE elméletét a geometriai módszerrel dolgozta ki. Alapegyenleteit e cikk II. fejezete tartalmazza. Ezek hátrányai, hogy azokban a fonalkereszteződési szög szerepel, amelynek megválasztására semmiféle támpontunk sincs (pl. milyen szempont szerint kellene a Θ-t megválasztani cipővászonszövet esetében).

A fonalkereszteződési szög és a fedőtényező között ALPÁR B. [5] keresett összefüggéseket vászonkötésű szöveteknél, amelyeket azután szőhetőség szerint osztályozott. Szőhetőségi határokat, a fonal fajsúlyából kiindulva DICKSON J. B. [6] adott. Újabban KEMP A. [7] és HAMILTON B. [8] a fonaldeformációk figyelembevételével alkalmazzák a Peirce-féle alapegyenleteket. Nem vászonkötésű szövetek esetében is, a fonaldeformációkat WIECHMANN W. [9] vette számításba. Geometriai meggondolásokból indult ki a fonalsűrűségek számításainál, azonban lényegében BON [10] összefüggéseit alkalmazza. A fedőtényezőkkel kapcsolatos Peirce-féle egyenletet „jammed" (zárt) szerkezetű, nemcsak vászonkötésű egyszerű szövetek fonalsűrűségeinek meghatározására LOVE L. [11] terjesztette ki. A beszövődések számítására (a fonaldeformációk figyelembevételével) közelítő összefüggéseket közölt.

A fonalkereszteződési szöget, alapjában véve LOVE L. sem küszöbölte ki a Peirce-féle alapegyenletekből. Éppen ezért a fonalkereszteződési szög kiküszöbölésének problémáját, mint egyik legfontosabb célt tartva szem előtt, olyan új összefüggéseket kell keresni, amelyek nemcsak a szigorúan geometriai követelményeket elégítik ki tökéletesen, hanem a szövet szerkezetét több szempontból hiánytalanul jellemző szövetkitöltési tényezővel (ill. szövet-fedőtényezővel) is kapcsolatba hozzák.

A fonal- és szövetkitöltési tényezők közötti kapcsolat vizsgálata terén HAJÓS I. [12] ért el újabb eredményeket és közölt grafikus összefüggéseket.

A problémafelvetésben keresett új alapegyenleteket a III. fejezet tartalmazza. Ezekben a fonalszakaszok nem mérhető új paramétereket jelentenek. Az új paraméterekkel kapcsolatosan ZILAHI M. [13] a következő kérdést vetette fel bírálatában: Hogyan lehet ezek használatát indokolttá tenni és egyáltalában bevezetésüknek bármilyen előnyét kimutatni.

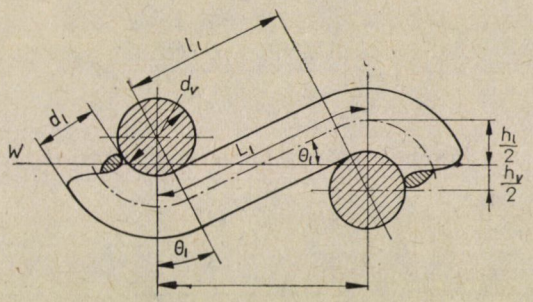
A felvetett kérdésre a IV., V. és VI. fejezetben válaszolunk, míg bevezetésüknek teljes előnyeit a VII. fejezetben beszövődések egzakt meghatározásaiban és a VIII. fejezetben előre megadott m^2—súlyú vászonkötésű szövetek tervezésében domborítjuk ki. A IX. fejezetben a Peirce-féle beszövődést kifejező közelítő összefüggések helyett az egzakt kapcsolatokat mutatjuk meg, amelyek a bevezetett új paraméter értékek egy speciális esetében adódnak.

Az elmondottakból következik, hogy a levezetett összefüggések és törvényszerűségek általában csupán vászonkötésű szövetekre érvényesek. Hatá-

suk azonban kiterjed az egyszerű szövetekre is, de már nem az összetettekre, vagyis a bélelt, ill. kettős szövetekre.

II. Peirce-féle alapegyenletek

A fonalak a szövetben hullámszerűen helyezkednek el. A hullámosságot vagy beszövődést főképpen a lánc- és a vetülékfonalrendszer sűrűségi viszonyai határozzák meg. A fonalsűrűség változásával változik a beszövődés is, amely a szövet vastagságát, fedettség, hő-, lég- és vízáteresztőképességét, általában a szövet használati tulajdonságait befolyásolja. Ez volt az oka annak, hogy



1. ábra. Vászonkötés szerkezeti eleme

Jelmagyarázat: S_l, ill. S_v a lánc-, ill. vetüléksűrűség 10 cm-re vonatkoztatottan; d_l, ill. d_v a lánc-, ill. vetülékfonal átmérője [mm]; t_l, ill. t_v a lánc-, ill. vetülékfonalak egymástól mért távolsága [mm]; w a Peirce-féle szövettengely; θ_l, ill. θ_v a lánc-, ill. vetülékfonal tengelyének a szövettengellyel bezárt szöge; h_l, ill. h_v a lánc- és vetülékfonal tengelyeinek a szövettengelytől merőleges irányú elmozdulás, a hullám magassága [mm]; $D = d_l + d_v$ a szövet vastagsági paramétere [mm]; L_l, ill. L_v a két szomszédos vetülékfonal, ill. láncfonal keresztmetszete között haladó láncfonaldarabka, ill. vetülékfonaldarabka; l_l, ill. l_v a két szomszédos vetülékfonal, ill. láncfonal keresztmetszete között haladó láncszakasz, ill. vetülékszakasz; $d = d_v/d_l$ átmérő viszonyszám; $b_l = L_l/t_v - l$ a láncbeszövődés; $b_v = L_v/t_l - l$ a vetülékbeszövődés.

F. T. Peirce [1] kapcsolatot keresett a fonalsűrűség és a hullámmagasság, ill. a beszövődés között. Számításait tisztán geometrikus alapon végezte el, a következők feltételezésével: a fonal homogén, körkeresztmetszetű hengeres; a fonalak tökéletesen hajlékonyak és a szövetben deformációmentesek; a feldolgozás során a fonal anyagában és tömöttségében változatlan marad.

A szövet legkisebb szerkezeti elemét az 1. ábra mutatja.

A Peirce-féle alapegyenletek a következők: az 1. ábrából kiolvashatóan *két szomszédos* (például vetülék) *keresztmetszet távolsága:*

$$t_v = D\sin\Theta_l + (L_l - D\Theta_l)\cos\Theta_l. \tag{1}$$

A lánc hullámmagassága pedig:

$$h_l = (L_l - D\Theta_l) + D(1 - \cos\Theta_l). \tag{2}$$

A szövet vastagsági paramétere Peirce szerint kifejezhető úgy is, hogy

$$D = h_l + h_v, \tag{3}$$

amit később SZMIRNOV [14] is bizonyított. A *szövet vastagsága*

$$v_l = h_l + d_l. \tag{4}$$

Az (1)—(4) egyenletek a Peirce-féle alapegyenletek. Segítségükkel a szövet legkisebb szerkezeti elemének méreteit meghatározhatjuk.

Az (1) és (2) egyenletekben a fonaltengelynek a szövettengellyel bezárt szöge Θ_1 szerepel, amelyet sem mérni nem lehet, sem pedig azzal számolni nem célszerű. Ezért PEIRCE a Θ_1 kiküszöbölése céljából az (1) alattiakat Taylor-sorba fejtette és a sor néhány tagját figyelembe véve kapta, hogy

$$t_v = L_l - \frac{4L_l\Theta_l^2}{2} + \frac{D\cdot\Theta_l^3}{2} - \ldots .$$

Ezt behelyettesítve a láncbeszövődés képletébe, írhatjuk:

$$b_l = \frac{L_l\frac{\Theta_l^2}{2} - D\frac{\Theta_l^3}{3} + \ldots}{L_l - L_l\cdot\frac{\Theta_l^2}{2} + D\cdot\frac{\Theta_l^3}{3} - \ldots} .$$

Ha Θ_1 kicsiny, akkor PEIRCE elegendőnek tartja csupán a sorbafejtés első tagjának figyelembevételét, tehát

$$\Theta_l = \sqrt{2b_l}. \tag{5}$$

A hullámmagasság kifejezése céljából sorbafejtve a (2) egyenletet is és annak első tagját véve figyelembe írható, hogy:

$$h_l = L_l\Theta_l.$$

Ezt egybevetve az (5) alattiakkal adódik, hogy:

$$h_l = t_v\sqrt{2b_l}. \tag{6}$$

PEIRCE így nyert közelítő összefüggést a fonalsűrűség, beszövődés és hajlatmagasság között, amely utóbbi a szövet vastagságát határozza meg (4) szerint.

PEIRCE a (6) összefüggését a nagyobb mértékű elhanyagolások miatt korrigálta, mivel nem tartotta elég jó megközelítő értéket adónak. Szellemes

gyakorlati módszereket is talált a szövetgeometriai kapcsolatok és a Θ_l mérőeszközökkel történő meghatározására, ezek gyakorlati használatát azonban nem javasolta.

A fonal geometriai tengelyének a szövettengellyel bezárt Θ szöge igen fontos tényező, mert segítségével, ennek ismeretében a szövetszerkezeti jellemzőket egzakte meghatározhatjuk. Ezért olyan megoldást feladat keresni, amely lehetővé teszi a Θ-val történő számolást, vagy azt mellőzi a számításokból. PEIRCE szerint a fonalhajlásszögét Θ-t nem lehet kiküszöbölni „algebrailag" a számításokból. Kimutatjuk, hogy ez lehetséges a lánc, ill. vetülékszakasz segítségével.

III. A vászonkötés új alapegyenletei

Az 1. ábra alapján a két szomszédos vetülékkeresztmetszet között haladó l_l láncszakasz hossza:

$$l_l = L_l - D\Theta_l. \tag{7}$$

Ennek alapján a *láncfonalak* helyzetére vonatkozóan a Peirce-féle alapegyenleteket a következő alakba írhatjuk.

$$t_v = D \sin \Theta_l + l_l \cos \Theta_l \tag{8}$$

és

$$h_l = l_l \sin \Theta_l + D - D \cos \Theta_l. \tag{9}$$

A *vetülékfonalak* helyzetére vonatkozóan az indexek felcserélésével

$$t_l = D \sin \Theta_v + l_v \cos \Theta_v$$

és

$$h_v = l_v \sin \Theta_v + D - D \cos \Theta_v . \tag{10}$$

A (3) egyenletbe behelyettesítve a (9) alattiakat és beszorozva D-vel

$$h_v D = D^2 \cos \Theta_l - l_l D \sin \Theta_l .$$

A (8) egyenlet l_l-lel szorozva

$$t_v l_l = l_l^2 \cos \Theta_l + l_l D \sin \Theta .$$

Az utóbbi két egyenletet összeadva

$$h_v D + t_v l_l = (D^2 + l_l^2) \cdot \cos \Theta_l ,$$

ahonnan

$$\cos \Theta_l = \frac{h_v D + t_v l_l}{D^2 + l_l^2} . \tag{11}$$

A gondolatmenet megismétlésével, beszorozva a (10) egyenletet l_l-lel, a (8) egyenletet $(-D)$-vel és az így kapott két egyenletet összeadva az adódik, hogy

$$h_v l_l - t_v D = (l_l^2 - D^2) \sin \Theta_l \, .$$

Ebből

$$\sin \Theta_l = \frac{t_v D - h_v l_l}{D^2 + l_l^2} \, . \tag{12}$$

A (11) és (12) egyenletet behelyettesítve a pitagoraszi trigonometrikus összefüggésbe kapjuk:

$$\left(\frac{h_v D + t_v l_l}{D^2 + l_l^2}\right)^2 + \left(\frac{t_v D - h_v \cdot l_l}{D^2 + l_l^2}\right)^2 = 1 \, . \tag{13}$$

Négyzetreemelve, összevonva és elosztva az egyenletet $(D^2 + l_l^2)$-tel azt kapjuk, hogy

$$\boxed{h_v^2 + t_v^2 = D^2 + l_l^2}^* \tag{14}$$

Ezzel az egyenlettel egyszerű, egyértelmű összefüggést sikerült találni, amellyel a vászonkötésű szövetek jellemzőit egzakt módon számolhatjuk, a fonal hajlásszögének ismerete nélkül.

Hasonlóképpen a (14) egyenlethez az indexek felcserélésével kapjuk, hogy

$$\boxed{h_l^2 + t_l^2 = D^2 + l_v^2}^* \, . \tag{15}$$

A (14) és (15) összefüggést célszerű a vászonkötés új alapegyenleteinek nevezni. A vászonkötés alapegyenleteiben a fonalszakaszok, mint új paraméterek szerepelnek. Meghatározásuk módjait a IV. és a VI. fejezet tartalmazza. Használatuk előnye pl., hogy lehetővé teszik a beszövődések egzakt számítását és előre megadott m^2—súlyra vászonkötésű szövetek tervezését is.

IV. A szakaszviszonyszámok a fonalkitöltési tényezők függvényében

A lánc- ill. vetülékszakasznak a vastagsági paraméterrel alkotott hányadosát lánc- ill. vetülékszakasz viszonyszámának, röviden szakaszviszonyszámoknak nevezzük és l_l/D ill. l_v/D-vel jelöljük.

A szakaszviszonyszámokat a MURPHY J. [15] bevezette, fonalkitöltési tényezők ismeretében határozhatjuk meg. Például a láncszakasz viszonyszámot a vetülékkitöltési tényezővel (feltéve, hogy $D \neq 0$ és $\varepsilon_v \neq 0$) a következő függvénykapcsolat fejezi ki:

$$\frac{l_l}{D} = \sqrt{\frac{d^2}{(1+d)^2 \cdot \varepsilon_v^2} + \frac{h_l^2}{D^2} - \frac{2h_l}{D}}, \tag{16}$$

ahol h_l/D a lánchajlat-viszonyszám; $\varepsilon_v = d_v S_v/100$ a vetülékkitöltési tényező.

A vetülékkitöltési tényezőt ugyanis a (14) egyenlet figyelembevételével kifejezve következik az állítás.

A vetülékszakasz viszonyszámot a lánckitöltési tényezők függvényében hasonlóképpen számolhatjuk:

$$\frac{l_v}{D} = \sqrt{\frac{1}{(1+d)^2 \cdot \varepsilon_l^2} + \frac{h_l^2}{D^2} - 1}, \tag{17}$$

ahol $\varepsilon_l = d_l S_l/100$ a lánckitöltési tényező.

A szakaszviszonyszámokat közvetlen kapcsolatba hozhatjuk a szövetek jellegét jól érzékeltető ε típustényezővel, mely fogalmat HAJÓS I. [12] hozott be a szövetgeometriába. A típustényező ismeretében, ha például a szövetkitöltési tényező adott, akkor a lánc- és vetülékkitöltési tényezők másodfokú egyenlet gyökeiként adódnak.

Fel kívánjuk hívni a figyelmet arra, hogy a kitöltési tényezők és a fedőtényezők között szoros összefüggés van [10], a pontos számításoknál azonban mindig a kitöltési tényezők használatához kell visszatérni.

A (16) és (17) egyenletben szereplő nem mérhető lánchajlat-viszonyszám paramétert, a szövet vastagságából számolhatjuk. A lánchajlat-viszonyszám meghatározását az V. és a VI. fejezet tartalmazza.

V. A szövet vastagságának számítása

A szövet harmadik dimenzióját, a vastagságot a lánc- és vetülékfonalak hajlatmagasságai és azok átmérőinek együttese határozzák meg.

A szövet vastagsága láncirányban:

$$V_l = D\left(\frac{h_l}{D} + \frac{1}{1+d}\right) \tag{18}$$

és vetülékirányban:

$$V_v = D\left(\frac{h_v}{D} + \frac{d}{1+d}\right). \tag{19}$$

* Ezeknek az alapképleteknek a szerző már 1960. szeptember 15-én birtokában volt, amint HAJÓS ISTVÁNnak egy, a szerzőhöz írt levele dokumentálja.

Természetes azonban, hogy a lánc- és vetülékirányú szövetvastagságok egymástól nem függetlenek, azaz:

$$V_l = V(V_v).$$

Ez a függvénykapcsolat explicite, a (3) egyenlet alapján a (18) és (19) alattiak figyelembevételével a következő:

$$V_l = 2D - V_v. \tag{20}$$

Abban az esetben, ha

$$V_l = V_v \tag{21}$$

következik (20) egyenletből, hogy

$$V_l = V_v = D. \tag{22}$$

Ezeket a szöveteket egyenlő, egyenletes vagy paraméteres vastagságúaknak nevezhetjük.

A (20) függvénykapcsolatoknak Descartes-féle koordinátarendszerben ábrázolása céljából vezessük be a következő jelöléseket, hogy

$$y_l = \frac{V_l}{D}, \quad y_v = \frac{V_v}{D};$$

$$x_l = \frac{h_l}{D}, \quad x_v = \frac{h_v}{D};$$

továbbá

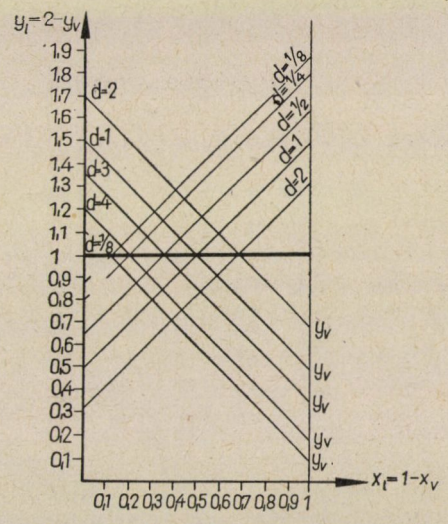
$$C_l = \frac{1}{1+d}, \quad C_v = \frac{d}{1+d}. \tag{23}$$

A bevezetett jelölésekkel a (20) egyenlet különböző értékei mellett az $y = f(x)$ derékszögű koordinátarendszerben $m = 1$ iránytangensű egyenesek egyenleteit adják. Az átmérőviszonyszám felvett értékeit az I. táblázat tar-

I. táblázat

d	1/8	1/4	1/2	1	2
$C_l = \frac{1}{1+d}$	0,889	0,8	0,66	0,5	0,33
$C_v = \frac{d}{1+d}$	0,111	0,2	0,33	0,5	0,66

talmazza. Az ábrázolt egyenessereget a 2. ábra mutatja be. E nomogramból az átmérőviszonyszám és az egyik hajlatviszonyszám ismeretében a szövet lánc- és vetülékirányú vastagsági tényezője leolvasható.



2. ábra. A szövetvastagsági tényező a lánchajlat-viszonyszám függvényében

A IV. fejezetben tárgyalt szakaszviszonyszámokat közvetlenül a szövetvastagság függvényében is kifejezhetjük. Így például a (17) egyenlet alapján a vetülékszakasz-viszonyszám:

$$\frac{l_v}{D} = \sqrt{\left(\frac{1}{(1+d)\,\varepsilon_l}\right)^2 + \left(\frac{V_l}{D} - \frac{1}{1+d}\right)^2 - 1}\,. \tag{24}$$

Ebből látható, hogy paraméteres vastagságú szövetek esetén a szakaszviszonyszám csupán a fonalkitöltési tényezőtől és a fonalátmérő viszonyszámától függ.

VI. A vászonkötésű szövetek csoportosítása szerkezeti felépítésük szerint

A vászonkötés új alapegyenletei szerint a vászonkötésű szöveteket a következő csoportokba sorolhatjuk aszerint, hogy

$$l_l = l_v = 0\,, \tag{25}$$

vagy

$$l_l = 0\,, \quad \text{de} \quad l_v \neq 0\,; \tag{26}$$

továbbá

$$l_v = 0 \quad \text{és} \quad l_l \neq 0\,; \tag{27}$$

végül

$$l_v \neq 0 \quad \text{és} \quad l_l \neq 0\,. \tag{28}$$

Vegyük ezeket sorjában vizsgálat alá.

1. *Zárt szövetszerkezetek*

Azok a szövetek, amelyekre (25), vagy (26), vagy (27) feltételek valamelyike fennáll.

a) *Láncban és vetülékben zárt szövetek.* Csak azok a szövetek, amelyekre a (25) alattiak fennállnak. Ezért:

$$h_v^2 + t_v^2 = D^2 \tag{29}$$

és

$$h_l^2 + t_l^2 = D^2\,. \tag{30}$$

A vetülékhajlat magassága a (16) egyenlet alapján a vetülékkitöltési tényezővel is kifejezhető

$$h_v = D\sqrt{1 - \left[\frac{d}{(1+d)\cdot\varepsilon_v}\right]^2}\,, \tag{31}$$

a lánchajlatmagasság (17) alapján pedig

$$h_l = D\sqrt{1 - \left[\frac{1}{(1+d)\cdot\varepsilon_l}\right]^2}\,. \tag{32}$$

Szmirnov V. L. [3] a (31) és (32) egyenletekkel szemben a fonalsűrűség különbségek felvételéből indul ki és azok alapján ad összefüggést a hajlatmagasságok számítására.

b) *Láncban zárt szövetek.* Azok a szövetfajták tartoznak ebbe a csoportba, amelyre a (26) feltételek fennállnak. Ezért:

$$h_v^2 + t_v^2 = D^2 \tag{33}$$

és

$$h_l^2 + t_l^2 = D^2 + l_v^2\,. \tag{34}$$

A vetülékszakasz hosszát a (17) egyenlet szerint is számolhatjuk, amelyben a lánchajlatmagasságot a (31) egyenlet alapján a (3) egyenlet határozza meg.

A lánchajlatmagasságot a szövetvastagsági tényezővel is meghatározhatjuk a 2. ábra alapján. A vetülékszakasz hosszát úgy is kifejezhetjük, ha a (34) egyenletből a (33) alattiakat kivonjuk, ekkor

$$l_v = \sqrt{h_l^2 - h_v^2 + t_l^2 - t_v^2}. \tag{35}$$

Ezeknek a szöveteknek közös főbb jellemzőjük a (35) egyenlet alapján az, hogy a láncsűrűség legtöbbször kisebb a vetüléksűrűségnél. A szövet vastagságát rendszerint a vetülékhajlat magassága determinálja.

c) *Vetülékben zárt szövetek.* Azok a szövetfajták, amelyekre a (27) feltételek állnak fenn. A vászonkötés alapegyenletei a következő alakot nyerik

$$h_v^2 + t_v^2 = D^2 + l_l^2 \tag{36}$$

és

$$h_l^2 + t_l^2 = D^2. \tag{37}$$

A láncszakasz hosszát a (16) egyenlettel is számolhatjuk, amelyben a lánchajlatmagasságot a (32) egyenlet határozza meg. A láncszakasz hosszát, ha (37) egyenletből a (36) alattit kivonjuk:

$$l_l = \sqrt{h_v^2 - h_l^2 + t_v^2 - t_l^2} \tag{38}$$

egyenlet fejezi ki. Ezeknek a szöveteknek közös főbb jellemzőjük a (38) egyenlet alapján az, hogy a vetüléksűrűség legtöbbször kisebb a láncsűrűségnél. A szövet vastagságát rendszerint a lánchajlat magassága determinálja. Általában ezeknek a szövetfajtáknak a szerkezeti felépítése a láncban zárt szövetek felépítésének ellentettje.

A szövetszerkezeti jellemzőket a szövet vastagsági tényezőjéből kiindulva is számolhatjuk.

2. *Nyitott szövetszerkezetek*

Csak azok a szövetek, amelyekre a (28) feltételek fennállnak. Ezekre a (14) és (15) alapegyenletek teljesülnek.

$$h_v^2 + t_v^2 = D^2 + l_l^2 \tag{39}$$

és

$$h_l^2 + t_l^2 = D^2 + l_l^2. \tag{40}$$

Legfőbb jellemzőjük ezeknek a szöveteknek az, hogy a lánc- és vetülékirányú szövetvastagságuk egyenlő, azaz

$$V_l = V_v = D.$$

Ezt V. I. SZTRJÁKOV [4] is bizonyította. Ezért:

$$h_l = d_v = \frac{Dd}{1+d} \tag{41}$$

és

$$h_v = d_l = \frac{D}{1+d}\,. \tag{42}$$

A láncszakasz hossza a (16) alapján a (41) egyenlet figyelembevételével

$$l_l = D\sqrt{\frac{d^2}{(1+d)^2\varepsilon_v^2} + \left(\frac{d}{1+d}\right)^2 - \frac{2d}{1+d}} \tag{43}$$

a vetülékszakasz hossza pedig a (17) szerint

$$l_v = D\sqrt{\frac{1}{(1+d)^2\varepsilon_l^2} + \left(\frac{d}{1+d}\right)^2 - 1} \tag{44}$$

összefüggésből számolható. A lánc- és vetülékszakasz négyzetének hosszkülönbsége a (39) és (40) egyenletek alapján

$$l_l^2 - l_v^2 = t_v^2 - t_l^2 + h_v^2 - h_l^2\,, \tag{45}$$

amelyben

$$\nu = (l_l - l_v)\,(l_l + l_v) \tag{46}$$

szorzat a szövetnyitottság mértéke. Ha például $\nu = 0$, a szövet négyzetesen nyitott, mert $l_l = l_l \neq 0$. A (45) egyenletben, az ismeretlenek száma kettőre redukálható: a Peirce-féle hullámegyenlet (3) és a (39), (40) egyenletek figyelembevételével. Ezáltal például a vetülékszakasz hossza a láncsűrűség függvényében explicite adódik.

VII. A beszövődés meghatározása

A szövetek négyzetméter súlyának számításához ismerni kell a lánc- és vetülékbeszövődések mértékét. A beszövődések pontosabb meghatározására HAJÓS I. [18] közelítő összefüggéseket adott. A beszövődések és a fonalkereszteződési szög között ALPÁR B. [5] keresett összefüggéseket vászonkötésű szöveteknél. Nemcsak vászonkötésű egyszerű szövetek beszövődéseinek számításaira a Peirce-féle egyenletek alapján LOVE L. [11] közelítő képleteket közölt. A beszövődések megközelítőbb meghatározására KUTJEPOV O. Sz. [19] adott összefüggéseket.

A beszövődés számítására közölt összefüggéseknek közös főbb hiányosságuk az, hogy a fonalszakaszokat csupán hozzávetőlegesen vették figyelembe a számításokban. A beszövődések egzakt meghatározását éppen a szakaszviszonyszámok fogalmának bevezetése teszi lehetővé. Egzakt meghatározásuk céljából a Peirce-féle (1) egyenletet átalakítjuk. Előbb azonban definíció szerint az 1. ábra alapján kifejezzük a láncbeszövődést:

$$b_l = \left| \frac{\frac{L_l}{D}}{\frac{t_v}{D}} - 1 \right| 100\%, \tag{47}$$

ahol

L_l/D a láncviszonyszám;
t_v/D a vetüléktérköz-viszonyszám.

A két szög összegére vonatkozó trigonometriai összefüggés szerint az (1) egyenletet a következő alakban írhatjuk:

$$C_0 \sin(\Theta_l + \lambda_1) = C_0 \sin \Theta_l \cos \lambda_l + C_0 \cos \Theta_l \sin \lambda_l,$$

ahol $C^0 \geq 0$ és $\lambda_l = 0$

Összevetve ezt (9) egyenlettel, következik, hogy e két egyenlet egymással megegyezik az

$$l_l = C_0 \sin \lambda_l$$

és

$$D = C_0 \cos \lambda_l$$

választás esetében. Ezért

$$t_v = C_0 \sin(\Theta_l + \lambda_l).$$

A $C_0 \geq 0$ meghatározása céljából a két egyenletet négyzetre emelve és összeadva kapjuk

$$C_0^2 = l_l^2 + D^2.$$

Ezt behelyettesítve az előbbi egyenletbe az (1) alattiakkal ekvivalens egyenletre jutunk:

$$t_v = \sqrt{l_l^2 + D^2} \sin(\Theta_l + \lambda_l). \tag{48}$$

Csupán $\lambda_l = 0$ számot kell még meghatározni. Elosztva az l-re felírt egyenletet D egyenletével, azt kapjuk, hogy

$$\lambda_l = \operatorname{arc\,tan} \frac{l_l}{D},$$

ami a láncszakasz mérőszáma. Kifejezve a (48) egyenletből Θ_l értékét

$$\Theta_l = \arcsin \frac{t_v}{\sqrt{l_l^2 + D^2}} - \lambda_l .$$

Ide behelyettesítve (7) alattiakat kapjuk

$$\frac{L_l - l_l}{D} = \arcsin \frac{t_v}{\sqrt{l_l^2 + D^2}} - \lambda_l ,$$

ahonnan a lánchossz-viszonyszám

$$\frac{L_l}{D} = \arcsin \frac{t_v}{\sqrt{l_l^2 + D^2}} - \lambda_l + \frac{l_l}{D} . \tag{49}$$

Ennek figyelembevételével a (47) alapján a láncbeszövődés egzakt értéke:

$$b_l = \left[\frac{\arcsin \dfrac{t_v}{\sqrt{l_l^2 + D^2}} - \lambda_l + \dfrac{l_l}{D}}{\dfrac{t_v}{D}} \right] 100\,\% . \tag{50}$$

A vetülékbeszövődésre, az indexek felcserélésével adódik

$$b_v = \left[\frac{\arcsin \dfrac{t_v}{\sqrt{l_l^2 + D^2}} - \lambda_v + \dfrac{l_v}{D}}{\dfrac{t_l}{D}} - 1 \right] 100\,\% . \tag{51}$$

Ha például a szövet láncban zárt, akkor a láncbeszövődés (50) alattiak szerint

$$b_l = \left[\frac{\arcsin \dfrac{t_v}{D}}{\dfrac{t_v}{D}} - 1 \right] 100\,\% , \tag{52}$$

mert $l_l = 0$. A vetülékbeszövődés megegyezik az (51) alattiakkal ($l_v = 0$), ahol $\lambda_v = \operatorname{Arctan} (l_v/D)$.

VIII. Megadott négyzetméter súlyra vászonkötésű szövetek tervezése

A gyakorlatban célszerű előírt négyzetméter súlyra szövetet tervezni. A szövet óhajtott négyzetméter súlyából kiindulva bizonyos szövetjellemzők (pl. szövet-típustényező, szövetkitöltési tényező) ismeretében a vászonkötés

alapegyenleteinek alkalmazásával a szövet szerkezeti paramétereit (pl. fonalfinomsági számok, fonalsűrűségek) meghatározhatjuk.

A szövet négyzetméter súlyát a következő összefüggés fejezi ki:

$$G = \frac{S_l S_v}{10}\left[\frac{L_l}{N_l} + \frac{L_v}{N_v}\right][g/m^2]. \tag{54}$$

A láncsűrűség:

$$S_l = \frac{G}{\frac{S_v}{10}\left[\frac{L_l}{N_l} + \frac{L_v}{N_v}\right]}. \tag{55}$$

Ebben az egyenletben az ismeretlenek száma kettővel csökken, ha explicite kifejezzük az

$$S_v = S_v(L_l) \tag{56}$$

és

$$L_v = L_v(L_l) \tag{57}$$

függvénykapcsolatot.

Az (56) alatti explicit függvénykapcsolatra (48) és (7) alapján adódik:

$$S_v = \frac{100}{D\sqrt{l_1 + \frac{l_l^2}{D^2}\sin\left(\frac{L_l - l_l}{D} + \lambda_l\right)}} = \frac{100}{D\sqrt{1 + \frac{l_l^2}{D^2} - \left(\frac{h_v}{D}\right)^2}}, \tag{58}$$

ahol

$$\frac{l_l}{D} = \sqrt{\frac{d^2}{(l+d)^2\,\varepsilon_v^2} + \frac{h_l^2}{D^2} - \frac{2\,h_l}{D}} \tag{59}$$

és

$$\frac{h_l}{D} = \frac{V_l}{D} - \frac{1}{1+d} = 1 - \frac{h_v}{D}. \tag{60}$$

Az (57) alatti függvénykapcsolat meghatározása céljából a VII. fejezetben alkalmazott gondolatmenet megismétlésével átalakítva a (9) egyenletet, kapjuk

$$\frac{L_v}{D} = \frac{l_v}{D} + \arccos\frac{1 - \cos\frac{L_l}{D}}{\sqrt{1 + \frac{l_v^2}{D^2}}} - \lambda_v, \tag{61}$$

ahol

$$\frac{L_l}{D} = \arcsin\frac{\sqrt{1 + \frac{l_l^2}{D^2} - \frac{h_v^2}{D^2}}}{\sqrt{1 + \frac{l_l^2}{D^2}}} - \lambda_l + \frac{l_l}{D}, \tag{62}$$

amely (49) alapján (14) figyelembevételével adódik; továbbá:

$$\frac{l_v}{D} = \sqrt{\frac{1}{(l+d)^2 \varepsilon^2 \varepsilon_v^2} + \frac{h_l^2}{D^2} - 1}\,. \tag{63}$$

Eme egyenletek alapján a szövet óhajtott négyzetméter súlyából kiindulva különböző szerkezetű vászonkötésű szövetek tervezhetők.

Számpélda. Zárt ruhaszövet készítendő vászonkötésben 200 g/m² súlyban úgy, hogy a szövet felületén a láncfonalak domináljanak, $N_l = N_v = 60/2$ pamutcérnából. Mennyi a lánc- és vetüléksűrűség, a lánc- és vetülékbeszövődés és a szövet vastagsága?

A lánc- és vetülékfonal átmérője (V. ö. [16], [17]).

$$d_l = d_v = \frac{1{,}25}{\sqrt{30}} = 0{,}228 \text{ mm}\,.$$

A vastagsági paraméter

$$D = d_l + d_v = 0{,}228 + 0{,}228 = 0{,}456 \text{ mm}\,.$$

Előírt, hogy a láncfonalak domináljanak a szövet felületén. Ezért $V_l > V_v$ és így a 2. ábra alapján legyen $h_v/D = 0{,}397$. Így (62) szerint

$$\frac{L_l}{D} = \arcsin \sqrt{1 - 0{,}397^2} = \frac{7}{9} \cdot \frac{\pi}{2}\,.$$

A *vetüléksűrűség* (58) szerint

$$S_v = \frac{100}{0{,}546 \cdot \sin \frac{7}{9} \frac{\pi}{2}} = 235{,}23/10 \text{ cm} \approx 235/10;$$

a *láncsűrűség* pedig (55) szerint

$$S_l = \frac{200}{23{,}52 \left[\frac{\frac{7}{9}\frac{\pi}{2} \cdot 0{,}456}{30} + \frac{0{,}456 \arccos\left(1 - \cos \frac{7}{9}\frac{\pi}{2}\right)}{30} \right]} = 275/10 \text{ cm}.$$

A *láncszövődés*

$$b_l = \frac{L_l - t_v}{t_v} 100 = \frac{0{,}557 - 0{,}426}{0{,}426} 100 = 3{,}08\ \%;$$

a *vetülékbeszövődés* pedig

$$b_v = \frac{D \arccos\left(1 - \cos \frac{L_l}{D}\right) - t_l}{t_l} 100 = \frac{0{,}388 - 0{,}364}{0{,}364} 100 = 6{,}6\ \%.$$

A láncfonal hajlatmagassága

$$h_l = D - h_v = 0{,}456 - 0{,}181 = 0{,}275;$$

a *vetülékfonal hajlatmagassága* pedig

$$h_v = D - h_l = 0{,}456 = 0{,}181 \text{ mm};$$

A szövet lánc irányú vastagsága

$$V_l = h_l + d_l = 0{,}273 + 0{,}288 = 0{,}501 \text{ mm};$$

a szövet vetülékirányú vastagsága pedig

$$V_v = h_v + d_v = 0{,}181 + 0{,}288 = 0{,}469 \text{ mm}.$$

IX. A hajlatmagasság meghatározása a beszövődés függvényében

A Peirce-féle összefüggés, amelyet a (6) egyenlet fejez ki, ha a h_l láchajlatmagasság, a t_v vetülékfonal távolság és a b_v láncbeszövődés között tájékoztató jellegű. Mert, hiszen a (6) csak akkor áll fenn, ha Θ_1 elég kicsi, amikor is $t_v = L_l$. Éppen ezért szükséges az egzakt kapcsolatokat meghatározni a h_l, t_v és b_v értékek között. Ezt egy következő új egyenlet fejezi ki.

A vetülékbeszövődés összefüggéséből kifejezve t_l-et azt kapjuk, hogy

$$t_l = \frac{L_v}{1 + b_v}. \tag{64}$$

A (49) egyenlet alapján az indexek felcserélésével figyelembe véve, hogy $l_l = 0$, írhatjuk

$$\frac{L_v}{D} = \arcsin \frac{t_v}{D},$$

és így a (64) egyenletből következik a (30) alattiak figyelembevételével, hogy

$$h_l = \sqrt{D^2 - \left(\frac{D \cdot \arcsin t_l/D}{1 + b_v}\right)^2}, \tag{65}$$

amely egyenlet egzakt kapcsolatot ad a h_l, b_v és t_l értékek között a Peirce-féle közelítő (6) összefüggéssel szemben.

Hasonlóképpen adódik a kapcsolat a h_l, t_v és b_v értékek között nem zárt szerkezeti felépítésű* vászonkötésű szövetfajtákra is.

IRODALOM

1. Peirce, F. T.: Geometry of cloth structure. *Journal of the Textile Institute* (1937), 36—106.
2. Stscherbina, N.: A szövet szerkezeti fázisai. *Faserforschung und Textiltechnik* (1956), 1. sz.
3. *Смирнов, В. И.:* Об аналитической определении высот волн основных и уточных нитей в тканях положного переплетения. *Текстильная промышленность 12* (1963).

* Ezekben az esetekben azonban még az itt közölteken kívül egyéb matematikai meggondolások is szükségesek, amelyek a szerző „Szövetgeometria" (Budapest 1963) c. műszaki doktori értekezésében találhatók.

4. *Стряков, Н.:* О книги В. И. Смирнова «Теоретические исследования строения ткани полотняного переплетения» *Текстильная промышленность* (1963), № 4.
5. ALPÁR BÉLA: Pamutszövőgépek egységes technológiai beállítása. Textilipari Kiskönyvtár 20, 1964.
6. DICKSON, J. B.: Practical Loom Experience on Weavblity Limits. *Textile Research Journa* (1954), 1083—1093.
7. KEMP, A.: *Journal of the Textile Institute* (1959); 49, T44.
8. HAMILTON, I. B.: General System of Woven—Fabric Geometry. *Journal of the Textile Institute* (1964), 55. T. 66. No 1.
9. WIECHMANN, W.: Von der Fadendichte zu Gewebedichte. *Melliand Textilberichte* (1950).
10. MÉSZÁROS LAJOS: A szövetszerkesztés alapelveinek fejlődése (Diplomaterv). Budapest 1958; 15, 36.
11. LOVE, L.: Graphical Relationships in Cloth Geometry for Plain, Twill, and Sateen Weaves. *Textile Research J.* (1954), 1073—1083.
12. HAJÓS ISTVÁN: Szövetek szerkesztése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1961; 156—161.
13. ZILAHI MÁRTON: Mészáros L.: „Új módszer a szövetgeometriában" c. cikkének bírálata. Budapest 1966, 2275. szám.
14. SZMIRNOV, V. I.: Vászonszövetek sűrűsége, kiszámításának elmélete és módszere. *Magyar Textiltechnika* (1951).
15. MURPHY, J.: A szövés művészete, 1817.
16. VÉKÁSSY ALAJOS: Vetülékrendszerű hurkolt alapkelme mechanikai tulajdonságainak vizsgálata a tömöttségi tényező függvényében (Kandidátusi disszertáció 1962); 78—95.
17. AFONCSIKOV: Az *Ivanovái Textilkutató Intézet közleményei*, 1942.
18. HAJÓS ISTVÁN: A szövetszerkesztés újabb módszere és alkalmazása. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest 1962.
19. KUTJEPOV, O. Sz.: A szövetek tervezésének módszertana. *Text. Prom.* (1950), No. 2.

LEVEGŐZTETŐ MEDENCÉKBEN VÉGBEMENŐ OXIGÉNFELVÉTELI FOLYAMATOK MODELLEZÉSE

HORVÁTH IMRE
VÍZGAZDÁLKODÁSI TUDOMÁNYOS KUTATÓ INTÉZET, BUDAPEST

[Beérkezett 1965. november 30-án]

A szennyvíztisztító telepek levegőztető medencéiben végbemenő oxigénfelvételi folyamatok kísérleti vizsgálata sok össze nem egyeztethető, sőt egymásnak merőben ellentmondó eredményt mutat, ami feltehetőleg a különböző kísérletek eltérő feltételeire vezethető vissza. Az eltérő feltételek között különösen jelentős szerepet játszik a vizsgálati berendezések különböző mérete, ami a laboratóriumi mérettől a félüzemi, üzemi méretig változhat. A dolgozat a hasonlóságelmélet alapján vizsgálja a kísérleti modellek méretarányának különbözőségéből eredő kérdéseket, a különböző szennyvíztechnológiai folyamatok (hidraulika, oxigénfelvételi stb. jelenségek) modellezhetőségét, s részletesen elemzi az INKA és a KESSENER rendszerű levegőztető medencék modellezési problémáit.

Jelölések és dimenziók

h_r a légbefúvórács bemerülési mélysége [m];
d_f a légbefúvórácson levő furatok átmérője [m];
h_k a kefe bemerülési mélysége [m];
d_k a kefe átmérője [m];
V a levegőztető medence hasznos térfogata [m³];
v_B a levegőbuborékok felszállósebessége áramló közegben [m/óra];
w a levegőbuborékok felszállósebessége nyugvó közegben [m/óra];
v_k a légbefúvórács síkjában mérhető áramlási középsebesség függőleges irányú komponense [m/óra];
n a kefe fordulatszáma [fordulat/óra];
Q_l a befúvott levegőhozam [m³/óra];
G egységnyi hasznos medencetérfogatra vonatkozó levegőhozam [m³/m³óra];
ϱ az áramló közeg sűrűsége [kg sec²/m⁴];
ν az áramló közeg kinematikai viszkozitása [m²/perc];
D az áramló közeg molekuláris diffúziós állandója [m²/perc];
P a keverőelem (pl. a kefe) teljesítményszükséglete [m kg/sec];
K_La bővített anyagátadási tényező (ECKENFELDER nyomán) [óra^{-1}] *(megjegyzés:* az ábrákon feltüntetett K_La értékeket minden esetben 20°C-ra vonatkoztattuk. A K_La értékeket a szakirodalomban elterjedt definíció szerint számítható mennyiségekhez viszonyítva 2,303-mal osztottuk, így azok redukált értékeknek foghatók fel);
T az áramló közeg hőmérséklete [°C];
λ a geometriai méretarány fordított (reciprok) értéke, ún. átszámítási tényező;
a, b, c, d kísérleti állandók, kitevők;
f, f_1, f_2, f_3 függvény-operátorok;
dimenzió nélküli számok:

$K_3 = K_La \cdot d_f/v_B$, $K_4 = G \cdot d_f/v_B$, $K_6 = K_La/n$, $L_1 = h_r/d_f$, $L_2 = h_k/d_k$;

$E = \dfrac{P}{d^5 n^3 \varrho}$ (teljesítményszám);

$\mathrm{Re} = \dfrac{v_B \cdot d_f}{\nu}$ (a buborékmozgásra vonatkoztatott Reynolds-féle szám);

$\mathrm{Re}_n = \dfrac{n \cdot d_k^2}{\nu}$ (a fordulatszámra vonatkoztatott Reynolds-féle szám);

$\mathrm{Pr} = \dfrac{\nu}{D}$ (Prandtl-féle szám).

Azok a λ jelek, amelyek indexekkel vannak összekapcsolva, annak a fizikai mennyiségnek az átszámítási tényezőit jelölik, amelyekre az indexek vonatkoznak. Egy vesszővel jelöljük a valóságos méretben, két vesszővel pedig a modellben lejátszódó folyamat jellemzőit.

I. Bevezetés, a probléma felvetése

A szennyvíztisztító telepek levegőztető medencéiben végbemenő oxigénfelvételi folyamatok a matematikai és kísérleti úton történő vizsgálatok eredményeképpen az utóbbi években egyre világosabban állnak előttünk. A kérdés elvi és gyakorlati jelentősége nyilvánvaló, hiszen a levegőztetési folyamat műszakilag célszerű és gazdaságos megoldása a szennyvíztisztításnál alapvető fontosságú.

A vonatkozó szakirodalom részletes tanulmányozása során azonban megállapítható, hogy sok az össze nem egyeztethető, sőt egymásnak ellentmondó kísérleti eredmény. Ennek oka — a szubjektív jellegű hibáktól eltekintve — valószínűleg a különböző kísérletek eltérő feltételeiben keresendő. Az eltérő feltételek között különösen jelentős szerepet játszhat a vizsgálati berendezések különböző mérete, amely a laboratóriumi mérettől a félüzemi, üzemi méretig változhatik.

Mint ismeretes, a különböző méretű rendszerekben lejátszódó folyamatok kapcsolatainak meghatározásával a *hasonlósági elmélet* foglalkozik. Ebből következik, hogy eltérő méretekben végbemenő jelenségek vizsgálatakor az egyik rendszerről (pl. a modellről) a másik rendszerre (pl. az üzemi méretre) történő áttérés egzakt módon hasonlósági megfontolások alapján lehetséges.

A kérdés fontosságát figyelembe véve a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetben 1961-ben megkezdtük a különböző szennyvíztechnológiai folyamatok (hidraulikai, oxigénfelvételi stb. jelenségek) modellezhetőségének a vizsgálatát. Ezzel párhuzamosan az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Vízgazdálkodási Tanszékének hidraulikai laboratóriumában 1963-tól kezdődően „Inka"-rendszerű légbefúvásos levegőztető medencében lejátszódó hidraulikai és oxigénfelvételi jelenségek mechanizmusát és a modellezési feltételeket vizsgáljuk kísérleti úton.

Jelen tanulmányunk célja az, hogy elméleti és kísérleti alapon vizsgálat tárgyává tegyük a légbefúvásos és a forgókefés levegőztető medencékben végbemenő oxigénfelvételi folyamat modellezésének lehetőségét és meghatározzuk a hasonlóság feltételi egyenleteit.

II. Hasonlóság-elméleti alaptételek

Mielőtt az elvégzett kísérletek elemzésébe kezdenénk, röviden foglalkozunk a hasonlóság-elmélet főtételeivel és alkalmazásának kérdésével.

A klasszikus hasonlóság-elmélet alapját három főtétel: a Newton-, a Buckingham—Federman- és a Kirpicsov—Guhman-féle tételek képezik. E három főtétel teljes egységet alkot és minden hasonlósági probléma megoldásának alapját képezi [1—3].

Mint ismeretes, a Kirpicsov—Guhman-féle tétel a hasonlóság szükséges és elegendő feltételeit határozza meg. Eszerint: két tetszőleges természeti folyamat hasonlóságának szükséges és elegendő feltétele az, hogy a rendszer jellemző mennyiségeiből képezhető dimenzió nélküli mennyiségek — beleszámítva a kezdeti és peremfeltételekből adódó dimenzió nélküli számokat is — a különböző méretekben lejátszódó hasonló folyamatok esetén egyenlők legyenek.

Az is közismert, hogy e tétel betartásának komoly nehézségei vannak. Ez különösen abban nyilvánul meg, hogy a legtöbb esetben egyidejűleg nem valósítható meg több dimenzió nélküli szám azonossága az eltérő méretű rendszerek esetében. Például tekintsünk egy viszonylag egyszerű hidraulikai folyamatot, amelyet csupán a Froude- és a Reynolds-féle számok jellemeznek. A különböző méretű rendszerekben azonos áramló közeg alkalmazása esetén a Froude-féle törvény szerint $\lambda_v = \lambda^{1/2}$, a Reynolds-féle törvény szerint pedig $\lambda_v = \lambda^{-1}$ transzformációs paraméterek adódnak a sebességre vonatkozóan, ami egymásnak nyilvánvalóan ellentmondó. A sebességen kívül minden egyéb fizikai mennyiségre is eltérő transzformációs paraméterekhez jutunk, a Froude-, ill. a Reynolds-féle törvény alapján.

A példából látható, hogy különböző méretű rendszerekben nem valósítható meg egyidejűleg mindkét dimenzió nélküli szám azonossága. Következésképpen nem tudjuk betartani a harmadik főtétel előírásait, azaz nem tudjuk megvalósítani a teljes hasonlóságot.

Általánosan ismertek olyan módszerek, amelyeknek alkalmazásával a fenti nehézség adott esetben többé-kevésbé áthidalható — mint például a különböző minőségű áramló közegek alkalmazása a modellben, illetve a főkivitelben —, e módszerek azonban véleményünk szerint nem általánosíthatók. Éppen ezért alakult ki az ún. közelítő modellezés módszere, aminek a lényege az, hogy a kérdéses jelenség mechanizmusának előzetes elemzésével meghatározzuk azokat a dimenzió nélküli csoportokat, amelyek a folyamatot alapvetően jellemzik és egyúttal ellentmondást nem eredményeznek. Ezek figyelembevételével határozzuk meg a transzformációs paramétereket.

A közelítő modellezésnek e fenti módszerét általánosan alkalmazzák. Ennek ellenére az eljárás hiányossága az, hogy a kérdéses jelenséget jellemző dimenzió nélküli számokból csupán néhányat, esetleg csupán egyet vesz figyelembe. Adott esetben a nehézségek akkor merülnek fel, amikor több alapvetően jellemző dimenzió nélküli számot kellene figyelembe venni a hasonlóság megvalósítása érdekében, de az nem lehetséges (mint a fenti példa esetén). Különösen összetettebb feladatoknál jelentkeznek ilyen nehézségek (pl. hid-

raulikai folyamatok mellett anyagátadási, hőátadási, kémiai stb. jelenségek is lejátszódnak).

E probléma általánosabb megoldására újszerű eljárást dolgoztunk ki, amelyet a szakirodalomban már ismertettünk [4—6]. Megjegyezzük, hogy a módszer ismert és bizonyított modellelméleti tételeken nyugszik. Újszerűség a koncepció összességében, illetve tárgyalásmódjában van. A módszer alaptételeit az alábbiakban röviden összefoglaljuk, mivel e tételek képezik az oxigénfelvétellel kapcsolatos modellvizsgálataink hasonlóság-elméleti alapjait.

a) Valamely tetszőleges természeti folyamat modellvizsgálata esetén kiindulási alapul a jelenséget egyértelműen leíró, minimális számú, dimenzióval bíró változót tartalmazó egyenletet tekintjük, a kezdeti és kerületi feltételek figyelembevételével. A jelenséget egyértelműen leíró, minimális számú, dimenzióval bíró változót tartalmazó kapcsolatot a továbbiakban *alapösszefüggés*nek, az egyenletet pedig *alapegyenlet*nek nevezzük.

b) Az alapösszefüggés, illetve alapegyenlet minden esetben dimenzió nélküli alakra hozható. E dimenzió nélküli függvény változói dimenziómentes számok. A jelenséget egyértelműen leíró, minimális számú dimenziómentes változót tartalmazó összefüggést *invariáns függvény*nek nevezzük. Az invariáns függvényt tekintjük a hasonlóság feltételi egyenletének, az invariancia feltételét biztosító kapcsolatokkal együtt.

c) Nem írjuk elő azt, hogy az invariáns függvényt alkotó egyes dimenzió nélküli számok értékei kivétel nélkül azonosak legyenek a különböző méretű rendszerekben, hiszen ezt általában nem is tudjuk megvalósítani. (Tudniillik éppen ez jelenti a klasszikus hasonlóság-elmélet alkalmazásának a fentiekben már említett nehézségeit.) Csupán azt írjuk elő, hogy az invariáns függvény legyen azonos a különböző méretű rendszerek esetében.

d) Valamely természeti folyamatot jellemző dimenzió nélküli számok rendszere általánosságban véges szabad ABEL-féle csoportot alkot. Az invariáns függvény csoportelméleti szempontból a bázisrendszer elemei közötti függvénykapcsolattal egyenértékű. Ily módon a hasonló rendszerek között fennálló kapcsolatot a bázis elemei közti összefüggés jelenti.

e) Olyankor, midőn hasonlósági transzformációval az invariáns függvény invarianciája nem biztosítható, olyan transzformációt kell alkalmazni, amellyel ez megvalósítható. Ennek matematikai alapját az általános *transzformáció-elmélet* alkotja.

III. Levegőztető medencék hidraulikai modellvizsgálata

Minthogy a levegőztető medencékben lejátszódó oxigénfelvételi jelenségek az áramlási folyamatok alapvető függvényei, kísérleteink első fázisaként a levegőztető műtárgyak hidraulikai viszonyait elemeztük. Modellkísérleteink

alapján megvizsgáltuk a forgókefés és a légbefúvásos levegőztető medencék térkialakítási kérdéseit, a levegőztető szerkezetek (rotorok, légbefúvórácsok), terelőelemek elhelyezésének a hatását stb. [7, 8]. A fenti problémák azonban nem képezik tanulmányunk tárgyát. Ezért az áramlástani kísérleteinkből csupán a hidraulikai modellezhetőség kérdésével kapcsolatos vizsgálatok eredményeit ismertetjük összefoglalóan, mivel a hidraulikai folyamatok az oxigénfelvételi jelenségeket alapvetően befolyásolják.

A kísérleteket általában 1 : 2—1 : 10 méretarányú üvegfalú modelleken végeztük (a magyarországi viszonylatban szokásos üzemi méretekhez viszonyítva). Az áramképek rögzítését a vizuális megfigyelésen kívül fotografikus úton végeztük. Az áramlási térbe helyezett vízfajsúlyú úszók (pl. benzol-széntetraklorid-olajfesték megfelelő arányú oldatából képződő gömbúszók) elmozdulásai megrajzolták az áramlási vonalakat.

Az áramlási viszonyok vizsgálatakor feltételeztük, hogy a Froude-féle törvény érvényes. Mind forgókefés, mind légbefúvásos levegőztető medencékben kísérleti úton megvizsgáltuk a modelltörvény érvényességét, pontosságát. Ennek érdekében két különböző méretarányban megépített geometriailag hasonló modell több, egymásnak megfelelő pontjában mért sebességek alapján meghatároztuk a sebességek arányát λ_v. Minthogy a megfelelő sebességek aránya felírható a méretarány valamilyen hatványaként, a hatványkitevő kiszámítása megadja a kérdéses modelltörvényt.

Forgókefés levegőztető medencék esetében a kérdéses hatványkitevő negyven mérés átlagából számolva 0,475-re adódott [7]. Tehát a Froude-féle törvényt jó közelítéssel valóban érvényesnek lehet tekinteni, mivel eszerint $\lambda_v = \lambda^{0,5}$.

„Inka" rendszerű légbefúvásos levegőztető medencénél a hatványkitevő 0,43-ra adódott [8].

A 0,5-ös értéktől való eltérés mindkét esetben valószínűleg azzal magyarázható, hogy a jelenséget nemcsak a tehetetlenségi és nehézségi erők jellemzik (amelyeknek a hatását a Froude-féle törvénnyel figyelembe vettük), hanem a súrlódási és a kapilláris erők hatása is érvényesül.

Végeredményben megállapítható, hogy a Froude-féle törvény érvényessége közelítőleg ezúttal is fennáll. Hangsúlyozzuk azonban, hogy a buborékok felszállósebessége és ennek következtében a befúvott levegőhozam sem számítható a Froude-féle törvény alapján. Igazolható, hogy a befúvott levegőhozamok transzformációs paramétere a

$$\lambda_Q = \lambda^2 \frac{w + v_k'' \lambda^{1/2}}{w + v_k''} = \lambda^2 \frac{w + v_k'}{w + v_k' \cdot \lambda^{-1/2}}$$

kapcsolat alapján számítható, ami a Froude-féle törvényből adódó összefüggéshez viszonyítva a szükséges korrekciót tartalmazza [8].

A fentiekben röviden összefoglalt hidraulikai vizsgálatokon túlmenően részletes kísérletsorozatokat végeztünk a levegőztető műtárgyakkal kapcsolatban az ún. *átfolyási görbe* elméletén alapuló módszer alkalmazásával. A módszer lényege abban áll, hogy a vizsgálandó műtárgyba befolyó vízhez meghatározott koncentrációjú jelzőanyagot (pl. permanganátot, nátriumkloridot, vagy radioaktív anyagot) adagolunk és az elfolyásnál mérjük a jelzőanyag töménységének időbeli változását meghatározott kísérleti körülmények között. A kapott átfolyási görbe jellemző a vizsgált műtárgyra és a vízrészecskék műtárgyban való tartózkodásának az eloszlását írja le. Az eredmények grafikus és numerikus kiértékelésével a műtárgy hidraulikai hatásfoka, a holtterek mérete stb. megállapítható.

IV. Az oxigénfelvételi folyamat modellezése

A szennyvíztisztítási szakirodalom tanulmányozása során megállapítható, hogy a levegőztető műtárgyakban végbemenő oxigénfelvételi folyamatok modellezési kérdéseit — tudomásunk szerint — behatóan nem vizsgálták. Ugyanakkor az is közismert, hogy a kutatók különböző, sőt egymástól nagyon is eltérő méretű berendezéseket alkalmaznak kísérleteikben és a különböző méretű rendszerekből kapott eredményeket nem egyszer — korrekció nélkül — egyenértékűnek tekintik. Figyelembe véve azt a tényt, hogy a különböző méretű rendszerekben általánosságban nem azonosak a lejátszódó folyamatok, a fenti megállapítások ellentmondók.

Felvetődhetik ugyan az a gondolat, hogy például egy laboratóriumi méretű élesztett iszapos levegőztető medencében levő egységnyi térfogatú folyadéktérben, ha ugyanazokat a fizikai, kémiai és biológiai jellemzőket valósítjuk meg, mint valamely (pl. geometriailag hasonló) üzemi méretű berendezésben (azaz a különböző méretű rendszerek egységnyi térfogataiban azonos viszonyok érvényesülnek), akkor semminemű átszámítás nem indokolt. Az átszámítás szükségtelensége az említett esetben azonban csak a biokémiai folyamat lefolyására vonatkozik. Más szóval ez esetben „triviális modellezés" esetével állunk szemben, mikor is a transzformációs paraméterek egységnyi értékűek. Ha azonban úgy tesszük fel a kérdést, hogy mekkora levegőhozam vagy kefebemerülés alkalmazandó valamely (esetleg geometriailag hasonló) laboratóriumi méretű levegőztető medencén annak érdekében, hogy a neki megfelelő üzemi méretű berendezésben mért (például) K_La-val azonos értéket kapjunk, már belátható, hogy a levegőhozamra, ill. a kefebemerülésre vonatkozó transzformációs paraméter nem lesz egységnyi, és megfelelő átszámítás szükséges. Tehát látható, hogy a „triviális modellezés" nem minden esetben vezet célhoz.

A szennyvíztisztítástól viszonylag nem messze eső szakterületen, mint pl. a fermentációs problémák kísérleti vizsgálatakor, a különböző abszorpciós vegyipari műveletekben stb. — ahol a lejátszódó anyagátadási folyamatok analógnak tekinthetők a levegőztető medencékben végbemenő folyamatokkal — a modellezés méretnövelési módszereit már több évtizede alkalmazzák, különösen keverőrendszerű reaktorok esetében. A szennyvíztisztító telepek levegőztető medencéi is keverőrendszernek foghatók fel, amelyekben abszorpciós folyamatok is lejátszódnak. Ez esetben konkréten az oxigén abszorpciót emeljük ki.

A különböző keverőkben lejátszódó hő- és anyagátadási problémák modellezése széles körű irodalommal rendelkezik. Anélkül, hogy a vonatkozó szakirodalmat részleteiben felsorolnánk, hivatkozunk JOHNSTONE és THRING összefoglaló könyvére, amely a különböző abszorpciós folyamatok, a keverőrendszerek méretnövelési alapelveit ismerteti [2]. MILLER tanulmányában szintén összefoglaló jelleggel tárgyalja a kérdést [9]. SIMCAR-rendszerű levegőztető berendezés kísérleti vizsgálata során ROBERTSON érinti a méretnövelés problémáját, azonban ilyen irányú részletes vizsgálatokat nem ismertet [10].

A különböző keverőkben lejátszódó *abszorpciós folyamatok méretnövelési módszerei* az alábbiakban foglalhatók össze [2]:

a) A modellezés alapja lehet az ún. teljesítményszám:

$$E = \frac{P}{\varrho n^3 d^5},$$

ami dimenzió nélküli mennyiség. Eszerint $\lambda_E = 1$ esetén

$$\lambda_p = \lambda_\varrho \cdot \lambda_n^3 \cdot \lambda_d^5.$$

b) A méretnövelés kiindulási alapja lehet a térfogategységre eső energiafelhasználás ekvivalenciájának a betartása.

c) Geometriailag hasonló mechanikus keverőberendezések kerületi sebességének azonosítása a különböző méretű rendszereknél.

d) A Rushton-féle extrapolációs módszer.

Véleményünk szerint a fenti eljárásokkal kiragadjuk a kérdéses jelenség valamely speciális (geometriai, kinematikai vagy energetikai stb.) oldalát és ezt tekintjük a méretnövelés feltételét meghatározó kapcsolatnak. Belátható, hogy e módszerek szoros kapcsolatban vannak a klasszikus hasonlóság-elmélet, az egyes modelltörvények alkalmazásának elveivel, mivel a folyamat előzetes kvalitatív elemzése alapján kiválasztják a döntően jellemző dimenzió nélküli számot (például valamely hidraulikai folyamat vizsgálatakor a Froude- vagy a Reynolds-féle számot stb.), és azt tekintik a méretnövelés feltételi egyenletének. Ugyanakkor a többi jellemző dimenzió nélküli számot figyelmen kívül hagyják.

Tehát ezúttal is ugyanahhoz a hasonlóság-elméleti problémához jutottunk, amelyet tanulmányunk II. fejezetében általánosságban kifejtettünk. Az ott elmondottak alapján kézenfekvő, hogy az invariáns függvény elvén alapuló módszert alkalmazzuk a keverőkben lejátszódó abszorpciós folyamatok modellezésekor is. Eszerint nem állítjuk azt, hogy valamely dimenzió nélküli szám érvényes a vizsgálandó folyamat modellezésekor, hanem a fentiekben definiált invariáns függvényt tekintjük a méretnövelés feltételi egyenletének a függvény érvényességi tartományán belül.

A továbbiakban ismertetjük a légbefúvásos („Inka"-rendszerű) és a forgókefés levegőztető medencékben végbemenő oxigénfelvételi folyamatok modellezésével kapcsolatos kísérleteinket és azok eredményeit.

1. Inka-rendszerű berendezés vizsgálata

a) *Az oxigénfelvételt befolyásoló változók Inka-rendszerű légbefúvásos medencéknél.* A szennyvíztechnológiai folyamatok vizsgálatakor — mint más természeti jelenség kísérleti elemzésekor is — rendkívül fontos a jellemző változók helyes meghatározása. Ettől függ a kísérleti eredmények kiértékeléséből kapott matematikai kapcsolatok helyessége, illetőleg annak más, esetleg hasonló rendszerekben lejátszódó folyamatokkal történő általánosíthatósága.

Légbefúvásos levegőztető medencék oxigénfelvételi folyamatát lényegében az alábbi változók befolyásolják: a medence főbb méretei, a légbefúvás mélysége, a légbefúvó berendezésen levő furatok mérete és elhelyezése, a buborékméret, a befúvott levegőhozam, a buborékok felszálló sebessége, az áramló közeg anyagi jellemzői; a kinematikai viszkozitás és a diffúziós állandó.

Mivel a célunk az, hogy a vizsgálati berendezéshez hasonló rendszerekre általánosítsuk a kapott eredményeket, elegendő, ha a műtárgy egy jellemző hosszát vesszük számításba. E jellemző hosszméretnek a h_r rácsbemerülési mélység vehető fel, mivel ez az egyik, a $K_L a$ értékét jelentősen befolyásoló változó. A buborékméret — közvetve — a diffúziós felület révén szintén lényeges paraméter, de meghatározása (még az átlagos buborékátmérő feltétele is) nehézkes. A buborékméretet a furatméret és a befúvott levegőhozamok determinálják. ECKENFELDER szerint alacsony levegőhozam mellett a buborékok térfogata egyenesen arányos a furatátmérővel és a felületi feszültséggel, az áramló közeg sűrűségével pedig fordítva arányos. Adott légbefúvó rendszer esetén a buborékok átlagos átmérője a befúvó levegőhozam exponenciális függvénye [11]. A fentiek alapján elhanyagolhatónak tartjuk a buborékméret közvetlenül történő számításba vételét. Ily módon a légbefúvásos levegőztető medencékben lejátszódó oxigénfelvételi folyamatot befolyásoló változók kapcsolatát általános alakban — csapvízre vonatkoztatva — az alábbiak szerint írhatjuk fel:

$$K_L a = f_1(h_r, d_f, G, v_B, \nu, D) \tag{1}$$

(a Q_l levegőhozamot a szennyvíztechnológiában 1 m³ medencetérfogatra szokás vonatkoztatni: $G = Q_l/V$).

A dimenzióanalízis tételeinek alkalmazásával megállapítható, hogy a fenti változókkal képezett dimenziómátrix rendszáma 2, így a dimenziós változókról a dimenziómentes változókra történő áttéréssel a változók száma kettővel csökken [1]. Ez a megállapítás a következőképpen bizonyítható:

A h_r, d_f, v_B, G, $K_L a$, ν, és a D változók dimenziómátrixa a következőképpen írható fel a tömeg (M), hosszúság (L) és az idő (T) alapmérték-rendszerben:

	h_r	d_f	v_B	G	$K_L a$	ν	D
M	0	0	0	0	0	0	0
L	1	1	1	0	0	2	2
T	0	0	−1	−1	−1	−1	−1

Mivel e mátrix tartalmaz másodrendű nem-zérus determinánst, úgy, hogy az összes 2-nél magasabbrendű determináns értéke nulla, a mátrix rendszáma 2. A mátrix által meghatározott homogén lineáris egyenletrendszer megoldásával a következő eredménymátrix kapható:

	h_r	d_f	v_B	G	$K_L a$	ν	D
K_3	0	1	−1	0	1	0	0
L_1	1	−1	0	0	0	0	0
K_4	0	1	−1	1	0	0	0
Re	0	1	1	0	0	−1	0
Pr	0	0	0	0	0	1	−1

Csoportelméleti szempontból a $K_L a$, h_r, d_f, G, v_B, ν és a D változók a csoport elemei, bázisrendszernek pedig a d_f és a v_B változók választhatók. Megemlítjük, hogy ezzel teljesen egyenértékű más bázisrendszer is kiválasztható lenne, aminek a matematikai bizonyítása az, hogy egyenértékű bázisrendszerekkel olyan determinánsok képezhetők, amelyeknek számérték ± 1. A d_r és v_B rendszert azért választottuk alapváltozókként, mivel így egyrészt a kísérleti munka lényegesen egyszerűsödik, másrészt ily módon közismert dimenzió nélküli számokat kapunk. Ez az alábbi meggondolások alapján igazolható.

Ha egy dimenzió nélküli függvénykapcsolatot meg akarunk határozni, akkor az azt alkotó dimenzió nélküli számokat a kísérlet során változtatni kell bizonyos intervallumban. A dimenzió nélküli számok változtatása az azokat alkotó *bármelyik* dimenziós változó változtatásával lehetséges. Azt a változót célszerű variálni, amelynek a mérése, változtatása a kísérlet során techni-

kailag a legegyszerűbb. Ezzel szemben azok a változók, amelyek a kísérlet során könnyen állandó értéken tarthatók, a dimenzió nélküli számban állandók lehetnek. Ennek ellenére — mint már említettük — az egyes dimenzió nélküli számok értéke változtatható. Ha esetünkben a d_f és v_B változókat tekintjük a csoport bázisrendszerének (amelyek állandó értéken tarthatók), akkor az empirikus függvénykapcsolat grafikus úton történő meghatározása — amint a későbbiekben látható — lényegesen leegyszerűsödik.

E változókból dimenzióanalízissel az alábbi dimenziómentes számok, illetőleg azok általános függvénykapcsolata adódik:

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = f_2\left(\frac{h_r}{d_f}, \frac{G \cdot d_f}{v_B}, \frac{v_B \cdot d_f}{\nu}, \frac{\nu}{D}\right). \tag{2}$$

Elemezzük a továbbiakban végig az egyes dimenzió nélküli számokat. A

$$K_3 = \frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = \frac{K_L a \cdot d_f^2/D}{v_B \cdot d_f/D}$$

kifejezés módosított Stanton-féle számnak fogható fel, és a Nusselt- és a Peclet-féle szám aránya, amivel az anyagátadásból és a konvekcióból adódó komponensváltozást vesszük figyelembe. (A 3-as indexet azért alkalmaztuk, mivel korábbi hasonló tárgyú tanulmányainkban levezetett dimenzió nélküli számoknál a K mellett az 1 és 2 indexet már lekötöttük.) Az

$$L_1 = \frac{h_r}{d_f}$$

szimplex két jellemző hosszméret aránya. A

$$K_4 = \frac{G \cdot d_f}{v_B}$$

szintén dimenzió nélküli jellemző szám, ami a befúvott levegőhozam és a buborékok felszálló sebessége közti kapcsolatra utal. A $G \cdot d_f$ szorzat fiktív sebességnek fogható fel. A

$$\mathrm{Re} = \frac{v_B \cdot d_f}{\nu}$$

a buboréksebességre vonatkoztatott Reynolds-féle szám. A

$$Pr = \frac{\nu}{D}$$

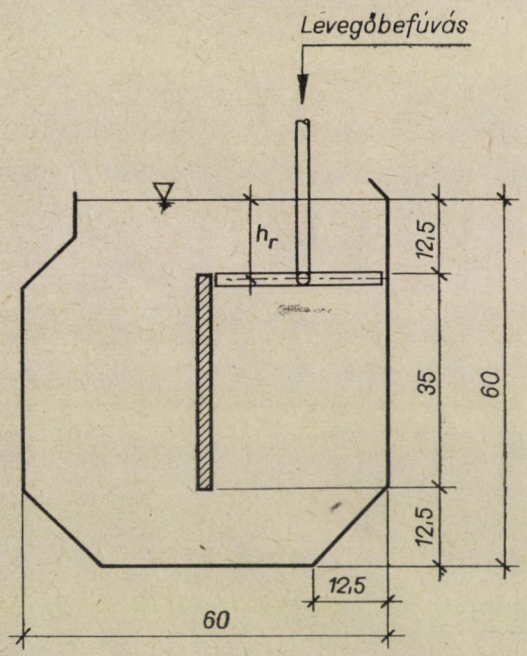
pedig a közismert Prandtl-féle szám.

Feltételezzük és be is bizonyítjuk, hogy a dimenzió nélküli változók között levő kapcsolat hatványszorzat alakú. Így a feladat: a kísérletek alapján meghatározni a dimenzió nélküli számok függvénykapcsolatát a következő alakban:

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = \text{konst.} \left(\frac{h_r}{d_f}\right)^a \cdot \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B}\right)^b \cdot \left(\frac{v_B \cdot d_f}{\nu}\right)^c \cdot \left(\frac{\nu}{D}\right)^d, \tag{3a}$$

ill.

$$K_3 = \text{konst.} \cdot L_1^a \cdot K_4^b \cdot \text{Re}^c \cdot \text{Pr}^d . \tag{3b}$$



1. ábra. A hatvani levegőztető medence modelljének keresztmetszeti rajza

Meghatározandók az *a, b, c, d* hatványkitevők és a konst. érték kísérleti mérések alapján.

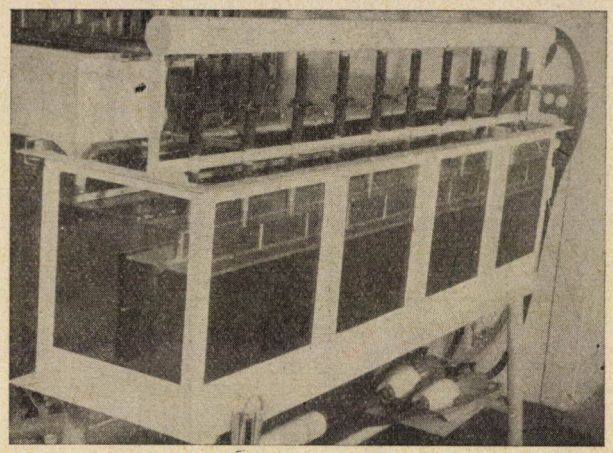
b) *A kísérleti berendezés leírása.* Kísérleteinket Hatvanban megépült főkivitelű méretű légbefúvásos levegőztető medencében, illetőleg annak 1 : 6 méretarányban megépített geometriailag hasonló kismintáján végeztük. E megoldással a laboratóriumi eredmények, illetőleg azoknak hasonló rendszerekre történő átszámítási módja kísérletileg ellenőrizhető volt.

A kisminta hosszirányú hasznos mérete 2,72 m. A keresztmetszeti elrendezést a főméretekkel az 1. ábrán tüntettük fel. A légbefúvó rácson levő furatok átmérője 1,0 mm. A levegőhozamok a főkivitelnél és a modellnél egyaránt mérőperemmel mértük (3. ábra).

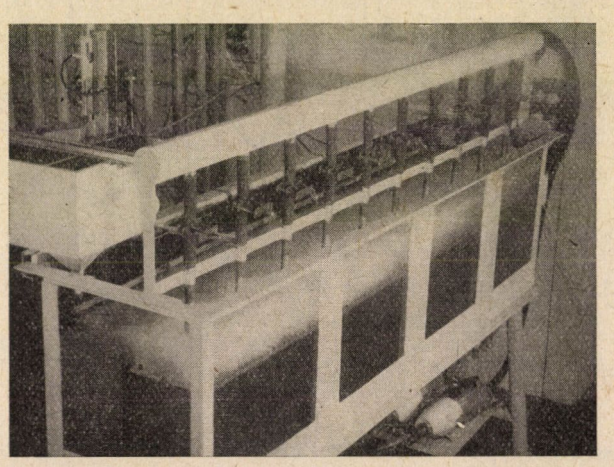
Végül néhány jellemző felvételt mutatunk be a vizsgált levegőztető medence kialakításáról és üzeméről a 2—6. ábrákon.

c) *A modellen végrehajtott oxigénfelvételi mérések.* Az oxigénfelvételi mérésekhez csapvizet alkalmaztunk. Az oldott oxigéntartalmat a Winkler-féle

a)



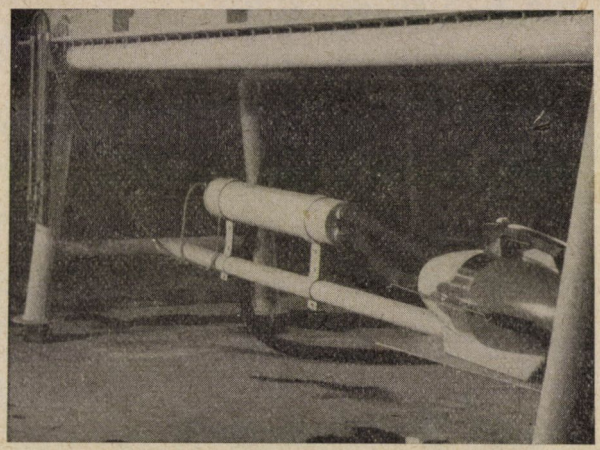
b)



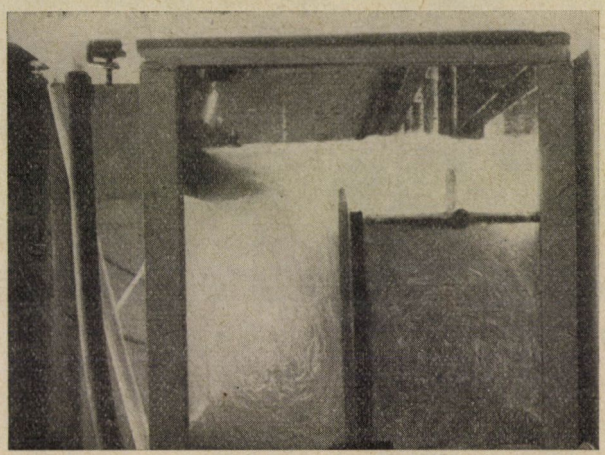
2. ábra. Az „Inka"-rendszerű légbefúvásos levegőztető medence modellje (*a*) és működése (*b*)

módszerrel határoztuk meg. A C_s telítési koncentrációkat az oxigénfelvételi görbék vízszintesbe hajló szakaszáról olvastuk le. A K_La-t, illetőleg az OC-t változó oldott oxigéntartalom mellett határoztuk meg, a kezdeti oxigéntartalomnak nátriumszulfittal történő eltávolítása után. Katalizátorként kobaltkloridot alkalmaztunk.

Két kísérletsorozatot végeztünk: $h_r = 12{,}50$ cm, ill. $h_r = 22{,}00$ cm rácsbemerülésekkel. Tehát a kísérlet során változtattuk Q_l, ill. a G és a h_r értékét, ami a K_La változását eredményezi. A mintavétel a medence szimmetriatengelye mentén a vízszint alatt 6,0, ill. 11,0 cm mélységben történt.



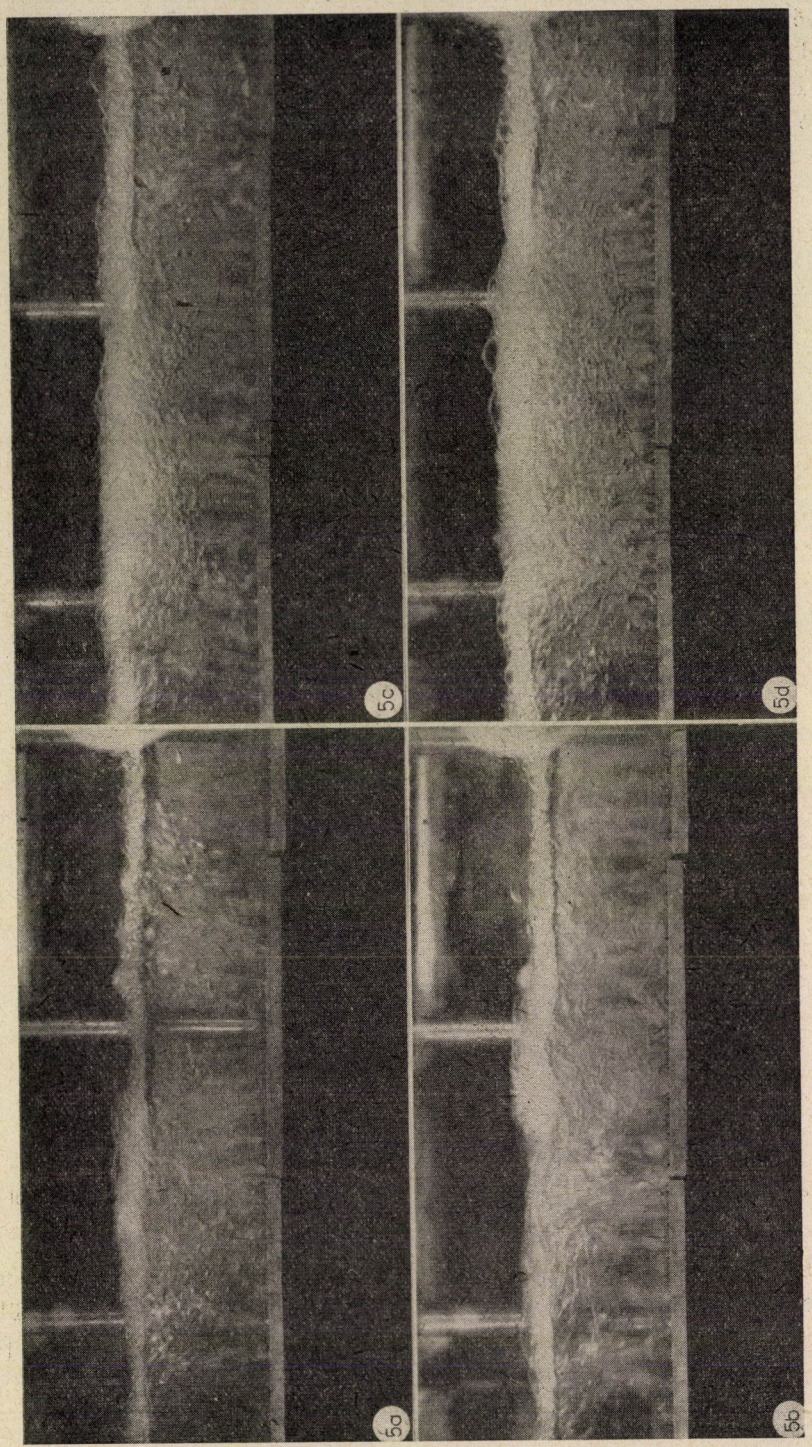
3. ábra. A levegőhozam-szolgáltató és mérő berendezés

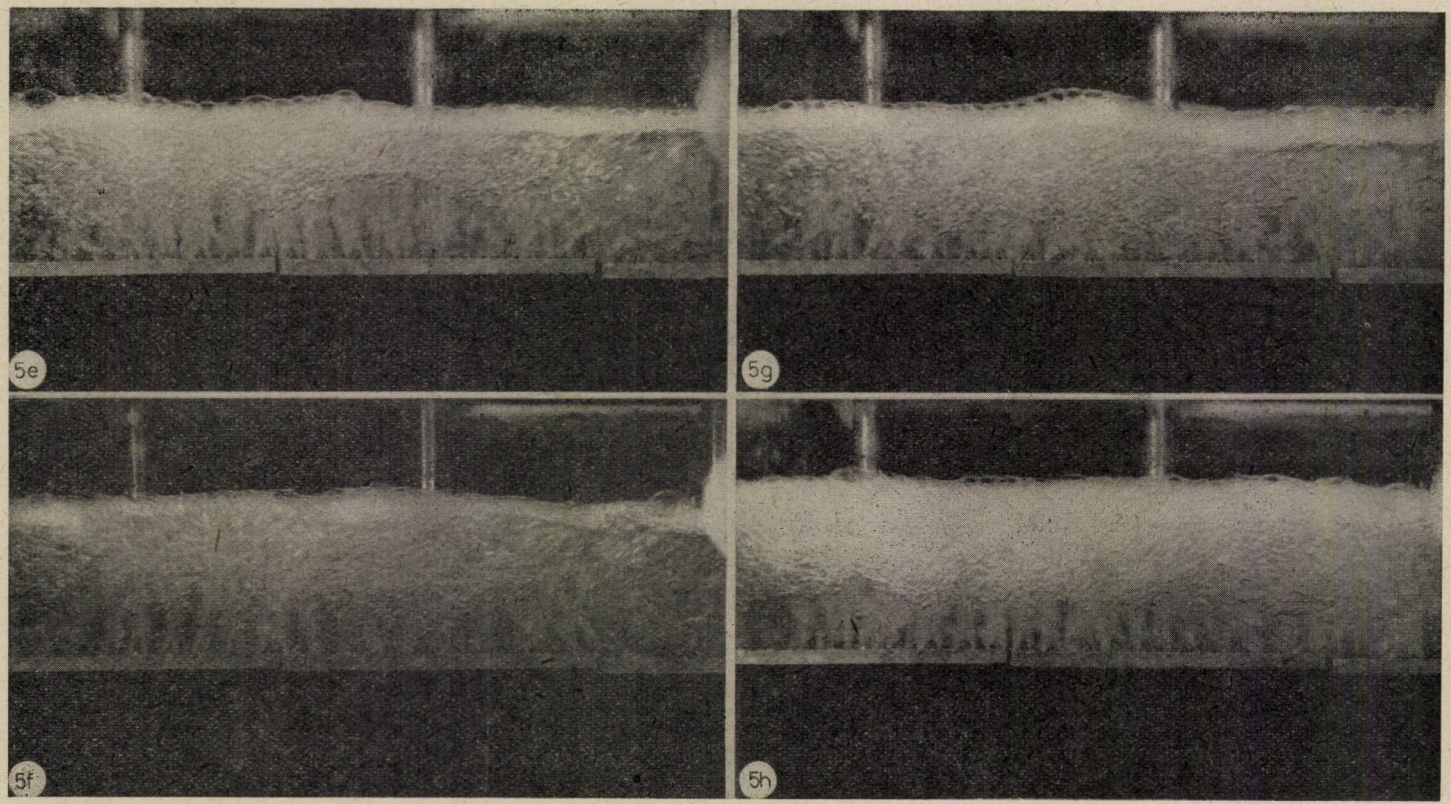


4. ábra. A légbefúvásos levegőztető medence keresztmetszete az áramképpel

A Re és Pr szám hatását meglevő kísérleti eredmények alapján vettük figyelembe. A Re és a Pr számokat a hőmérséklet változtatásán keresztül a ν és a D értékek variálásával változtattuk az alábbi összefüggések alapján [12]:

$$\nu = \frac{1{,}778 \cdot 10^{-6}}{1 + 0{,}0337\,T + 0{,}000221\,T^2} \ [\mathrm{m^2/sec}] \ \text{(Poiseuille)},$$


5c
5d
5a
5b



5. ábra. A buborékmozgás mechanizmusa a vizsgált „Inka"-rendszerű medencében növekvő levegőhozamok esetén

és $$D = D_{20}\,[1 + B\,(T - 20)]\,,$$

ahol $D_{20} = 2{,}08 \cdot 10^{-9}$ m²/sec, és $B = 0{,}02$.

A különböző hőfokokra vonatkoztatott $K_L a$ értékeket a következő összefüggéssel számítottuk [13]:

$$\frac{K_L a\,(T^\circ C)}{K_L a\,(20^\circ C)} = 1{,}02^{(T-20)}\,.$$

6. ábra. A hatvani légbefúvásos levegőztető medence üzem közben. A kép hátsó részén látható elkerített térrészben az oxigénfelvételi vizsgálat történik

d) *A mérési adatok matematikai értékelése.* A szennyvíztisztítási szakirodalomban a levegőztető medencék oxigénfelvételi folyamatának vizsgálatakor a

$$K_L a \cdot V = f(G) \tag{4a}$$

függvénykapcsolat meghatározása szokásos. Mérési adatainkat a 7. ábrán szemléltetjük logaritmikus koordinátarendszerben. Látható, hogy a pontok jó közelítéssel egyenesen helyezkednek el. Az egyenesek egyenlete:

$$K_L a \cdot V = 0{,}0556 \cdot G^{1{,}12}, \tag{4b}$$

ha

$$h_r = 12{,}5 \text{ cm}\,;$$

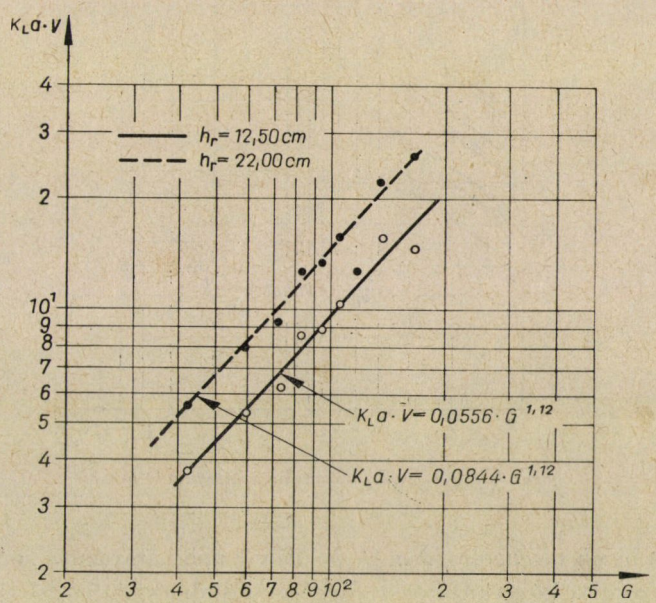
és

$$K_L a \cdot V = 0{,}0844 \cdot G^{1{,}12}, \tag{4c}$$

ha

$$h_r = 22{,}0 \text{ cm}.$$

Véleményünk szerint a (4) típusú összefüggések adott medencéknél feltétlenül előnyösen és könnyen alkalmazhatók tervezéshez, illetőleg adott levegőhozamhoz tartozó $K_L a$ értékek számítására. Azonban lényeges hátrá-



7. ábra. Az oxigénfelvétel sebességének és a befúvott levegőhozamnak a dimenziós kapcsolata. (Paraméter a légbefúvás mélysége)

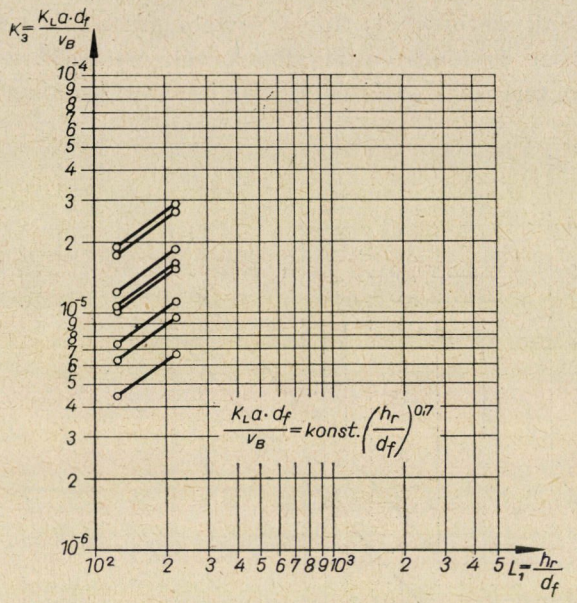
nyos tulajdonsággal is rendelkeznek. Ugyanis a konstans tényező dimenzióval bíró szám, azaz az egyenlet nem tekinthető homogénnek. Ebből pedig az következik, hogy a (4) típusú egyenletek kizárólag arra a berendezésre vonatkoztathatók, amelyen a kísérleti adatokat meghatározták. Azaz a mérési eredmények ilyen módszerrel nem általánosíthatók.

A kísérleti eredmények általánosíthatóságának érdekében a mérési adatokat dimenzió nélküli formában dolgoztuk fel. Így válik lehetővé, hogy egy adott műtárgyon, modellen végrehajtott kísérlet eredményei hasonló rendszerekre átvihetők legyenek. Ezt a szempontot figyelembe véve, az alábbiakban meghatározzuk a (3a) összefüggésben szereplő kitevőket és a konstanst.

Az a értékének meghatározása. A (3a) általános összefüggésben szereplő a kitevő meghatározása a 8. ábrán feltüntetett módon történik, ahol a konstans értékében a K_4, a Re és a Pr számok is benne szerepelnek, és a kísérlet során

állandó értékűek. Az egyenesek iránytangense a keresett kitevő: $a = 0{,}70$. Tehát

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = \text{konst} \left(\frac{h_r}{d_f} \right)^{0{,}70} . \tag{5}$$



8. ábra. A K_3 és az L_1 kapcsolata állandó Q esetén

A b értékének meghatározása. A b kitevő meghatározása a 9. ábrán látható. Eredményül a következő összefüggések adódnak:

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = 0{,}314 \cdot \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B} \right)^{1{,}12} , \tag{6a}$$

ha

$$h_r = 12{,}5 \text{ cm} ,$$

és

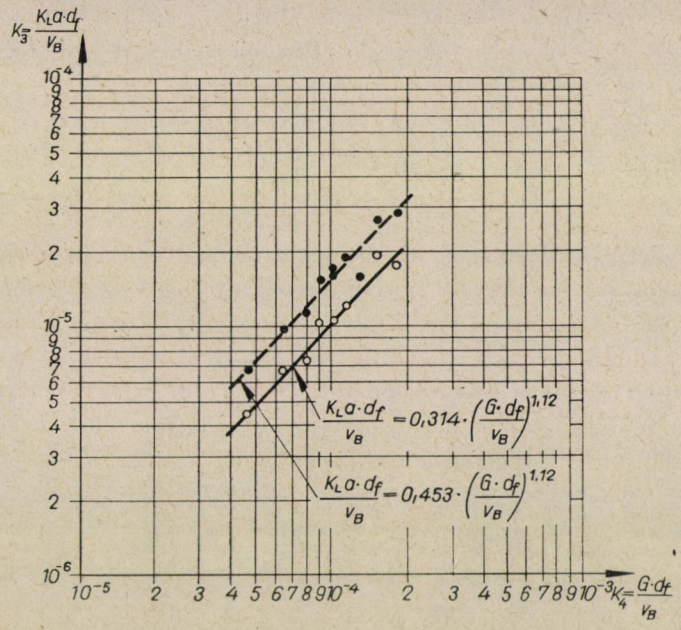
$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = 0{,}453 \cdot \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B} \right)^{1{,}12} , \tag{6b}$$

ha

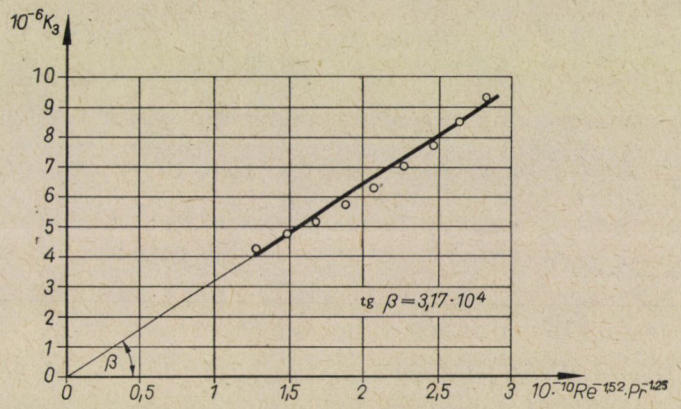
$$h_r = 22{,}0 \text{ cm} .$$

A c és a d értékének meghatározása. A c és a d értékének a számítása csak együtt lehetséges — amint már említettük —, mivel a Re és Pr számok változtatását a hőmérséklet variálásával végeztük. Korrelációszámítás segítségével az alábbi eredmények adódtak: $c = -1{,}52$, $d = -1{,}25$, konstans $= 3{,}17 \cdot 10^4$. A totális korrelációs tényező értéke 0,99-nek adódott, ami függvénykapcsolat

létezésére utal. Kontrollképpen a 10. ábrán feltüntettük a vizsgált kapcsolatot. Az ábráról megállapítható, hogy a pontok görbe mentén helyezkednek el, azonban annak görbülete kicsiny és jó közelítéssel egyenessel kiegyenlíthető. Tehát a korreláció elvileg nem lineáris, gyakorlatilag azonban a linearitás fel-



9. ábra. A K_3 és a K_4 kapcsolata állandó h_f esetén



10. ábra. A $K_3 = 3{,}17 \cdot 10^4 \cdot Re^{-1{,}52} \cdot Pr^{-1{,}25}$ kapcsolat grafikus ellenőrzése

tételezése megengedhető. Az egyenes iránytangense megegyezik a számítással kapott konstans értékével, a függőleges tengelymetszet pedig nulla, ami egyúttal kontrollt is jelent. Eredményül tehát a

$$K_3 = 3{,}17 \cdot 10^4 \cdot \mathrm{Re}^{-1{,}52} \cdot \mathrm{Pr}^{-1{,}25} \tag{7}$$

dimenzió nélküli kapcsolat adódik.

A konstansok meghatározása. A továbbiakban az egyenletekben szereplő konstansok értékeit határozzuk meg. Mindenekelőtt megemlítjük, hogy az állandókat a fentiekben konst-sal jelöltük, de ez nem jelenti azt, hogy pl. a (3) és az (5) egyenletekben szereplő állandók azonosak. Elvi és gyakorlati szempontból a (3) egyenletben és annak különleges

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = \text{konst.} \left(\frac{hr}{d_f}\right)^{0{,}70} \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B}\right)^{1{,}12} \tag{8}$$

alakjában szereplő konstansok értékeinek ismerete lehet jelentős. A mérési adatok grafikus és numerikus kiegyenlítésével a (3)-as összefüggésben szereplő konstans $5{,}307 \cdot 10^7$ értékű, a (8)-as összefüggésben levő állandóra pedig $1{,}048 \cdot 10^{-2}$ adódott.

A vizsgált légbefúvásos levegőztetés oxigénfelvételi folyamatát jellemző dimenzió nélküli számok kapcsolatául — a mérési adatok matematikai értékelése alapján — végeredményképpen a

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = 5{,}307 \cdot 10^7 \left(\frac{h_r}{d_f}\right)^{0{,}70} \cdot \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B}\right)^{1{,}12} \cdot \left(\frac{v_B \cdot d_f}{v}\right)^{-1{,}52} \cdot \left(\frac{v}{D}\right)^{-1{,}25}, \tag{9}$$

illetőleg (20 °C hőmérsékletre vonatkozóan)

$$\frac{K_L a \cdot d_f}{v_B} = 1{,}048 \cdot 10^{-2} \left(\frac{h_r}{d_f}\right)^{0{,}70} \left(\frac{G \cdot d_f}{v_B}\right)^{1{,}12} \tag{10}$$

összefüggések adódtak. Az egyenletek szigorúan csak a

$$\begin{aligned} 4{,}42 \cdot 10^{-6} &< K_3 < 1{,}76 \cdot 10^{-5} \\ 125 &< L_1 < 220 \\ 8{,}45 \cdot 10^3 &< \mathrm{Re} < 2{,}28 \cdot 10^4 \\ 2{,}26 \cdot 10^2 &< \mathrm{Pr} < 1{,}42 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

tartományban (a kísérleti intervallumban) érvényesek.

e) *Az oxigénfelvételi folyamat hasonlósági feltétele és annak kísérleti igazolása.* Tanulmányunk II. fejezetének a—e tételei szerint a vizsgált oxigénfelvételi folyamatot leíró invariáns függvénynek a (9), ill. különlegesebb esetben a (10) dimenzió nélküli kapcsolatot tekintjük. Az invariáns függvénynek, mint hasonlósági feltételnek a kísérleti igazolását elvégeztük. Esetünkben ez egyszerű volt, mivel két különböző méretű geometriailag hasonló rendszer: a modell és a főkivitel kísérleti célokra rendelkezésünkre állt.

A (9) alakú invariáns függvény kísérleti ellenőrzése azonban nehézségbe ütközik, mivel a főkiviteli berendezésben a ν és a D változók meghatározott értékkel történő változtatása, ill. pontos mérése nem volt lehetséges. Ezért csupán a (10) összefüggésből adódó hasonlósági feltétel kísérleti igazolását végeztük el, ami gyakorlati szempontból teljesen kielégítő.

A II. fejezet a—e tételei szerint az *invariáns függvény:*

$$\frac{K_L a \cdot d_f / v_B}{(h_r/d_f)^{0,70} (G \cdot d_f / v_B)^{1,12}} = 1{,}048 \cdot 10^{-2} = \text{konst.} \tag{11}$$

A transzformációs paraméterek, illetőleg a

$$\lambda_{K_L a} = \lambda_{v_B} = 1$$

és

$$\lambda_{h_r} = \lambda_{d_f} = \lambda$$

feltételek bevezetésével a (11)-ből a

$$\lambda_G = \lambda^{-0,107}$$

illetőleg

$$\lambda_{Q_l} = \lambda_G . \lambda^3 = \lambda^{2,893} \tag{12}$$

átszámítási tényezők vezethetők le.

A (11), ill. a (12) hasonlósági feltételek kísérleti ellenőrzése céljából a főkiviteli berendezésben különböző levegőhozamok esetén meghatároztuk a $K_L a$ értékeket, amelyeket az I. táblázat első oszlopában tüntettünk fel.

I. táblázat

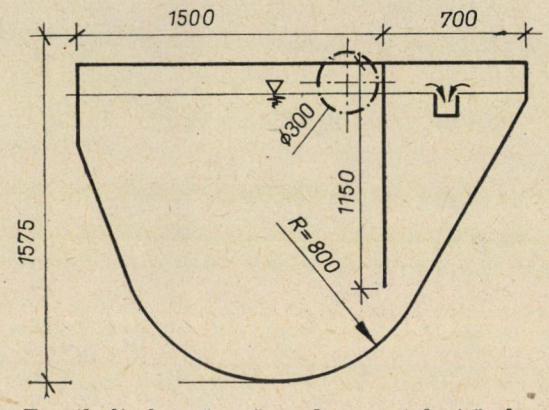
A modelltörvény érvényességének kísérleti igazolása légbefúvásos levegőztető medence esetén

$K_L a' = K_L a''$ [Óra^{-1}]	Q_l' [m^3/óra]	Q_l'' [m^3/óra]	$\lambda_{Q_l} = \frac{Q_l'}{Q_l''}$	$\lambda_{Q_l} = \lambda^{2,893}$	$\Delta\lambda_{Q_l}$%
3,87	6770	38,80	174,5	178,3	+ 2,13
3,40	6340	37,16	170,6	178,3	+ 4,32
3,22	6100	35,40	172,5	178,3	+ 3,25
2,36	4780	26,86	178,0	178,3	+ 0,17
1,64	3780	19,41	194,6	178,3	— 8,98

A második oszlopban a befúvott és mérőperemmel mért Q_l' levegőhozamok láthatók. A (11)-nél alkalmazott feltételeknek megfelelően a főkivitelben mért $K_L a' = K_L a''$ értékeknek megfelelő G'', illetőleg Q_l'' hozamok számíthatók a modell adataival [hiszen a (11) összefüggést a kismintán mért adatok érté-

keléséből kaptuk]. A $Q_l^{"}$ értékei a táblázat harmadik oszlopában láthatók. Az adatokból számítható λ_Q átszámítási tényező, aminek a (12) szerint $\lambda^{2,893} = 6^{2,893} = 178{,}3$ értéknek kellene lennie. A táblázat utolsó oszlopából kiderül, hogy a százalékos eltérés abszolút értéke kereken maximum 9%.

Ezzel kísérleti úton is igazolást nyert, hogy a (11) összefüggés — az invariáns függvény — modelltörvényként alkalmazható.



11. ábra. Forgókefés levegőztető medence utóülepítővel egybeépítve

2. Kessener-rendszerű berendezés vizsgálata

Az 1. pontban ismertetett vizsgálatokat — analóg módon — forgókefés „Kessener"-rendszerű berendezéssel is elvégeztük. A kísérleti, méréstechnikai és adatfeldolgozási módszerek gyanánt a már ismertetett alapelveket alkalmaztuk. Ezért a vizsgálati módszerek részletezése nélkül csupán a fontosabb lépéseket és az eredményeket ismertetjük.

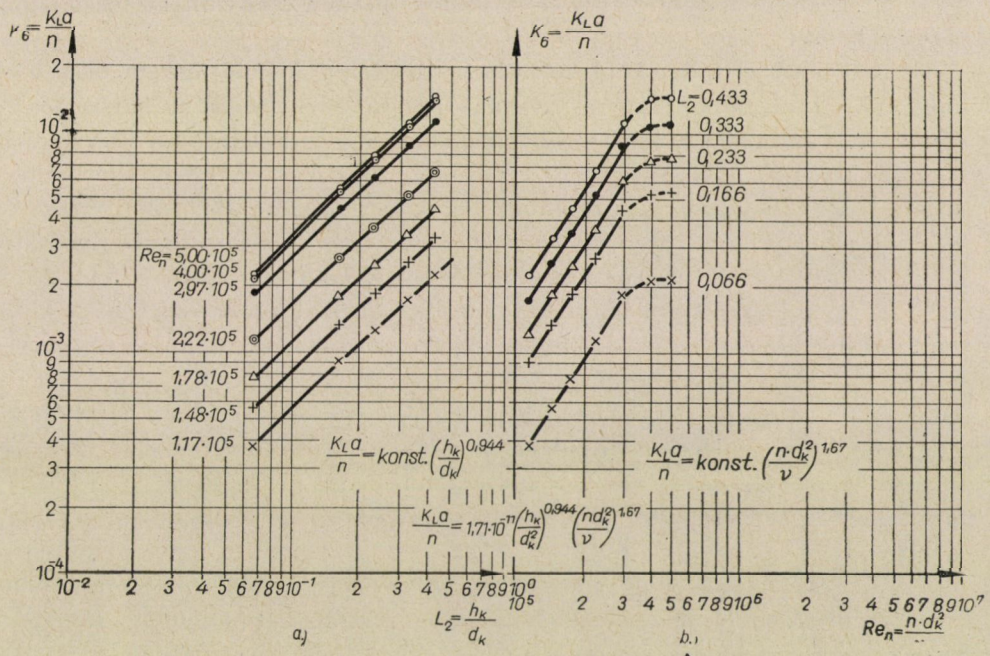
A forgókefés levegőztető medencékben végbemenő oxigénfelvételi folyamatot alapvetően az alábbi változók befolyásolják: A medence fő méretei, a kefebemerülés nagysága, a kefe típusa, a kefe fordulatszáma és átmérője, az áramló közeg anyagi jellemzői; a kinematikai viszkozitás és a diffúziós állandó. Geometriailag hasonló rendszerek vizsgálatáról lévén szó, jellemző hosszméretnek a kefeátmérő tekinthető, mivel a medence fő méretei a kefe méreteivel együtt azonos méretarány szerint változnak. Ily módon a lejátszódó oxigénfelvételi folyamatot befolyásoló változók kapcsolatát általános alakban — csapvízre vonatkoztatva — az alábbiak szerint írhatjuk fel:

$$K_L a = f_3(h_k, d_k, n, \nu, D). \tag{13}$$

Ha a fenti változók közül *bázisrendszer*nek a kefeátmérőt és a fordulatszámot választjuk, akkor a dimenzióanalízis tételei szerint (feltételezve a hat-

ványszorzat alakú összefüggés létezését) az alábbi dimenzió nélküli összefüggéshez jutunk:

$$\frac{K_L a}{n} = \text{konst.} \left(\frac{h_k}{d_k}\right)^a \cdot \left(\frac{n \cdot d_k^2}{\nu}\right)^b \cdot \left(\frac{\nu}{D}\right)^c. \tag{14}$$



12. ábra. A 11. ábrán látható berendezésen végzett mérések eredményei
a) A K_6 és az L_2 kapcsolata, Re_n paraméter
b) A K_6 és a Re_n kapcsolata, L_2 paraméter

Határozzuk meg kísérleti mérésekkel a (14) összefüggésben levő *a*, *b*, *c* hatványkitevőket és a *konstans* értékeket. Kísérleteink során ezúttal sem tértünk ki a ν és a D változók hatásának kimérésére, csupán a h_k és az n változókat variáltuk, aminek eredményeképpen a $K_L a$ mérésével az *a* és a *b* kitevők meghatározhatók.

Kísérleteinket a 11. ábrán feltüntetett berendezésen végeztük. Ez esetben a levegőztető medence az utóülepítővel közös vízterű volt, illetőleg egy függőleges válaszfal részlegesen választotta azokat ketté. A mintákat a levegőztető, ill. az utóülepítő tér szimmetriatengelyében a vízszint alatt 50 cm mélységben vettük.

A mérések eredményeit a 12. ábrán tüntettük fel. Eszerint a jellemző változók között levő dimenzió nélküli kapcsolat gyanánt a levegőztető térre

vonatkozóan a következő összefüggés adódik:

$$\frac{K_L a}{n} = 1{,}71 \cdot 10^{-11} \left(\frac{h_k}{d_k}\right)^{0{,}94} \left(\frac{n \cdot d_k^2}{\nu}\right)^{1{,}67}, \tag{15a}$$

ill.

$$K_6 = 1{,}71 \cdot 10^{-11} L_2^{0{,}94} \cdot \mathrm{Re}_n^{1{,}67}. \tag{15b}$$

A 12. ábrán feltüntetett mérési adatok alapján a következő megállapítások tehetők:

a) A kísérleti adatoknak hasonlóság-elméleten alapuló matematikai feldolgozásával megállapítható a jellemző paramétereknek az a határértéke, amelynél az áramlás a lamináris jellegű állapotból a turbulens állapotba lép át. A határértékeket célszerűen a Reynolds-szám kritikus értékével lehet jellemezni. Esetünkben a kritikus Reynolds-féle szám értéke $3 \cdot 10^5$, amely értéknél a 7a. ábra grafikonjai egyenesből görbevonalba, majd vízszintesbe mennek át. A görbevonal-szakasz átmeneti tartomány létezésére utal.

b) A lamináris tartományt azonban csak quasi-laminárisnak lehet tekinteni, mivel gyakorlatilag ez esetben is észlelhetők a sebességek pulzációs összetevői.

c) Az oxigénfelvétel sebességét jellemző $K_L a$ értékeknek az üzemeltetést jellemző változókkal való kapcsolata a lamináris jellegű és a turbulens állapotok esetén különböző. Az elméleti hidraulikai meggondolásoknak megfelelően turbulens állapot esetén az oxigénfelvétel sebességét a Reynolds-féle szám nem befolyásolja.

Az elvégzett modellkísérlet során kapott (15) összefüggés a II. fejezetben tett elvi meggondolásaink alapján szintén hasonlósági feltételként fogható fel. Ennek kísérleti igazolását azonban nem végeztük el.

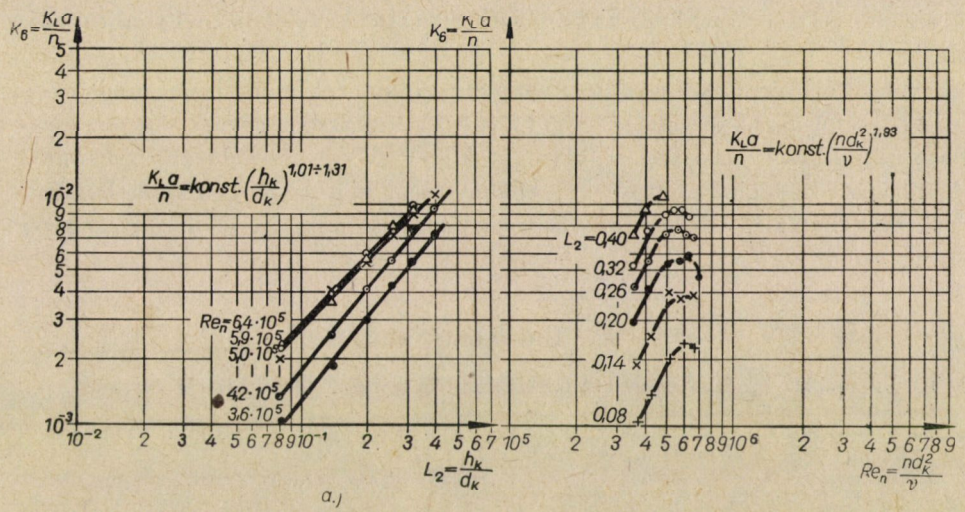
A hasonlósági megfontolásokon túlmenően az alábbi — gyakorlati szempontból is jelentős — megállapításokat tettük: az ülepítő tér üzemeltetése esetén kisebb OC, ill. $K_L a$ értékek mérhetők a levegőztető térben. A levegőztető és az ülepítő tér összes oxigénfelvétele kisebb, vagy közel egyenlő a levegőztető tér térfogatára (az ülepítő tér kikapcsolása esetén) vonatkoztatott oxigénfelvételnél. Ennek oka valószínűleg az, hogy a levegőztető medencéhez közvetlenül csatlakozó közös vízterű ülepítő oxigénfelvételi szempontból holttérnek tekinthető.

3. *A hazai kísérletek alátámasztása szakirodalmi adatokkal*

A forgókefés rendszerű levegőztető medencével kapcsolatban végzett kísérleteink eredményeinek alátámasztására elvégeztük a szakirodalomban már meglevő néhány részletesebb kísérleti adatsor hasonlósági meggondolások alapján történő feldolgozását. Ezúttal BAARS és MUSKAT által végzett mérések eredményeinek feldolgozásából ismertetünk egy példát [14]. 50 cm átmérőjű

szögvas rotor esetén (a fogszélesség és a fogközök aránya 1 : 1,5) mért OC értékekből számítható K_La-k alapján a 12. ábrának megfelelően a 13. ábrán tüntettük fel a dimenzió nélküli kapcsolatokat. Látható, hogy a két ábrán feltüntetett görbesereg erős rokonságot mutat. Megállapítható továbbá, hogy

a) a Reynolds-féle szám kritikus értéke $4 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$ határok között változik az L_2 értékétől függően. Minél nagyobb a kefebemerülés, ill. az L_2 dimenzió nélküli szám, annál kisebb a kritikus Reynolds-féle szám értéke.



13. ábra. A mérési eredmények ellenőrzése számítással J. MUSKAT nyomán:
a) A K_6 és az L_2 kapcsolata Re_n paraméter
b) a K_6 és a Re_n kapcsolata L_2 paraméter

b) A K_La-nak és a h_k kefebemerülésnek a kapcsolatáról megállapítható, hogy lamináris jellegű állapot esetén h_k kitevője közelítően 1,31, turbulens állapot esetén kereken 1,0. A laminárisból a turbulens állapotba történő áttérésnél valószínűleg található oly átmeneti tartomány, amelyben az 1,31-es kitevő fokozatosan az 1,0 értékbe megy át.

c) A K_La és a fordulatszám kapcsolatánál hatványkitevőnek 2,93, a kefeátmérőnek a kapcsolatánál pedig — lamináris állapot esetén — 2,55 érték adódott. A fenti kitevők turbulens állapotra vonatkozó értékeinek meghatározásánál valószínűleg célszerű a Froude-féle számot figyelembe venni.

d) A kefeátmérő és a fordulatszám hatását a kefe kerületi sebességével szokás figyelembe venni. Ezért adódik a két kitevő azonosnak. Vizsgálataink szerint azonban célszerű a fenti két változónak az oxigénfelvétel sebességét jellemző K_La értékkel való kapcsolatát külön-külön meghatározni. Ezt a fenti kiértékelésen túlmenően az alábbiakkal indokolhatjuk:

Igaz ugyan, hogy a kerületi sebesség mind a kefeátmérővel, mind a fordulatszámmal egyenesen arányos, azonban a levegőztető medencékben kiala-

kuló áramlási és oxigénfelvételi folyamatot nem azonos intenzitással befolyásolják. Ez úgy látható be legegyszerűbben, ha meggondoljuk azt, hogy a fordulatszám az áramló rendszernek átadódó tehetetlenségi erőt befolyásolja, viszont a kefe átmérőjének növekedése — azonos bemerülési mélységet tételezve fel — a tehetetlenségi erőn kívül a súrlódási erő növekedését is maga után vonja. Hiszen nagyobb átmérőjű kefe azonos kefebemerülés esetén nagyobb felületen érintkezik az áramló közeggel.

e) A 8b. ábra szerint a turbulens tartományban a Reynolds-féle szám növekedésével a K_6 csökken. Ezt a jelenséget saját kísérleteinknél nem tapasztaltuk.

Végül a hidraulikai és oxigénfelvételi folyamatok modellezési módszereinek összetevésével kapcsolatosan a III. és a IV. fejezetben leírtak alapján megállapíthatjuk, hogy az áramlási folyamatok hasonlósági vizsgálatánál a Froude-féle törvény kielégítő pontosságot eredményez, míg az oxigénfelvételi jelenségek vizsgálatánál az invariáns függvény elvén alapuló modellezési módszer célravezetőbb.

IRODALOM

1. LANGHAAR, H. L.: Dimensional Analysis and Theory of Models. John Wiley and Sons, Chapman and Hall, New York—London 1951.
2. JOHNSTONE, R. E.—THRING, M. V.: Pilot Plants, Models and Scale Up Methods in Chemical Engineering. McGraw-Hill, New York 1955.
3. KIRPICSOV, H. V.—KONAKOV, P. K.: Matematicseszkije osznovi tyeorii podobija. A. N. SzSzSzR, Moszkva 1949.
4. HORVÁTH I.: A hasonlóságról. *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* **1—2** (1963), 195—202.
5. HORVÁTH, I.: Az invariáns függvény, mint a hasonlóság feltétele. *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* **3—4** (1964), 551—568.
6. HORVÁTH I.: A modellalkotás mint tudományos kutatási módszer. *Magyar Filozófiai Szemle* **2** (1965), 161—191.
7. HORVÁTH I.: A forgókefés eleveniszapos szellőztetőmedencék kismintavizsgálata. *Hidrológiai Közlöny* **3** (1963), 257—265.
8. HORVÁTH I.: Légbefúvásos szellőztetőmedence hidraulikai kismintavizsgálata. *Hidrológiai Közlöny* **3** (1965), 134—142.
9. MILLER, D. N.: Liquid Film Controlled Mass Transfer in Agitated Vessels. *Industrial and Engineering Chemistry* **56** (1964) 18—28.
10. ROBERTSON, W. S.: Evaluation of the Simcar Aerator for Trade Effluent Treatment. *Journal and Proceedings* **37** (1964), 585—596.
11. ECKENFELDER, W. W.: Absorption of Oxigen from Air Bubbles in Water. *Journal of the Sanitary Engineering, Division* **85** (1959) 88—89.
12. RAMM, V. M.: Abszorpciós eljárások a vegyiparban. Akadémiai Kiadó, Budapest 1953.
13. ECKENFELDER, W. W.—OLONNOR, D. J.: Biological Waste Treatment. Pergamon Press, Oxford—London—New York—Paris 1961.
14. BAARS, J. K.—MUSKAT, J.: Oxigenation of Water by Bladed Rotors, *Report* No **28** *of TNO*, The Hague; 1958
15. DOBBINS, W. E.: Mechanism of Gas Absorption by Turbulent Liquids, International Conference on Water Pollution Research London, September 1962. Pergamon Press, Oxford—London—New York—Paris 1964.

STATISZTIKAI MÓDSZEREK ALKALMAZÁSA A VARRATGEOMETRIA HATÁSÁNAK VIZSGÁLATÁHOZ FÁRASZTÓVIZSGÁLATOKBAN

MATOLCSY MÁTYÁS
IKARUS KAROSSZÉRIA- ÉS JÁRMŰGYÁR LABORATÓRIUMA

[Beérkezett 1966. február 14-én]

A hegesztett kötések kifáradási szilárdsága alacsonyabb az alapanyagokénál, s ezt a szilárdságcsökkenést — főleg lemunkálatlan varratokon — igen erősen befolyásolják a varrathernyó geometriai jellemzői. Az eddig alkalmazott vizsgálati módszerek igen költségesek és meglehetősen hosszadalmasak voltak. Jelen dolgozat bemutat egy új módszert — a matematikai statisztikában használatos függetlenségvizsgálatot —, amely alkalmas a kérdés gyorsabb, megbízhatóbb tisztázásához. A módszernek az a nagy előnye is megvan, hogy nem igényel külön kísérleteket, hanem más céllal végzett fárasztóvizsgálatok eredményeit — pl. kifáradási görbesereg felvételére végzett kísérleteket — fel lehet használni. A dolgozat bemutatja a módszer alkalmazását három alumíniumötvözetre, s felhívja a figyelmet a varratgeometria hatásának néhány általános tendenciájára is.

I. Bevezetés

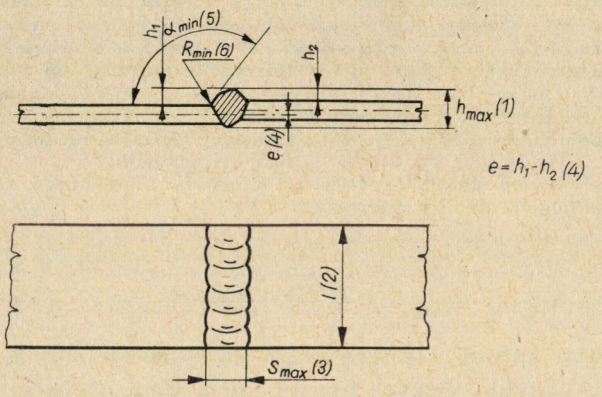
Hegesztett kötések fárasztóvizsgálatakor az alapanyagoknál megszokott szórásoknál is nagyobb értékek jelentkeznek. Ennek igen sok oka van: a varratok röntgenvizsgálattal ki nem mutatható mikrohibái, az átmeneti zóna szövetszerkezeti változásai, a varrathernyó geometriai jellemzőinek változásai stb. A varrat geometriája végeredményben több varratparaméter együttes jelentkezéséből alakul ki. Ilyenek pl. a varrathernyó magassága, szélessége, kezdeti hajlásszöge, lekerekítési sugara stb. Vizsgálatuk meglehetősen nehéz, mert ezek a paraméterek nem függetleníthetők egymástól, így nem biztosítható hegesztés közben — legalábbis elfogadható mérethatárok között — ezek állandó értéken tartása. Napjainkban ilyen jellegű kutatások során azt az eljárást alkalmazzák leginkább, hogy forgácsolással állítanak elő megfelelő varratutánzattal rendelkező próbatesteket, amelyeken a vizsgálat tárgyát képező geometriai paramétert tetszőleges határok között és megfelelő pontossággal lehet változtatni, a többit pedig állandó értéken tartják.

Az *International Institute of Welding* 1964. évi prágai közgyűlésén a kifáradással foglalkozó munkabizottságban nagy vita alakult ki erről a kérdésről egy francia beszámoló kapcsán. A vita részben a körül folyt, hogy melyek a legfontosabb vizsgálandó jellemzők, másrészt, hogy miként lehet megállapítani hatásukat a hegesztett kötés várható élettartamára. Ez a dolgozat ehhez a gondolatkörhöz kíván módszert és néhány mérési eredményt hozzáfűzni.

Elöljáróban le kell szögezni, hogy az olyan többváltozós kapcsolatokat, amelyekben az egyes változók véletlenszerűek, azok valószínűségi változóknak tekinthetők és csak a matematikai statisztika módszereivel lehet e változókat megfelelően kezelni és értékelni.

II. Kísérleti körülmények

A varrat geometriai jellemzői közül az 1. ábrán feltüntetetteket vizsgáltuk meg, amelyek lemérését a fárasztóvizsgálatok után végeztük, amikor a próbatest repedése már bekövetkezett. Így mindig a repedés kiindulási



1. ábra. A varrat geometriai paraméterei

helyénél mérhettük a vizsgált értékeket, remélve, hogy ezzel jobban megközelítjük a törés okát. Az l, S_{max}, h_{max} és e értékeket 0,1 mm pontossággal tolómérővel mértük, az R_{min} és α_{min} értékeit Zeiss-féle univerzális mérőmikroszkópon állapítottuk meg. A mérést végző személyek nem ismerték a keresett összefüggéseket, így esetleges szubjektív méréshibáik nem befolyásolják tendenciózusan az eredményeket. A kísérleteket három alumíniumötvözettel — AlMgSi, AlMg4 és AlZnMgTi, *MSZ 3714* — végeztük el 2 mm-es lemezvastagságra. Meg kell jegyezni, hogy a kísérleteknek nem ez a vizsgálatsorozat volt az eredeti célja, ezt csak mint többlet lehetőséget hasznosítottuk. A hegesztéseket mindhárom ötvözetnél AWI eljárással, a fárasztóvizsgálatokat 10 tonnás Amsler-típusú nagyfrekvenciás fárasztógéppel végeztük. A vizsgálatok frekvenciája 80 ÷ 100 Hz volt.

Az I. táblázat a vizsgált anyagok jellemzőit és a továbbiakban alkalmazott jeleit tartalmazza. Az *E* jelű sorozat megmunkálatlan varratú AlZnMgTi próbatestekből állt, amelyeket *Araldit 123 B* műanyagragasztóval kentünk be. A fárasztóvizsgálatokban a törés a ragasztóréteg lepattanásával együtt jelentkezett, így annak eltávolítása után a varratjellemzőket mérni tudtuk.

I. táblázat

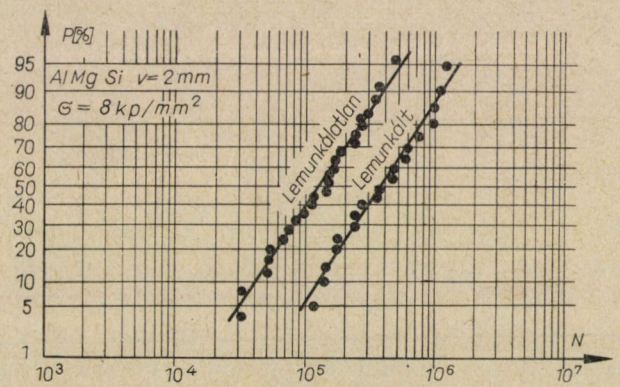
A vizsgált anyagok jelölése és jellemzői

Ötvözettípus	Jele	Feszültségszint, kp/mm²	Elemszám, n	Megjegyzés
AlMgSi	*A*	8	27	
AlMg4	*B*	12	32	
AlMgZnTi	*C*	12	26	
	D	9	16	
	E	9	12	Ragasztóval bekent
	F	12	42	Elvi csoport, a *C* és *D* összevonásából.

A jelölések alapja a továbbiakban az 1. ábra és az I. táblázat. Az 1. ábrán az egyes geometriai jellemzőket számokkal jelöltük, az I. táblázatban pedig a vizsgált statisztikai csoportokat nagybetűvel. Így a továbbiakban egy vizsgálati egységet, egy kontingenciatáblázatot egy nagybetű-szám kombinációval jelölünk (pl. B4 az Almg4 ötvözetnél az excentricitás hatásának vizsgálatát jelenti).

III. A varrathernyó hatása

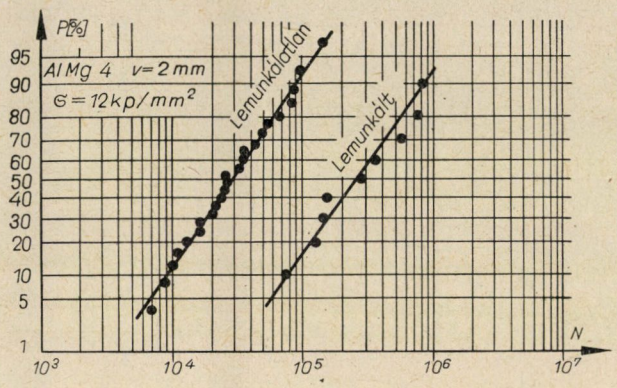
A részletes varratvizsgálatok előtt célszerű a kísérleti eredményekkel szemléltetni a varrathernyó élettartamcsökkentő hatását. Mindhárom alumíniumötvözeten összehasonlító fárasztóvizsgálatot végeztünk egy-egy terhelésszinten, lemunkált és lemunkálatlan tompavarratú kötésekkel. A 2. ábra



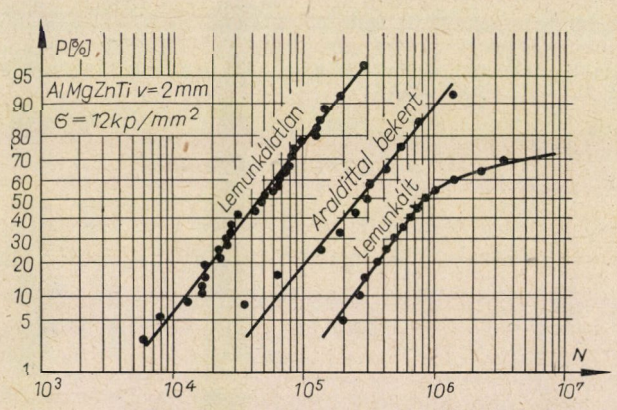
2. ábra. A varrathernyó hatása AlMgSi ötvözeten

AlMgSi-re, a 3. ábra AlMg4-re, a 4. ábra pedig AlZnMgTi ötvözetre mutatja ezt az összehasonlítást.

Az élettartameloszlásokat log-normál eloszlásfüggvény alapján szerkesztett valószínűségi papírokon ábrázoltuk [1]. Az eredmények értékelésénél



3. ábra. A varrathernyó hatása AlMg4 ötvözeten



4. ábra. A varrathernyó hatása AlZnMgTi ötvözeten

a szokásos statisztikai módszereket alkalmaztuk [2]. Mindhárom ábrán a lemunkálatlan varratú minták élettartameloszlásai erős balra tolódást mutatnak, ami az élettartam jelentős csökkenését tükrözi. AlMg4 és különösen AlZnMgTi ötvözeteken ez az eltolódás egy teljes nagyságrend. A szórásokban nem mutatkozik lényeges különbség lemunkált és lemunkálatlan varratok között, mivel a két élettartameloszlás közel párhuzamos mindhárom ábrán.

A 4. ábrán a műanyagragasztóval bekent varratok élettartameloszlása is látható. A ragasztó komoly élettartamnövekedést eredményezett.

IV. Függetlenségvizsgálatok elvi alapjai

Egy statisztikai sokaság — minta — bizonyos jól elkülöníthető tulajdonságok alapján különböző osztályokra bontható. Ha egyidejűleg a sokaság több tulajdonságát vizsgáljuk, az egyes osztályokon belül újabb osztályok állapíthatók meg. Az osztálybasorolásnak két nagy fajtája van, minősített és mért jellemzők alapján történő szétválasztás. Ez utóbbi azt jelenti, hogy mérjük a halmaz minden egyes tagjának valamilyen tulajdonságát, és a valószínűségi változóként szereplő adathalmazt általunk célszerűen megválasztott értékhatárok között osztályokba soroljuk.

A továbbiakban — mivel fárasztóvizsgálatok értékelésekor ez alkalmazható — a kétszeres osztályozású, mért osztálygyakoriságok törvényszerűségeivel foglalkozunk.

Legyen adott fárasztott próbatestekből egy n elemű minta, melyben az élettartamértékek a legkisebb N_1 és legnagyobb N_n értékek között véletlenszerűen változnak. Ezek alapján s osztályba sorolhatjuk be ezeket a próbatesteket, annak megfelelően, hogy az előre kijelölt $N_1 - N_i$, $N_{i+1} - N_j$, ..., $N_{k+1} - N_n$ osztályok közül melyikhez tartoznak. Ha az élettartammal egyidejűleg egy más jellemzőt, pl. a varratmagasságot is feljegyezzük minden próbatestre, és az arra megállapított t osztályba is besoroljuk őket, akkor egy st végső osztályszámú, kétszeres osztályozású kontingencia táblázathoz jutunk, amint azt a II. táblázat szemlélteti. Az n_{11} osztálygyakoriság pl. azok-

II. táblázat

st osztályozású kontingenciatáblázat

	S	1.	2.	3.	
t	$h_{\max}$ / N_i	$h_1 - h_2$	$h_2 - h_3$	$h_3 - h_4$	
1.	$N_1 - N_2$	n_{11}	n_{12}	n_{13}	$\sum_{s=1}^{3}{}' n_{12} = n_{10}$
2.	$N_2 - N_3$	n_{21}	n_{22}	n_{23}	$\sum_{s=1}^{3}{}' n_{2s} = n_{20}$
3.	$N_3 - N_4$	n_{31}	n_{32}	n_{33}	$\sum_{s=1}^{3}{}' n_{3s} = n_{30}$
		$\sum_{t=1}^{3}{}' n_{t1} = n_{01}$	n_{02}	n_{03}	$\sum_{s}^{3}{}' \sum_{t}^{3}{}' n_{st} = n$

nak a próbatesteknek a száma, amelyeknek élettartama az $N_1 - N_2$, a varratmagassága pedig $h_1 - h_2$ osztályközökbe (cellákba) esik. Minden sor végén az illető sor, az oszlopok alján pedig az oszlopok összgyakorisága szerepel. A sorok összgyakoriságának az összege — éppen úgy mint az oszlopoké — a teljes mintaelemszámot eredményezi.

Ezekután a kérdés úgy fogalmazható meg, hogy van-e valamilyen oksági kapcsolat — függőség — a két vizsgált tulajdonság (élettartam és varratmagasság) között, és előidézi-e egyiknek a változása a másik megváltozását, továbbá, hogy az esetleg tapasztalható függőségi viszony milyen erős, milyen szoros.

A két tulajdonság teljes függetlenségének feltétele az, hogy pl. az

$$\frac{n_{11}}{n_{01}} = \frac{n_{10}}{n} \tag{1}$$

arány teljesüljön az egyes osztálygyakoriságokra. Bevezetve a relatív gyakoriságok fogalmát ($p_{st} = \frac{n_{st}}{n}$) az (1) egyenlet átalakul

$$\frac{p_{11}}{p_{01}} = p_{10} \,. \tag{2}$$

Ilyen arány a kontingenciatáblázat alapján sok felírható. Egyik legismertebb függetlenségi formula véletlen eseményekre a (2) egyenlet általánosításával

$$p_{st} = p_{s0}\, p_{ot} \,. \tag{3}$$

Ha ez az arány nem teljesül, tehát az egyes osztálygyakoriságok nem határozhatók meg a megfelelő sor-, illetve oszlop összgyakoriságokból, akkor $p_{st} > p_{s0}p_{0t}$ esetén pozitív, $p_{st} < p_{s0}p_{0t}$ bekövetkezésekor pedig negatív asszociációról beszélhetünk. Célszerűnek látszik a függetlenséget feltételező elméleti, és a gyakorlatban mért cellagyakoriságok különbségét egy függőségi tényező meghatározásához bevezetni:

$$\delta_{st} = (p_{st})_{\text{elm.}} - p_{st} \,. \tag{4}$$

Ezzel a kontingenciatáblázat minden egyes cellájához rendelhetünk egy-egy különbség értéket. Ezek tulajdonságai [3]:

$$\begin{aligned} &\delta_{st} \neq \delta_{ts} \,, \\ &\sum_s \delta_{st} = 0 \,, \\ &\sum_t \delta_{st} = 0 \,. \end{aligned} \tag{5}$$

Ha az eltérés négyzetét az elméleti értékre vonatkoztatjuk, s ezeket a hányadosokat az egész kontingenciatáblázatra összegezzük, akkor aszimptotikusan egy χ^2 eloszlású változót kapunk. Az (1) és (4) egyenletek alapján

$$\chi^2 = \sum_s \sum_t \frac{\delta_{st}^2}{p_{st}} = n \sum_s \sum_t \frac{\left(n_{st} - \frac{n_{0t}\, n_{s0}}{n}\right)^2}{n_{0t} \cdot n_{s0}}, \tag{6}$$

vagy átrendezéssel

$$\chi^2 = n \left[\sum_s \sum_t \frac{n_{st}^2}{n_{0s}\, n_{to}} - 1 \right]. \tag{7}$$

A kontingenciatáblázat, illetve a belőle kiszámolt χ^2 szabadságfoka

$$Sz = (s-1)(t-1), \tag{8}$$

ami azt jelenti, hogy ennyi adatot lehet egymástól függetlenül felvenni ahhoz, hogy még ne sértsük meg az (5) összefüggések előírásait.

A két tulajdonság függetlenségének, illetve függőségének vizsgálata a statisztikai próbák alapján végezhető el [4, 5]. Valamely általunk megválasztott konfidencia-szinten — ami rendszerint 90, 95 vagy 99% — összehasonlítjuk a kísérleti adatokból meghatározott χ^2 értéket az eloszlás elméletileg meghatározható, és táblázatokban [3] megtalálható értékével. Ha $\chi^2 < \chi^2_{\text{elm}}$, akkor a kísérleti eredmények a választott konfidencia szinten azt bizonyítják, hogy a vizsgált két tulajdonság független egymástól; ha $\chi^2 > \chi^2_{\text{elm}}$, akkor a függetlenség feltételezését el kell vetni, a két vizsgált jellemző oksági kapcsolatban van egymással. A függőség jellemzésére kontingenciaegyüttható célszerű bevezetni, amely pl. 0 és 1 között változva %-osan adja meg a függőség mértékét. Ha az együttható értéke szélső esetben 0, akkor független a két vizsgált jellemző, ha 1, akkor 100%-os, azaz egyértelmű funkcionális kapcsolat van közöttük.

A függőség mérésére a PEARSON által javasolt

$$C = \sqrt{\frac{\varphi^2}{1+\varphi^2}} \tag{9}$$

kontingenciaegyütthatót szokás használni, ahol $\varphi^2 = \chi^2/n$ az átlagos négyzetes kontingencia. Ennek azonban az a hátránya van, hogy értéke elvileg is csak végtelen sok cella esetén érheti el az 1-et, azaz az együttható elméleti határértéke függ a cellák számától. A III. táblázat tartalmazza négyzetes kontingenciatáblázatok esetére az elméleti maximális C értékeket. Ebből a tényből az következik, hogy nem lehet összehasonlítani két különböző osztályú táblázatot, illetve az azokból kapott eredményeket. Ez az igény pedig gyakran merül fel a gyakorlatban. Ezért célszerűbbnek látszik a Csuprov-féle kontingenciaegyüttható alkalmazása:

III. táblázat

A Pearson-féle együttható elméleti értékei négyzetes kontingenciatáblázat esetén

$t = s$	C_{max}
2	0,707
3	0,816
4	0,866
5	0,894
6	0,913
7	0,926
8	0,935
9	0,943
10	0,949

$$T^2 = \frac{\varphi^2}{\sqrt{(s-1)(t-1)}}, \tag{10}$$

amely négyzetes táblázat esetén

$$T^2 = \frac{\chi^2}{n(s-1)} \tag{11}$$

formában írható. T értéke 0 és 1 közé esik; teljes függetlenség esetén 0, teljes asszociációnál pedig 1 és így jól szemlélteti a vizsgált tulajdonságok függőségi mértékét.

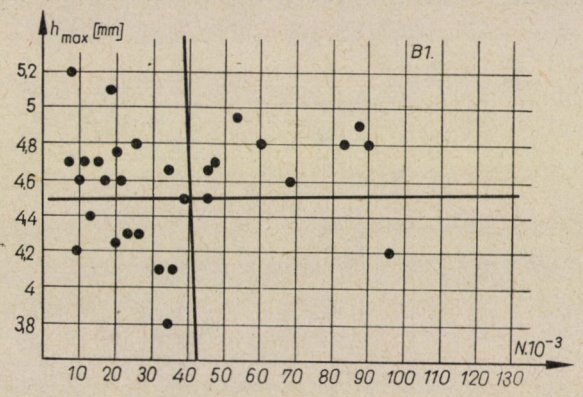
Van még egy szemléletes módszer a probléma vizsgálatához, a regresszió- és korrelációszámítás alkalmazása. Egy koordinátarendszerben ábrázolva az összetartozó értékpárokat — pl. az élettartamot és a varratmagasságot — erősen szóródó pontsokaságot kapunk. Ennek a sokaságnak számítással és szerkesztéssel is meghatározható mindkét koordinátatengelyre vonatkozó regressziós egyenese. Ezek egyenlete:

$$\begin{aligned} N &= r\frac{S_N}{S_x}(X - \bar{X}) + \bar{N}, \\ X &= r\frac{S_x}{S_N}(N - \bar{N}) + \bar{X}; \end{aligned} \tag{12}$$

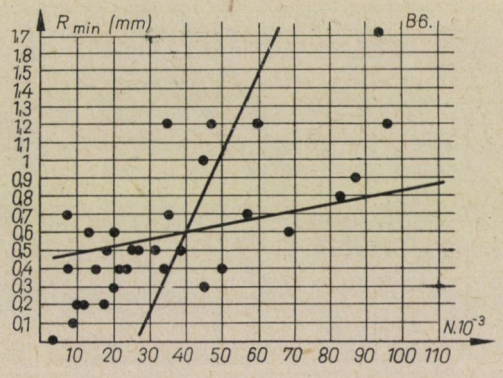
ahol N az élettartam, X az éppen vizsgált varratjellemző, S_N és S_X a szórás, r pedig a korrelációs együttható:

$$r = \frac{\sum_i (N_i - \bar{N})(X_i - \bar{X})}{\sqrt{\sum_i (N_i - \bar{N})^2 (X_i - \bar{X})^2}} \tag{13}$$

és $\overline{N}$, valamint $\overline{X}$ a minta vizsgált jellemzőinek átlagértéke. A következő ábrák ilyen regressziós egyeneseket szemléltetnek. Az 5. ábrán AlMg4 ötvözet élettartam—varratmagasság, a 6. ábrán az élettartam—lekerekítési sugár, a 7. ábrán pedig az AlZnMgTi ötvözet élettartam—excentricitás összefüggése



5. ábra. B1 vizsgálatsorozat regressziós egyenesei

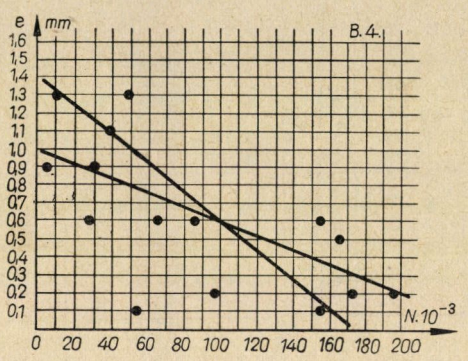


6. ábra. B6 vizsgálatsorozat regressziós egyenesei

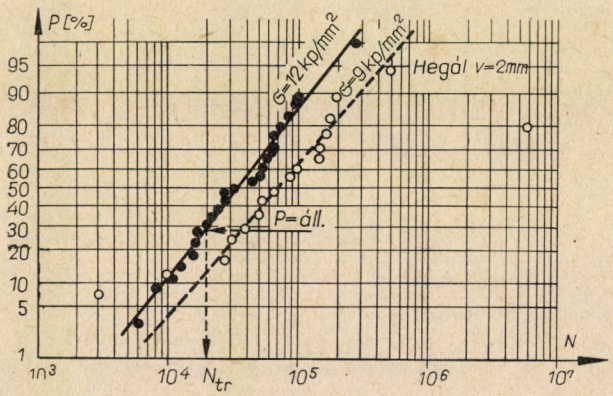
látható. Az ábrák is szemléltetik a regressziós egyeneseknek azt a tulajdonságát hogy teljes függetlenség esetén két merőleges egyenessé válnak (gyakorlatilag ilyen az 5. ábra) míg a függőség szorosabbá válásával a két egyenes egyre közelebb kerül egymáshoz (6. és 7. ábrák) s 100%-os asszociáció, vagyis egyértelmű analitikus függés esetén egy egyenesbe esnek. A 6. ábrán pozitív, a 7. ábrán pedig negatív regresszió látható, konkrétebben ez utóbbinál az excentricitás növekedése az élettartam csökkenését vonja maga után.

V. A kísérleti adatok összegyűjtésének lehetősége

Az eddigiekben hallgatólagosan feltételeztük, hogy a fárasztóvizsgálatokat állandó feszültségszinten végezzük, és az így kapott n elemű mintát soroljuk be a kontingenciatáblázatba. Már ez is nagy előny a „Bevezetés"-ben említett módszerekkel szemben, mert így egyetlenegy kísérletsorozaton az összes varrat-



7. ábra. D4 vizsgálatsorozat regressziós egyenesei



8. ábra. C és *D* minták összevonását szolgáló élettartameloszlások

paraméter hatása kiértékelhető. (Nem is említve azt az előnyt, hogy így tényleges varratokat vizsgálunk, míg amúgy csak kimunkált varratutánzatokat.)

Van azonban egy még nagyobb lehetőség: a valószínűségelmélet néhány megfontolását felhasználva különböző feszültségszinten végzett fárasztóvizsgálatok eredményei is összegyűjthetők ilyen célra. Az összevonás elvi alapját az a tény adja, hogy az állandó törési valószínűségi kifáradási görbék nem metszhetik egymást. Más szóval az a próbatest, ami σ_1 feszültségszinten a legkisebb élettartamot eredményezte valamely mintából, a σ_2 szinten is — ha

a mintát ott fárasztottuk volna — a leghamarább tört volna el. Tehát két különböző feszültségszinten felvett élettartameloszlás „összetolható", azaz az egyik eloszlás adatai áttranszformálhatók a másik eloszlásba, az egyes kísérleti adatok törési valószínűségének állandó értéken tartásával [6]. Így született meg a C és D eredmények összevonásából — minthogy azok ugyanabból az anyagból (hegesztési szériából) kimunkált próbatesteket tartalmaztak — a növelt elemszámú F minta, amely éppen nagyobb elemszáma révén alkalmasabb általánosabb következtetések levonására. A két minta összevonását a 8. ábrán megrajzolt élettartameloszlások alapján végeztük el, állandó értéken tartva az egyes pontok törési valószínűségét. (A $\sigma = 9$ kp/mm^2 feszültségszintű eloszlás pontjait vízszintesen a $\sigma = 12$ kp/mm^2 szintű egyenesre tolva, megállapítható az N_{tr} transzformált élettartam.)

IV. Az eredmények értékelése

Mind az öt kísérletsorozatból és az összevont F mintából 6—6 kontingenciatáblázatot szerkesztettünk (a IV. táblázat példaként az A5 jelűt mutatja).

IV. táblázat

A5 jelű vizsgálatsorozat kontingencia táblázata

$N/10^3$ \ α_{min}	135°-ig	135÷140°	140° felett	A5
80 alatt	5	—	3	8
80—200	3	7	1	11
200 felett	3	2	3	8
—	11	9	7	27

A 7. összefüggés alapján meghatároztuk a χ^2 értékeket. A számítás menetét, szintén az A5 mintára, az V. táblázat szemlélteti.

A VI. táblázat az összes eredményt egyesíti a hat minta mind a hat paraméterére. Minden egyes kontingenciatáblázat eredményeként megadtuk χ^2 és φ^2 értékeit. Jelen esetben a Csuprov-féle T együttható a φ^2-ből kettővel való osztással számítható. Minden kontingenciatáblázat szabadságfoka 4, így a χ^2_{elm} értékek táblázatosan összefoglalhatók különféle konfidenciaszintekre. A VII. táblázat tartalmazza ezeket az elméleti értékeket. ε a valószínűségi táblázatokban alkalmazott mutató, amely a konfidencia százalékos értékéből a következőképpen számolható:

$$\varepsilon = \frac{100 - P_{konf}}{100} . \tag{14}$$

V. táblázat

χ^2 meghatározása táblázatos számítással

n_{st}	n_{st}^2	$n_{s0} \cdot n_{0t}$	$\frac{n_{st}^2}{n_{s0} \cdot n_{0t}}$
5	25	88	0,2842
—	—	72	—
3	9	56	0,1615
3	9	121	0,0745
7	49	99	0,4950
1	1	77	0,0129
3	9	88	0,1022
2	4	72	0,0555
3	9	56	0,1615
		$\sum \frac{n_{st}^2}{n_{s0} \cdot n_{0t}} =$	1,3473
		$\chi^2 =$	9,35

VI. táblázat

Összesítő táblázat a hat minta számolt jellemzőire

	h_{max} (1.) φ^2	χ^2	l (2.) φ^2	χ^2	S_{max} (3.) φ^2	χ^2	e (4.) φ^2	χ^2	α_{min} (5.) φ^2	χ^2	R_{min} (6.) φ^2	χ^2
A $n = 27$	0,0995	2,69	0,2343	6,32	0,1415	3,82	0,1170	3,26	0,3473	9,35	0,1400	3,78
B $n = 32$	0,1259	4,03	0,0479	1,53	0,1386	4,44	0,2674	8,56	0,4320	13,82	0,4553	14,58
C $n = 26$	0,0937	2,44	0,2693	7,00	0,1281	3,32	0,1238	3,22	0,3080	8,00	0,3566	9,28
D $n = 16$	0,0859	1,37	0,3258	5,22	0,3784	6,05	0,6667	10,68	0,3752	6,00	0,5629	9,02
E $n = 12$	0,2032	2,44	0,2810	3,38	0,3878	4,65	0,1951	2,34	0,0749	0,90	0,0749	0,90
F $n = 42$	0,0386	1,62	0,2349	9,86	0,1077	4,5	0,2489	10,50	0,2575	10,80	0,4024	16,9
Átlagos φ^2	0,1293		0,2786		0,2544		0,2848		0,3440		0,3836	

A VI. táblázat szemléletesebbé tételére azokat az eredményeket, amelyek már 70%-os megbízhatósági szinten ellentmondtak a függetlenség feltételének (tehát $\chi^2 > \chi^2_{elm}$), vastagabb vonallal kereteztük be, azokat pedig, amelyek 90%-os, vagy annál magasabb megbízhatósággal vetik el a függetlenséget, bevonalkáztuk.

VII. táblázat

Különböző konfidenciaszintekhez tartozó χ^2_{elm} értékek

$[Sz = (3 - 1) \cdot (3 - 1) = 4]$

$P_{kont}\%$	50	70	90	95	99
ε	0,5	0,3	0,1	0,05	0,01
χ^2_{elm}	3,35	4,87	7,78	9,48	13,27

A táblázat első rátekintésre mutatja, hogy az 1. és 3. oszlop eredményei nem mutatnak függőségi kapcsolatot az élettartammal, az 5. és 6. oszlopoknál viszont erősebb kapcsolat észlelhető. Ha a vizsgált hat varratjellemzőt az élettartamra gyakorolt hatásuk alapján rangsoroljuk a táblázatban feltüntetett átlagos φ^2 figyelembevételével, a következő rangsort kapjuk:

$$1.\, R_{min}\,,\ 2.\, \alpha_{min}\,,\ 3.\, e\,,\ 4.\, l\,;\ S_{max}\,,\ 6.\, h_{max}\,.$$

Bár a kis mintaelemszám miatt nem lehet általánosítani, érdekes megállapítani, hogy a ragasztóval bekent varratoknál megszűnt az egyébként erős tendenciával jelentkező R_{min} és α_{min} hatása. Ezeket az értékeket nem is vettük figyelembe a φ^2 átlagértékeinek meghatározásakor. A fent említett jelenség összhangban van a 4. ábrán látható eredménnyel: a műanyagragasztó az erős élettartamcsökkentő paraméterek hatásának megszüntetésével jelentős élettartamnövekedést eredményezett.

A számokon túlmenően érdemes megfigyelni, hogy az A6 vizsgálatnál, ahol az egyébként erősen jelentkező R_{min} hatása elmaradt, a lekerekítési sugarak abszolút értékben nagyok voltak, és ez magyarázza a viszonylagos függetlenséget R_{min} és N között. Ugyanez állapítható meg A4 esetében is; a vizsgált próbatestek excentricitása jóval gyengébb volt a többi szériánál, így a hatása sem jelentkezett. Ezek a jelenségek arra figyelmeztetnek, hogy még az ilyen matematikailag egzakt módszernél sem szabad az értékelést mechanikusan, minden műszaki ellenőrzés nélkül végezni, mert könnyen téves megállapításra juthatunk.

A próbatest szélességének hatását a mért adatok nem tudják minden zavaró hatás nélkül tükrözni, mivel ez a méret nem volt véletlenül alakuló valószínűségi változó, ui. a próbatesteket megmunkáláskor igyekeztek a névleges méretre elkészíttetni, és ettől az eltérés viszonylag kicsiny volt.

Mindezekből megállapítható, hogy a varratok lemunkálása megszünteti R_{min} és α_{min} élettartamcsökkentő hatását, és ennek köszönhető a lemunkált varratok jobbra tolódott élettartameloszlása (2—4. ábrák).

VII. Összefoglalás

A három alumíniumötvözettel több mint száz próbatesten végzett fárasztóvizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy

a) vékony (2 mm vastag) hegesztett lemezek élettartamát a varrat geometriai jellemzői közül leginkább a varrathernyó átmeneti lekerekítési sugara és szöge befolyásolja, amelyek erős élettartamcsökkentő tényezők lehetnek;

b) a varratmagasság és varratszélesség hatása nem mutatkozott számottevőnek;

c) a műanyagragasztóval bekent varratokon megszűnt az átmeneti szög és lekerekítési sugár hatása, ezért jelentős élettartamnövekedés volt tapasztalható;

d) az ilyen varratvizsgálatokat a fárasztóvizsgálatokkal kapcsolatos összes értékeléshez hasonlóan csak a matematikai statisztika módszereivel lehet megbízhatóan elvégezni: a függőség mérőszámául a Csuprov-féle együttható alkalmazható;

e) a mechanikus, számszerű értékelésen túlmenően nem hagyható figyelmen kívül az eredmények gondos mérlegelése, mert ellenkező esetben könnyen szem elől téveszthetjük a lényeges törvényszerűségeket.

IRODALOM

1. MATOLCSY—MARTÉNYI: Fárasztóvizsgálatok statisztikus értékelése. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* **35** (1965), 187—208.
2. WEIBULL, W.: Statistical Representation of Fatigue Failures in Solids. *Acta Polytechn.* (1949), Mech. Eng. Series.
3. YULE—KENDALL: Bevezetés a statisztika elméletébe. Közgazdasági és Jogi Kiadó, Budapest 1964.
4. MATOLCSY: Összehasnolító fárasztóvizsgálatok AlMgSi típusú ötvözettel. *Gép* **3** (1966), 88—94.
5. PRÉKOPA A.: Valószínűségszámítás. Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1962.
6. WEIBULL, W.: New Method for the Statistical Treatment of Fatigue Data. *SAAB* (1954), TN 30.

BELSŐÉGÉSŰ MOTOROKHOZ NEMLINEÁRIS ELEMMEL KAPCSOLT RENDSZER TORZIÓS REZGÉSEIRŐL

CSÓKA JÁNOS
GANZ-MÁVAG MOTORFEJLESZTÉSI IRODA

[Beérkezett 1966. április 5-én]

A dolgozat a nemlineáris elemmel ellátott rendszer torziós rezgésszámításánál fellépő nehézségeket hidalja át úgy, hogy a nemlineáris elem rugókarakterisztikáját a harmonikus linearizálás módszere szerint linearizálja. A linearizált rugóállandó kifejezésében a lengési amplitúdót a mozgásegyenletekben, mint ismeretlen mennyiséget szerepelteti. A mozgásegyenletek és — belsőégésű motorok esetén — a gerjesztések ismeretében olyan egyenletet állít fel, amelynek segítségével állandósult lengési állapotban az ismeretlenként szerepeltetett amplitúdót a komplex számsíkon grafikusan meg lehet határozni.

A belsőégésű motorokhoz kapcsolt erőátviteli szerkezeteknél a motor és az erőátviteli rész (sebességváltó, generátor stb.) között — nagyobb teljesítményű egységeknél — mindig alkalmaznak valamilyen nemlineáris karakterisztikájú gépelemet, rendszerint gumidugós tengelykapcsolót, aminek többek között az is a szerepe, hogy a főtengely felől érkező gerjesztő hatásokat csökkentse és az elem mögötti alkatrészeket a káros igénybevételtől megkímélje.

A nemlineáris elemmel ellátott rendszerek torziós rezgéseinek vizsgálata tetemes nehézséggel jár, mert a nemlineáris karakterisztikájú rugót a rendszer vizsgálata nélkül előre megválasztott lineáris karakterisztikájú pótrugóval helyettesíteni nem lehet, mivel nem ismeretes az a tartomány, amelyen belül a lengés végbemegy.

A következőkben a rendszer állandósult torziós rezgéseinek számítására, egy — tudomásunk szerint új, de eredményeit tekintve nem ellenőrzött — közelítő eljárást mutatunk be.

Az eljárás a nemlineáris karakterisztikájú rugót a harmonikus linearizálás [1—3] segítségével linearizálja. A linearizálás során kapott Fourier-sor tagjai közül csupán az alapharmonikusokat használja fel, mert feltételezi, hogy a magasabbrendű tagok csillapítása a rendszer lineáris tagjain nagy, és hatásuk elhanyagolható. A linearizált rugóállandó kifejezésében a lengési amplitúdót, mint ismeretlent szerepelteti és a rendszerre felírt mozgásegyenleteket úgy rendezi, hogy végül — belsőégésű motor esetén — a rendszeradatok és a gerjesztések segítségével az ismeretlenként szerepeltetett amplitúdót meg tudja határozni. Az amplitúdó ismeretében a linearizált rugóállandó számszerűen meghatározható, s így a teljes rendszer számítható.

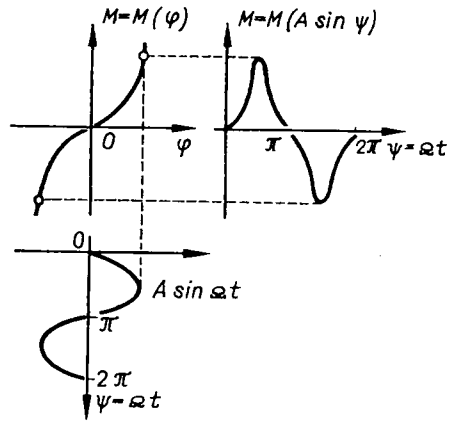
A harmonikus linearizálásnál abból indulunk ki, hogy a nemlineáris elem M nyomatékkarakterisztikája a φ szögelfordulás függvényében ismert (1. ábra).

$$M = M(\varphi). \tag{1}$$

A lengés állandósult állapotában feltételezzük, hogy a nemlineáris elem szögelfordulása

$$\varphi = A \sin \Omega t \tag{2}$$

törvényszerűség szerint változik, ahol A a lengés amplitúdója, Ω pedig egy tetszőlegesen választott szögsebesség.



1. ábra

A φ szögelforduláshoz a nemlineáris elemen $\Omega t = \psi$ bevezetésével — egy

$$M = M(A \sin \psi) \tag{3}$$

nyomatékváltozás tartozik, amelyet Fourier-sorba fejtve, és a sorból csupán az alapharmonikusokat felhasználva, a nyomatékváltozás függvényét az

$$M(A \sin \psi) \cong A_F \sin \psi + B_F \cos \psi = y_1 \tag{4}$$

sorral pótoljuk, ahol

és

$$A_F = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} M(A \sin \psi) \cdot \sin \psi \cdot d\psi$$
$$B_F = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} M(A \sin \psi) \cdot \cos \psi \cdot d\psi . \tag{5}$$

A (4) kifejezést átalakítva és a

$$q = \frac{A_F}{A}, \quad \text{ill.} \quad q' = \frac{B_F}{A},$$

valamint a

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} = p$$

differenciál-operátor jelölést bevezetve

$$y_1 = \frac{A_F}{A} A \sin\psi + \frac{B_F}{A\Omega} \cdot \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(A \sin\psi) =$$

$$= \left(q + \frac{q'}{\Omega} p\right) A \sin\psi = \left(q + \frac{q'}{\Omega} p\right) \cdot \varphi \tag{6}$$

kifejezést kapjuk, ahol

$$q = \frac{q'}{A} p = F \tag{7}$$

a linearizált rugóállandó, amely mint látható, az ismeretlen A amplitúdó függvénye.

Ha például

$$M(\varphi) = m\varphi + n\varphi^3,$$

akkor, mivel $q^1 = 0$, a linearizált rugóállandó, úgy

$$F = q = \frac{m}{\pi A} \int_0^{2\pi} A \sin^2\psi \, \mathrm{d}\psi + \frac{n}{\pi A} \int_0^{2\pi} A^3 \sin^4\psi \, \mathrm{d}\psi = m + \frac{3}{4} n A^2 .$$

A vizsgálat tárgyát képező rendszerben (2. ábra) ismeretlen amplitúdónak a nemlineáris elem gerjesztett oldalán levő i-edik tömeg lengésamplitúdóját választjuk, és erről a tömegről feltételezzük, hogy a (2) egyenlethez hasonlóan a

$$\varphi_i = A_i \sin \Omega t \tag{8}$$

törvényszerűség szerint leng. A továbbiakban a rendszerre felírt mozgásegyenletek segítségével ennek az amplitúdónak az értékét határozzuk meg.

A rendszer egy k-adik ($k = 1, 2, \ldots, i+1$) elemének mozgásegyenlete, ha Θ_k a tehetetlenségi nyomatékot, k_k a csillapítást, φ_k az elcsavarodást, c_k a rugóállandót és B_k a gerjesztést jelenti, úgy

$$\Theta_k \ddot{\varphi}_k + k_k \dot{\varphi}_k = c_k(\varphi_{k-1} - \varphi_k) - c_{k+1}(\varphi_k - \varphi_{k+1}) + B_k,$$

ami az operátoros jelölésmódot fenntartva és az egyenletet átrendezve

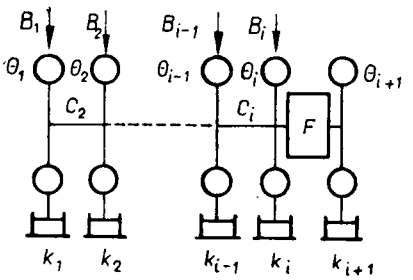
$$-c_k \cdot \varphi_{k-1} + (\Theta_k p^2 + k_k p + c_k + c_{k+1})\varphi_k - c_{k+1} \cdot \varphi_{k+1} = B_k \tag{9}$$

alakú. Itt $c_1 = 0$, $c_{k+1} = F$, $c_{i+2} = 0$ és $B_{i+1} = 0$.

A jelölésmódból adódó egyszerűsítés miatt az egyes tömegek mozgásegyenletét a (9) alapján írjuk fel a következő módon:

$$\begin{aligned}
a_{11}\varphi_1 + a_{12}\varphi_2 &= B_1\,,\\
a_{21}\varphi_1 + a_{22}\varphi_2 + a_{23}\varphi_3 &= B_2\,,\\
a_{32}\varphi_2 + a_{33}\varphi_3 + a_{34}\varphi_4 &= B_3\,,\\
&\cdots\\
a_{i,i-1}\varphi_{i-1} + (a_{i,i} + F)\varphi_i - F\cdot\varphi_{i+1} &= B_i\,,\\
-F\cdot\varphi_i + (a_{i+1,i+1} + F)\varphi_{i+1} &= 0\,,
\end{aligned} \tag{10}$$

ahol a_{jk} valamilyen állandó, illetve az állandók és a p operátor ismert függvénye.



2. ábra

A (10) egyenletrendszer olyan tulajdonsággal rendelkezik, hogy ha φ_i-re megoldjuk általánosságban, egy olyan egyenletet kapunk, amelynek egyik oldalán φ_i és egy F és p-től függő, ismert $Q(F,p)$ függvény szorzata, a másik oldalán pedig az egyes gerjesztések és a p operátortól függő ismert $\delta_k(p)$ függvények szorzata áll; tehát

$$Q(F,p)\cdot\varphi_i = \sum_1^i \delta_k(p)\cdot B_k\,. \tag{11}$$

Az állítás igazolására a (10) egyenletből fejezzük ki a φ_i és φ_{i+1} elmozdulásokat és képezzük ezek különbségét. Mint ismeretes

$$\varphi_i - \varphi_{i+1} = \frac{D_i - D_{i+1}}{D} = \frac{\Delta D_{i,i+1}}{D}\,, \tag{12}$$

ahol D a rendszer determinánsa; a D_i és D_{i+1} pedig olyan determinánsok, amelyeket úgy kapunk, hogy a D-ben a φ_i, ill. a φ_{i+1} ismeretlenek együtthatóiból $a_{i,j}$ és a_{i+1} álló oszlopot, a B_k gerjesztések oszlopával helyettesítjük. Csak a $\Delta D_{i,i+1}$ determinánskülönbséget vizsgálva a

$$\Delta D_{i,i+1} = \begin{vmatrix} a_{11} & 0 & B_1 & 0 & \\ a_{21} & 0 & B_2 & 0 & \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ & a_{i,i-1} & B_i & -F & \\ & 0 & & 0\,(a_{i+1,i+1}+F) & \end{vmatrix} -$$

$$- \begin{vmatrix} a_{11} & 0 & 0 & B_1 & \\ a_{21} & 0 & 0 & B_2 & \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ & a_{i,i-1} & (a_{i,i}+F) & B_i & \\ & 0 & -F & 0 & \end{vmatrix} =$$

$$= \begin{vmatrix} a_{11} & 0 & B_1 & 0 & \\ a_{21} & 0 & B_2 & 0 & \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ & a_{i,i-1} & B_i & a_{i,i} & \\ & 0 & 0 & a_{i+1,i+1} & \end{vmatrix} \qquad (13)$$

végeredményt kapjuk. Ugyanis, ha a kivonandó determinánsban az utolsó két oszlopot felcseréljük, a kivonás helyett két olyan determinánst kell összeadnunk, amelyben az utolsó oszlop kivételével, minden elem megegyezik. Az utolsó oszlopban az egyes elemek összevonását elvégezve, kapjuk a (13) alatti eredményt, amiből látható, hogy a determinánsok különbsége nyilván felírható az általános

$$\Delta D_{i,i+1} = \sum_{1}^{i} \delta_k(p) \cdot B_k$$

alakban is, mert az F-et nem tartalmazza.

A (10) egyenletrendszer utolsó egyenletéből azonban

$$\varphi_{i+1} = \frac{F}{a_{i+1,i+1}+F} \cdot \varphi_i\,, \qquad (14)$$

amit a (12) egyenletbe téve, rendezés után azt kapjuk, hogy

$$D\left(1 - \frac{F}{a_{i+1,i+1}+F}\right)\varphi_i = \sum_{1}^{i} \delta_k(p) \cdot B_k\,.$$

Ez pedig értelemszerűen a (11) egyenlettel azonos. Így az ott kifejtettek fennállnak.

Vizsgáljuk meg ezekután a (11) egyenlet jobb oldalán levő gerjesztéseket. Belsőégésű motoroknál az egyes tömegekre ható B_1, B_2, ... stb. gerjesztések amplitúdói azonosak, csupán a főtengelyalaktól és a gyújtássorrendtől függő, meghatározott fázisszöggel vannak egymástól eltolva. Ha B a gerjesztés amplitúdója, akkor ($k = 1, 2, \ldots, i$)

$$B_k = B \sin(\Omega t + \gamma + \alpha_k) = \\ = B\left[\sin(\Omega t + \gamma) \cdot \cos \alpha_k + \cos(\Omega t + \gamma) \cdot \sin \alpha_k\right], \tag{15}$$

ahol α_k ismert fázisszögek; $\alpha_1 = 0$, és γ a φ_i elcsavarodáshoz viszonyított ismeretlen fázisszög.

Minthogy a gerjesztések kifejezéseiben szereplő koszinuszos tag felírható a

$$\cos(\Omega t + \gamma) = \frac{p}{\Omega} \sin(\Omega t + \gamma)$$

alakban, így

$$\sum_1^i \delta_k(p) \cdot B_k = B \sin\left(\Omega t + \gamma\right) \cdot \left(\cos \alpha_k + \frac{p}{\Omega} \sin \alpha_k\right) \cdot \sum_1^i \delta_k(p) = \\ = S(p) \cdot B \sin(\Omega t + \gamma),$$

ahol $S(p)$ a p operátor ismert függvénye.

Tekintve azonban, hogy

$$B \sin(\Omega t + \gamma) = \frac{B}{A_i}\left(\cos \gamma + \frac{p}{\Omega} \sin \gamma\right) \cdot A_i \sin \Omega t = \\ = \frac{B}{A_i}\left(\cos \gamma + \frac{p}{\Omega} \sin \gamma\right) \cdot \varphi_i,$$

azért a (11) egyenlet a

$$\frac{Q(F,p)}{S(p)} \cdot \varphi_i = \frac{B}{A_i}\left(\cos \gamma + \frac{p}{\Omega} \sin \gamma\right) \cdot \varphi_i \tag{16}$$

alakra hozható.

Mivel a rendszernek csupán az állandósult lengési állapotát vizsgáljuk, a (16) egyenletet a szabályozástechnikában használatos frekvenciafüggvénnyé alakítjuk, amihez, mint ismeretes [3, 161. o.] p helyére $j\Omega$-t kell helyettesítenünk.

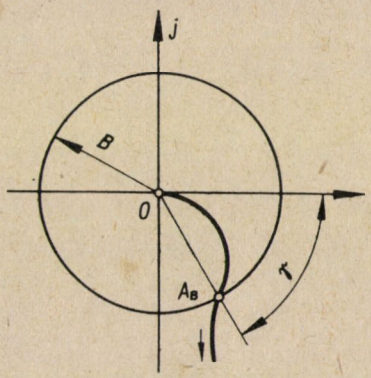
Felhasználva azt, hogy

$$\cos \gamma + j \sin \gamma = e^{j\gamma},$$

a (16) egyenlet végleges alakja φ_i-vel való egyszerűsítés után:

$$\frac{Q(F, j\Omega)}{S(j\Omega)} \cdot A_i = Be^{j\gamma}, \tag{17}$$

ahonnan az ismeretlen A_i amplitúdó és a γ fázisszög meghatározható. Az egyenletet ugyanis komplex számsíkon vizsgálva, jobb oldalon B sugarú körrel ábrázolható. Az egyenlet bal oldalán szereplő függvénybe pedig változó A_i



3. ábra

értéket helyettesítsünk mindaddig, míg a függvény görbéje a kört metszi (3. ábra). A metszéspontnál levő γ_B szög és a metszéspontban szereplő A_B amplitúdó a keresett értékek, amelyek ismeretében a (7)-ből a linearizált rugóállandó számítható, és a rendszer további vizsgálata a szokásos módszerekkel elvégezhető.

IRODALOM

1. *Попов, Э. П.—Палтов:* Приближенные методы исследования автоматических систем. Физматгиз, Москва 1960.
2. Chestnut, H.—Mayer, R.: Servomechanisms and regulating systems design; Vol. II.
3. Raven, F. H.: Az önműködő szabályozás. Műszaki Kiadó, Budapest 1965.

OPTIMÁLIS KASZKÁDSZABÁLYOZÓK TÖBBVÁLTOZÓS, FOLYAMATOS ÉS SZAGGATOTT MŰKÖDÉSŰ, KORLÁTOZÁSOS SZABÁLYOZÁSI RENDSZEREKRE

CSÁKI FRIGYES
A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA LEVELEZŐ TAGJA

[Beérkezett 1967. február 15-én]

A cikk többváltozós, folyamatos és szaggatott működésű, félig-szabad alakzatú, korlátozásos rendszerekre a Wiener—Newton-féle optimális méretezést tárgyalja. Stacionárius, ergodikus, sztochasztikus folyamatokra explicit képleteket ad meg. Kritériumként az ideális és tényleges kimenőjelek különbségeinek, vagyis a hibajelek négyzetes középérték-összegének minimalizálását használja. Korlátozásként a módosított jellemzők négyzetes középérték-összegének korlátozását veszi számba.

I. Bevezetés

Állandó paraméterű folyamatos, illetve szaggatott működésű, lineáris szabályozási rendszereket többnyire a következő egyszerűsítő feltételekkel méretezik: a sztochasztikus jeleket stacionáriusoknak és ergodikusoknak tételezik fel, az optimalizálás kritériumaként pedig a hibajel négyzetes középértékének minimalizálását veszik.

Az optimalizálás megoldható az [1]-ben ismertetett módszerek valamelyikével. Ugyanott a módszerek részletes tárgyalása is megtalálható, ezért erre itt nem térünk ki. A szerző egy egyszerű és közvetlen módszert javasolt [6—7]. Ennek az egyszerűsített módszernek különösen akkor mutatkozik meg az előnye, ha egyszerűbb alakzatról bonyolultabbakra, pl. teljesen szabad alakzatról félig-szabad alakzatra, vagy korlátozásos félig-szabad alakzatra, illetve, ha egyváltozós rendszerekről többváltozós rendszerekre térünk át.

A többváltozós rendszerek optimális szintézisét először AMARA [8] oldotta meg a mátrixszámítás felhasználásával.

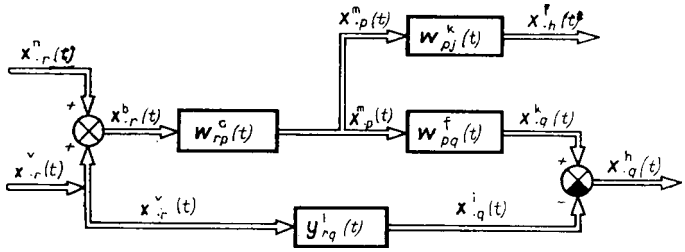
A szerző ugyancsak a mátrixszámítást alkalmazva általánosította az egyszerűsített módszert többváltozós folyamatos [13, 15, 18] és szaggatott [32, 33] működésű rendszerekre is. Az egyszerűsített módszer elvének segítségével a félig-szabad alakzatok legbonyolultabb esetei korlátozások figyelembevételével is tárgyalhatók. Ezekre — tudomásunk szerint — eddig a többváltozós, folyamatos és szaggatott működésű rendszerekkel foglalkozó irodalom teljesen általánosan nem tért ki [18, 33]. E cikk összegezi az elért eredményeket, s egyrészt megmutatja, hogyan kaphatók meg az egyes speciális esetek a legáltalánosabb esetből, másrészt a folyamatos és tisztán szaggatott működésű rendszerek közötti hasonlóságra is felhívja a figyelmet.

YOULA cikkének [9] megfelelően feltesszük, hogy a teljesítménysűrűség-spektrum mátrix spektrum faktorizációja mind a folyamatos, mind a szaggatott működésű rendszerekre elvégezhető. Megjegyezzük, hogy esetünkben a spektrum faktorizáció kissé bonyolultabb lesz, ugyanis egy vagy több paraméter is szerepel a faktorizálandó teljesítménysűrűség-spektrum mátrixban.

A korlátozásos félig-szabad alakzatnak megfelelően úgy vesszük, hogy a szabályozási rendszer egy része rögzített, pl. ez a szabályozott szakasz, másik részét, pl. a szabályozót pedig a hibajel minimális négyzetes középérték kritériumnak megfelelően kell méretezni, a hibát a tényleges és az ideális (vagy kívánt) kimenőjelek között képezve. A többváltozós rendszerek esetében ez a kritérium a négyzetes hibaösszetevők összegének minimalizálását jelenti. Egyszerűség kedvéért először még azt is feltesszük, hogy éppen a szabályozó és a szabályozott szakasz között ható módosított jellemzők közvetlenül vagy közvetve korlátozottak.

II. Javasolt módszer folyamatos működésű rendszerekre

A fogalmak jelölésére a továbbiakban dupla indexes betűket használunk. Ha mindkét index változó, akkor mátrix, ha az egyik index rögzített vagy hiányzik és csak a másik változik, akkor vektor, s végül, ha mindkét index rögzített, akkor skalár a jelölt fogalom. Az oszlopvektornak az első, a sorvektornak a második indexe változik (a másik rögzített marad).



1. ábra

A feladat vázlata az 1. ábrán látható. Feltételezésünk szerint a szabályozási rendszer valamennyi jele stacionárius, ergodikus sztochasztikus folyamat. Az $\mathbf{x}^{v}_{\cdot r}(t)$ a hasznos vezetőjel összetevőkből képzett, $\mathbf{x}^{n}_{\cdot r}(t)$ pedig a zavaró zaj összetevőkből képezett sorvektor ($r = 1, \ldots, R$). Összegük az $\mathbf{x}^{b}_{\cdot r}(t)$ bemenőjel sorvektora:

$$\mathbf{x}^{b}_{\cdot r}(t) = \mathbf{x}^{v}_{\cdot r}(t) + \mathbf{x}^{n}_{\cdot r}(t).$$

A teljes bemenőjelek először a $\mathbf{w}^{c}_{rp}(t)$ ($r = 1, \ldots, R$; $p = 1, \ldots, P$) súlyfüggvényű kaszkádszabályozóba kerülnek. A szabályozó kimenőjelei

a módosított jellemzők. Ezeket komponenseknek tekintve a módosított jellemzők $\mathbf{x}^{\mathrm{m}}_{.p}(t)$ $(p = 1, \ldots, P)$ sorvektorát képezhetjük. Feltételezzük, hogy valamennyi módosított jellemző korlátozásnak van alávetve, mégpedig általában közvetve. Képezzünk ezért egy korlátozási súlyfüggvény mátrixot: $\mathbf{w}^{\mathrm{k}}_{pj}(t)$ $(p = 1, \ldots, P;\ j = 1, \ldots, J)$. A kimenőjelek $\mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{.j}(t)$ $(j = 1, \ldots, J)$ sorvektora a közvetve korlátozott jellemzőket jelenti.

Tegyük fel, hogy a közvetett jellemzők négyzetes középértéke korlátozott. Ez a feltétel, az ún. *korlátozási egyenlőtlenség* a következőképpen fejezhető ki:

$$\sum_D \overline{[\mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{j.}(t)\, \mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{.j}(t)]} = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} \sum_D \overline{[\mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{j.}(t)\, \mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{.j}(t)]}\, dt = \sum_D [\varphi^{\mathrm{ll}}_{jj}(0)] \leq \sigma^2. \qquad (1)$$

Itt $\mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{j.}(t)\, \mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{.j}(t)$ egy, az $\mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{j.}(t)$ oszlop- és $\mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{.j}(t)$ sorvektorokból mátrixszorzással nyert szimmetrikus mátrixot jelent. A mátrix főátlóban levő elemeinek összegét, a mátrix *nyomát* pedig $\sum_D$ jelöli. Ez utóbbi — amint az (1) képletből látszik — egy zérus eltolási idejű korreláció mátrixszal is kifejezhető. Ismert, hogy a korlátozási egyenlőtlenség kifejezhető a teljesítménysűrűség-spektrum mátrixszal is:

$$\sum_D \overline{[\mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{j.}(t)\, \mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{.j}(t)]} = \sum_D [\varphi^{\mathrm{ll}}_{jj}(0)] = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \sum_D [\Phi^{\mathrm{ll}}_{jj}(s)]\, ds \leq \sigma^2, \qquad (2)$$

ahol $s = j\,\omega$ és $j, j' = 1, \ldots, J$.

Visszatérve az 1. ábrához látható, hogy a módosított jellemzők a rendszer rögzített részébe, azaz a szabályozott szakaszba lépnek be, s ez utóbbi kimenőjelei a szabályozott jellemzők. A szabályozott szakaszt a $\mathbf{w}^{\mathrm{f}}_{pq}(t)$ $(p = 1, \ldots, P;\ q = 1, \ldots, Q)$ súlyfüggvény mátrix képviseli.

A szabályozott jellemzőktől, mint összetevőkből megalkothatjuk az $\mathbf{x}^{\mathrm{k}}_{.q}(t)$ $(q = 1, \ldots, Q)$ sorvektort. A hiba $\mathbf{x}^{\mathrm{h}}_{.q}(t)$ sorvektora pedig nem más, mint az ideális vagy kívánt $\mathbf{x}^{\mathrm{i}}_{.q}(t)$ és a tényleges $\mathbf{x}^{\mathrm{k}}_{.q}(t)$ kimenőjel vektorkülönbsége. Ha szükséges, akkor az $\mathbf{x}^{\mathrm{i}}_{.q}(t)$ ideális kimenőjel vektor az $y_{rq}(t)$ fizikailag nem feltétlenül megvalósítható súlyfüggvény mátrix segítségével az $\mathbf{x}^{\mathrm{v}}_{r.}(t)$ hasznos jelvektorból állítható elő.

Tekintsük minimalizálási kritériumnak a hibajelek négyzetes középértékének összegét. Ez az $\mathbf{x}^{\mathrm{h}}_{q.}(t)$ oszlop és $\mathbf{x}^{\mathrm{h}}_{.q}(t)$ sorvektorokból mátrixszorzással képzett mátrix nyomának középértéke. Nyilvánvalóan kifejezhető a megfelelő korreláció vagy teljesítménysűrűség-spektrum mátrix segítségével is:

$$\begin{aligned} \sum_D [\mathbf{x}^{\mathrm{h}}_{q.}(t)\, \mathbf{x}^{\mathrm{h}}_{.q}(t)] &= \lim \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} \sum_D [\mathbf{x}^{\mathrm{h}}_{q.}(t)\, \mathbf{x}^{\mathrm{h}}_{.q}(t)]\, dt = \\ &= \sum_D [\varphi^{\mathrm{hh}}_{q'q}(0)] = \frac{1}{2\pi j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \sum_D [\Phi^{\mathrm{hh}}_{q'q}(s)]\, ds. \end{aligned} \qquad (3)$$

A Lagrange-féle feltételes szélsőérték-számítást alkalmazva feladatunk a

$$\sum_D [\mathbf{x}^{\mathrm{h}}_{q\cdot}(t)\,\mathbf{x}^{\mathrm{h}}_{\cdot q}(t)] + \lambda \sum_D [\mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{j\cdot}(t)\,\mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{\cdot j}(t)] = \sum_D [\mathbf{x}^{\mathrm{h}}_{q\cdot}(t)\,\mathbf{x}^{\mathrm{h}}_{\cdot q}(t) + \\ + \lambda\,\mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{j\cdot}(t)\,\mathbf{x}^{\mathrm{l}}_{\cdot j}(t)] = \sum_D [\varphi^{\mathrm{hh}}_{q'q}(0) + \lambda\varphi^{\mathrm{ll}}_{j'j}(0)] = \sum_D \varphi_{q'q}(0,\lambda) \tag{4}$$

kifejezés minimalizálására redukálódik, amely a

$$\sum_D \varphi_{q'q}(0,\lambda) = \frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{j\infty} \sum_D \left[\Phi^{\mathrm{hh}}_{q'q}(s) + \lambda\Phi^{\mathrm{ll}}_{j'j}(s)\right] ds \tag{5}$$

alakban is írható. Feladatunk tehát az (5) összefüggés jobb oldalán álló integrál minimalizálása, más szavakkal az eredő teljesítménysűrűség-spektrum mátrix

$$\Phi_{q'q}(s,\lambda) = \Phi^{\mathrm{hh}}_{q'q}(s) + \lambda\Phi^{\mathrm{ll}}_{j'j}(s) \tag{6}$$

minimalizáló nyomát kell megtalálni, amely az $s = j\omega$ változó és a λ paraméter függvénye. Természetesen a (6) egyenlet mindkét teljesítménysűrűség-spektrum mátrixa csak s^2 és ω^2 függvénye, ezért az (5) egyenlet komplex változós integrálja valójában valós változós integrált jelent. Mivel igaz a

$$\Phi^{\mathrm{hh}}_{q'q}(s) = \Phi^{\mathrm{ii}}_{q'q}(s) - \Phi^{\mathrm{ik}}_{q'q}(s) - \Phi^{\mathrm{ki}}_{q'q}(s) + \Phi^{\mathrm{kk}}_{q'q}(s) \tag{7}$$

összefüggés [13, 15, 18], így a szerző egy korábbi cikkében [12] ismertetett index-átváltási szabály általánosított formája és az 1. ábra felhasználásával az utóbbi mátrix a következő módon is kifejezhető:

$$\Phi^{\mathrm{hh}}_{q'q}(s) = \Phi^{\mathrm{ii}}_{q'q}(s) - \Phi^{\mathrm{ib}}_{q'r}(s)\,\mathbf{W}^{\mathrm{c}}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{pq}(s) - \\ - \mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{q'p'}(-s)\,\mathbf{W}^{\mathrm{c}}_{p'r'}(-s)\,\Phi^{\mathrm{bi}}_{r'q}(s) + \\ + \mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{q'p'}(-s)\,\mathbf{W}^{\mathrm{c}}_{p'r'}(-s)\,\Phi^{\mathrm{bb}}_{r'r}(s)\,\mathbf{W}^{\mathrm{c}}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{pq}(s), \tag{8}$$

és hasonlóan

$$\Phi^{\mathrm{ll}}_{j'j}(s) = \mathbf{W}^{\mathrm{k}}_{j'p'}(-s)\,\mathbf{W}^{\mathrm{c}}_{p'r'}(-s)\,\Phi^{\mathrm{bb}}_{r'r}(s)\,\mathbf{W}^{\mathrm{c}}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{\mathrm{k}}_{pj}(s) \tag{9}$$

$$(r,r' = 1,\ldots,R;\ p,p' = 1,\ldots,P;\ q,q' = 1,\ldots,Q;\ j,j' = 1,\ldots,J),$$

ahol $\mathbf{W}^{\mathrm{c}}_{rp}(s)$, $\mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{pq}(s)$ és $\mathbf{W}^{\mathrm{k}}_{pj}(s)$ rendre a szabályozó, a szabályozott szakasz és a korlátozás átviteli függvény mátrixa, amely a megfelelő súlyfüggvény mátrixból Fourier- vagy Laplace-transzformáció alkalmazásával határozható meg. A $\mathbf{W}^{\mathrm{c}}_{p'r'}(-s)$, $\mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{p'q'}(-s)$ és $\mathbf{W}^{\mathrm{k}}_{j'p'}(-s)$ adjungált mátrixok, azaz a $\mathbf{W}_{rp}(s)$, $\mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{pq}(s)$ és $\mathbf{W}^{\mathrm{k}}_{pj}(s)$ átviteli függvény mátrixok transzponált, komplex konjugált

mátrixai. Az utóbbiak rendre $R\times P$, $P\times Q$ és $P\times J$ típusú mátrixok. Az általánosság megszorítása nélkül a legtöbb esetben feltehető az $R = P = Q \geq J$ egyenlőtlenség.

Vezessük be most a

$$\begin{aligned} &\mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)\,\mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(s)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{f}_{pq}(s) + \\ &\quad + \lambda\,\mathbf{W}^{k}_{j'p'}(-s)\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)\,\mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(s)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{k}_{pj}(s) = \\ &\quad = \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)\,\mathbf{\Phi}^{aa}_{r'r}(s,\lambda)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{f}_{pq}(s) \end{aligned} \tag{10}$$

összefüggés által implicite definiált $\mathbf{\Phi}^{aa}_{r'r}(s,\lambda)$ teljesítménysűrűség-spektrum segédmátrixot. Kimutatható, hogy ez a $\mathbf{\Phi}^{aa}_{r'r}(s,\lambda)$ teljesítménysűrűség-spektrum segédmátrix, amennyiben nem függ a szabályozó $\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)$ átviteli függvény mátrixától, akkor a (10) egyenlet által egyértelműen meghatározott.

Ennek belátásához vizsgáljuk meg a teljesítménysűrűség-spektrum segédmátrix

$$\begin{aligned} \mathbf{\Phi}^{aa}_{r'r}(s,\lambda) &= \mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(s) + \lambda\left[\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)\right]^{-1}\times \\ &\quad\times\left[\mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right]^{-1}\mathbf{W}^{k}_{j'p'}(-s)\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)\,\mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(s)\times \\ &\quad\times\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{k}_{pj}(s)\left[\mathbf{W}^{f}_{pj}(s)\right]^{-1}\left[\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)\right]^{-1} \end{aligned} \tag{11}$$

explicit kifejezését.

Nyilvánvaló, hogy tetszőleges $\mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(s)$ teljesítménysűrűség-spektrum mátrixhoz tartozó teljesítménysűrűség-spektrum segédmátrix akkor és csak akkor lesz független a $\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)$ mátrixtól és az átviteli függvény mátrix $\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)$ adjungáltjától, ha

$$\begin{gathered} \mathbf{W}^{k}_{pj}(s)\left[\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\right]^{-1} = I(s)\,\mathbf{I}_{pp}, \\ (p = 1,\ldots,P;\ j = q = 1,\ldots,J = Q), \end{gathered} \tag{12}$$

ahol $I(s)$ valamilyen skalár átviteli függvény vagy polinom, míg $\mathbf{I}_{pp}$ $P\times P$ típusú egységmátrix. Ez a feltétel a következő segédmátrixhoz vezet:

$$\mathbf{\Phi}^{aa}_{r'r}(s,\lambda) = [1 + \lambda\, I(-s)\, I(s)]\,\mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(s), \tag{13}$$

amely valóban független a $\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)$ és $\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)$ mátrixtól. Így tehát a szabályozott szakasz mátrixát megadva a korlátozási mátrix nem választható meg tetszőlegesen, hanem közöttük a segédmátrix függetlenségét biztosító (12) összefüggésnek kell fennállnia.

A (6) egyenlettel megadott teljesítménysűrűség-spektrum mátrix a (8), (9) és (10) felhasználásával a

$$\Phi_{q'q}(s,\lambda) = \Phi^{ii}_{q'q}(s) - \Phi^{ib}_{q'r}(s)\,W^{c}_{rp}(s)\,W^{f}_{pq}(s) - W^{f}_{q'p'}(-s)\,W^{c}_{p'r'}(-s)\,\Phi^{bi}_{r'q}(s) + \\ + W^{f}_{q'p'}(-s)\,W^{c}_{p'r'}(-s)\,\Phi^{aa}_{r'r}(s,\lambda)\,W^{c}_{rp}(s)\,W^{f}_{pq}(s) \tag{14}$$

alakban is kifejezhető.

Vezessük be a

$$\Phi^{aa}_{r'r}(s,\lambda)\,Y^{c}_{rp}(s,\lambda)\,W^{f}_{pq}(s) = \Phi^{bi}_{r'q}(s)$$

és

$$W^{f}_{q'p'}(-s)\,Y^{c}_{p'r'}(-s,\lambda)\,\Phi^{aa}_{r'r}(s,\lambda) = \Phi^{ib}_{q'r}(s) \tag{15}$$

implicit összefüggések segítségével az $R\times P$ típusú $Y^{c}_{rp}(s,\lambda)$ átviteli függvény segédmátrixot és ez utóbbi $Y^{c}_{p'r'}(-s,\lambda)$ adjungáltját.

A (15) kifejezés (14) egyenletbe való helyettesítése után a kérdéses teljesítménysűrűség-spektrum mátrix a következő alakra hozható:

$$\Phi_{q'q}(s,\lambda) = \Phi^{ii}_{q'q}(s) - W^{f}_{q'p'}(-s)\,Y^{c}_{p'r'}(-s,\lambda)\,\Phi^{aa}_{r'r}(s,\lambda)\,Y^{c}_{rp}(s,\lambda)\,W^{f}_{pq}(s) + \\ + [W^{f}_{q'p'}(-s)\,Y^{c}_{p'r'}(-s,\lambda) - W^{f}_{q'p'}(-s)\,W^{c}_{p'r'}(-s)]\,\Phi^{aa}_{r'r}(s,\lambda)\times \\ \times [Y^{c}_{rp}(s,\lambda)\,W^{f}_{pq}(s) - W^{c}_{rp}(s)\,W^{f}_{pq}(s)]\,, \tag{16}$$

ahol a $W^{c}_{rp}(s)$ átviteli függvény mátrixot és annak $W^{c}_{p'r'}(-s)$ adjungáltját csupán (16) utolsó kifejezése tartalmazza. A $\Phi_{q'q}(s,\lambda)$ teljesítménysűrűség-spektrum mátrix nyoma nyilván akkor lesz minimális, ha ezen utolsó kifejezés zérussá válik. Ennek szükséges és elegendő feltétele, hogy

$$W^{co}_{rp}(s,\lambda) = Y^{c}_{rp}(s,\lambda)$$
$$W^{co}_{p'r'}(-s,\lambda) = Y^{c}_{p'r'}(-s,\lambda) \tag{17}$$

legyen, ahol az optimumot a felső o index jelöli. A (15) és (17) egyenletek figyelembevételével a

$$\Phi^{aa}_{r'r}(s,\lambda)\,W^{co}_{rp}(s,\lambda)\,W^{f}_{pq}(s) = \Phi^{bi}_{r'q}(s)\,,$$
$$W^{f}_{q'p'}(-s)\,W^{co}_{q'p'}(-s,\lambda)\,\Phi^{aa}_{r'r}(s,\lambda) = \Phi^{ib}_{q'r}(s) \tag{18}$$

implicit összefüggéseket kapjuk a fizikailag meg nem valósítható kaszkádszabályozó átviteli függvény mátrixára és annak adjungáltjára.

Természetesen egy fizikailag megvalósíthatatlan átviteli függvény mátrix nem oldja meg problémánkat, s így egy fizikailag megvalósítható megoldást kell keressünk. Legyen $W^{cm}_{rp}(s)$ a korlátozásos kaszkádszabályozó fizikailag megvalósítható optimális átviteli függvény mátrixa. A (18) egyenletrendszer első egyenletében $W^{co}_{rp}(s,\lambda)$ helyére ezt a mátrixot írva a

$$\Phi^{aa}_{r'r}(s,\lambda)\,W^{cm}_{rp}(s,\lambda)\,W^{f}_{pq}(s)\,W^{f}_{q'p'}(-s) = \Phi^{bi}_{r'q}(s)\,W^{f}_{q'p'}(-s) + F^{c}_{r'p'}(s,\lambda) \tag{19}$$

összefüggés adódik, ahol $\mathbf{F}^{c}_{r'p'}(s, \lambda)$ egyelőre ismeretlen, de csakis jobb oldali pólusokat tartalmazó átviteli függvény elemekből álló mátrix. A $\mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)$ mátrix szerepeltetése az egyenletben elkerülhetetlen, ugyanis a $\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\ \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)$ mátrixot kell teljesítménysűrűség-spektrum mátrixként kezelni.

Vezessük be a

$$\mathbf{\Phi}^{aa-}_{r'r''}(s, \lambda)\, \mathbf{\Phi}^{aa+}_{r''r}(s, \lambda) = \mathbf{\Phi}^{aa}_{r'r}(s, \lambda) \tag{20}$$

és

$$\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s) = \left(\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right)^{+} \times \left(\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right)^{-} \tag{21}$$

spektrum faktorizációs összefüggéseket, ahol a $-$ (mínusz) felsőindex olyan mátrix tényezőkre utal, amelyek inverzeikkel együtt csak jobb oldali, a $+$ (plusz) felsőindex pedig olyan tényezőkre, amelyek inverzeikkel együtt csak bal oldali pólusokat tartalmazó elemekből állnak.

A (13) egyenletnek megfelelően a $\mathbf{\Phi}^{aa}_{r'r}(s, \lambda)$ teljesítménysűrűség-spektrum segédmátrix spektrum faktorizációja nem sokkal bonyolultabb, mint a $\mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(s)$ mátrixé, a különbség csupán annyi, hogy meg kell keressük az

$$\left(1 + \lambda\, I(-s)\, I(s)\right)^{-} \quad \text{és} \quad \left(1 + \lambda\, I(-s)\, I(s)\right)^{+}$$

skalár tényezőket is.

A (20) és (21) egyenleteket figyelembe véve a (19) a következő formában írható fel:

$$\begin{aligned}
&\mathbf{\Phi}^{aa+}_{r''r}(s, \lambda)\, \mathbf{W}^{cm}_{rp}(s, \lambda)\left(\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right)^{+} = \\
&\quad = \left[\mathbf{\Phi}^{aa-}_{r'r''}(s, \lambda)\right]^{-1} \mathbf{\Phi}^{bi}_{r'q}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s) \times \\
&\quad \times \left[\left(\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right)^{-}\right]^{-1} + \left[\mathbf{\Phi}^{aa-}_{r'r''}(s, \lambda)\right]^{-1} \times \\
&\quad \times \mathbf{F}^{c}_{r'p'}(s, \lambda)\left[\left(\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right)^{-}\right]^{-1}.
\end{aligned} \tag{22}$$

Az egyenlet mindkét oldalán különválasztva a fizikailag megvalósítható és megvalósíthatatlan mátrix összetevőket, a következő két összefüggés kapható:

$$\begin{aligned}
&\mathbf{\Phi}^{aa+}_{r''r}(s, \lambda)\, \mathbf{W}^{cm}_{rp}(s, \lambda)\left(\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right)^{+} = \\
&\quad = \left\{\left[\mathbf{\Phi}^{aa-}_{r'r''}(s, \lambda)\right]^{-1} \mathbf{\Phi}^{bi}_{r'q}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s) \times \right. \\
&\quad \left. \times \left[\left(\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right)^{-}\right]^{-1}\right\}_{+}
\end{aligned} \tag{23a}$$

és

$$\begin{aligned}
0 = &\left\{\left[\mathbf{\Phi}^{aa-}_{r'r''}(s, \lambda)\right]^{-1} \mathbf{\Phi}^{bi}_{r'q}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s) \times \right. \\
&\left. \times \left[\left(\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{r'p'}(-s)\right)^{-}\right]^{-1}\right\} + \left[\mathbf{\Phi}^{aa-}_{r'r''}(s, \lambda)\right]^{-1} \times \\
&\times \mathbf{F}^{c}_{r'p'}(s, \lambda)\left[\left(\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right)^{-}\right]^{-1},
\end{aligned} \tag{23b}$$

ahol a $+$ (plusz) alsóindex fizikailag megvalósítható pozitív időfüggvényekhez

tartozó elemekből álló, a — (mínusz) alsóindex pedig fizikailag megvalósíthatatlan negatív időfüggvényekhez tartozó elemekből álló mátrix összetevőket jelöl. A fizikailag megvalósítható összetevő általában megkapható egy inverz Fourier-transzformációval és egy azt követő Laplace-transzformációval.

Itt említjük meg, hogyha az összetevőkre bontandó mátrix elemei nem tartalmaznak transzcendens tényezőket, vagyis tisztán racionális törtfüggvények, akkor a kétszeres transzformálás helyett úgy is eljárhatunk, hogy az egyes elemeket részlettörtekre bontjuk, és különválasztjuk a jobb oldali, valamint a bal oldali pólusokat. Az előbbiekből származik a — (mínusz) alsóindexű, az utóbbiakból a + (plusz) alsóindexű mátrix összetevő.

Végül a korlátozásos kaszkádszabályozó fizikailag megvalósítható optimális átviteli függvény mátrixa a (23a) egyenletből

$$\mathbf{W}_{rp}^{cm}(s,\lambda) = \left[\Phi_{r'r}^{aa+}(s,\lambda)\right]^{-1} \times \left\{\left[\Phi_{r'r''}^{aa-}(s,\lambda)\right]^{-1} \Phi_{r'q}^{bi}(s)\, \mathbf{W}_{q'p'}^{f}(-s) \times \right. \\ \left. \times \left[\left(\mathbf{W}_{pq}^{j}(s)\, \mathbf{W}_{q'p'}^{f}(-s)\right)^{-}\right]^{-1}\right\}_{+} \left[\left(\mathbf{W}_{pq}^{f}(s)\, \mathbf{W}_{q'p'}^{f}(-s)\right)^{+}\right]^{-1} \tag{24}$$

alakban fejezhető ki. A $\mathbf{W}_{rp}^{cm}(s,\lambda)$ megoldás most már behelyettesíthető a korlátozási feltételekbe. Ez úgy vihető keresztül, hogy először a (9) egyenletbe beírjuk $\mathbf{W}_{rp}^{c}(s)$ és adjungáltja helyére értelemszerűen a $\mathbf{W}_{rp}^{cm}(s,\lambda)$ mátrixot és adjungáltját. Így megkapjuk a $\Phi_{j'j}^{ll}(s,\lambda)$ teljesítménysűrűség-spektrum mátrixot. Ez utóbbit a (2)-be beírva a λ paraméter megválasztható úgy, hogy a (2) egyenlőtlenség, tehát a korlátozási feltétel teljesüljön. A λ paraméter megfelelő értékét meghatározva, és azt (24)-be helyettesítve végül is megkapjuk a kaszkádszabályozó $\mathbf{W}_{rp}^{cm}(s)$ fizikailag megvalósítható optimális átviteli függvény mátrixát. Hangsúlyozzuk, hogy az előbbi eljárás elvégzése után a λ paraméter már nem szerepel. A kitűzött feladat végső explicit megoldása korlátozásos félig-szabad alakzat esetén a $\mathbf{W}_{rp}^{cm}(s)$ átviteli függvény mátrix.

A hiba teljesítménysűrűség-spektrum mátrixa úgy számítható ki, hogy a $\mathbf{W}_{rp}^{cm}(s)$ mátrixot és adjungáltját behelyettesítjük a (8) egyenletben szereplő $\mathbf{W}_{rp}^{c}(s)$ és $\mathbf{W}_{p'r'}^{c}(-s)$ mátrixok helyébe. Ezekután a (3) egyenlet segítségével a négyzetes hibaösszetevők értékének minimális összege meghatározható.

III. Kiegészítő megjegyzések

Vizsgáljuk meg most a kapott eredmények általánosításának és specializálásának lehetőségeit.

Először is világos, hogy $\lambda = 0$ véve $\Phi_{r'r}^{aa}(s,\lambda)$ közvetlenül $\Phi_{r'r}^{bb}(s)$-re redukálható, másrészt a (21) egyenletből:

$$\mathbf{W}_{rp}^{cm}(s) = \left[\Phi_{r''r}^{bb+}(s)\right]^{-1} \left\{\left[\Phi_{r'r''}^{bb-}(s)\right]^{-1} \times \right. \\ \times \Phi_{r'q}^{bi}(s)\, \mathbf{W}_{q'p'}^{f}(-s) \left[\left(\mathbf{W}_{pq}^{f}(s)\, \mathbf{W}_{q'p'}^{f}(-s)\right)^{-}\right]^{-1}\Big\}_{+} \times \\ \left. \times \left[\left(\mathbf{W}_{pq}^{f}(s)\, \mathbf{W}_{q'p'}^{f}(-s)\right)^{+}\right]^{-1}, \right. \tag{25}$$

amely a korlátozás nélküli félig-szabad alakzatú optimális kaszkádszabályozó végső megoldási képlete.

Ugyanígy teljesen szabad alakzat esetén, azaz ha a rendszer rögzített része egységmátrixnak tekinthető, amely nem függ az $s = j\omega$ változótól, a (25) egyenlet a

$$\mathbf{W}^{m}_{rq}(s) = \left[\Phi^{bb+}_{r'r'}(s)\right]^{-1} \left\{\left[\Phi^{bb-}_{r'r'}(s)\right]^{-1} \Phi^{bi}_{r'q}(s)\right\}_{+} \tag{26}$$

alakra egyszerűsíthető. Ez a legegyszerűbb képlet a többváltozós rendszerek optimális átviteli függvény mátrixait kifejező zárt képletek közül.

Vizsgáljuk meg most a $\mathbf{w}^{k}_{pj}(t)$ korlátozási mátrixot és annak $\mathbf{W}^{k}_{pj}(s)$ transzformáltját. Természetesen a (12) egyenletnek mindig érvényesnek kell lennie. Ha a módosított jellemzők közvetett módon korlátozottak, akkor a $\mathbf{W}^{k}_{pj}(s)$ teljesen általános formában vehető fel. Pl., ha éppen a szabályozott jellemzők négyzetes középértékének összege korlátozott, akkor a $\mathbf{W}^{k}_{pj}(s)$ korlátozási mátrix megegyezik a szabályozott szakasz $\mathbf{W}^{f}_{pj}(s)$ mátrixával.

Továbbá, ha a szabályozott szakasz $\mathbf{W}^{f}_{pj}(s)$ átviteli függvény mátrixa két megfelelő átviteli függvény mátrixszorzata

$$\mathbf{W}^{f}_{pq}(s) = \mathbf{W}^{f}_{pj}(s)\, \mathbf{W}^{f}_{jq}(s) \tag{27}$$

és éppen az említett két sorbakapcsolt rész közötti jellemzők négyzetes középértékének összege korlátozott, akkor a $\mathbf{W}^{k}_{pj}(s)$ a $\mathbf{W}^{f}_{pj}(s)$ mátrixszal azonosnak veendő.

Másrészt, ha a módosított jellemzők együttese közvetlenül korlátozott, akkor a korlátozási átviteli függvény mátrix speciális formát vesz fel: diagonális mátrixszá válik. A (12) egyenletnek megfelelően ebben az esetben a $\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)$ mátrixnak is diagonálisnak kell lennie. Például, ha éppen a módosított jellemzők négyzetes középértékének összege korlátozott, akkor $\mathbf{W}^{k}_{pj}(s)$ egységmátrixszá válik

$$\mathbf{W}^{k}_{pj}(s) = \mathbf{I}_{pp},$$

amely független az $s = j\omega$ változótól. Ha a módosított jellemzők négyzetes középértékét bizonyos $g_{11}, \ldots, g_{pp}, \ldots, g_{PP}$ súlyozás figyelembevételével kell összeadni, akkor a $\mathbf{W}^{k}_{pj}(s)$ korlátozási átviteli függvény mátrix a súlyok négyzetgyökeiből, mint elemekből képezett diagonális mátrix lesz:

$$\mathbf{W}^{k}_{pj}(s) = \operatorname{diag}\left[\sqrt{g_{11}}, \ldots, \sqrt{g_{pp}}, \ldots, \sqrt{g_{PP}}\right]. \tag{28}$$

Ez a mátrix szintén független az s változótól.

Félig közvetlen korlátozásról akkor beszélünk, ha nem a módosított jellemzők négyzetes középértékének összege, hanem a módosított jellemzők

első (vagy második) differenciálhányadosa korlátozott. Ez esetben a következő választásra van szükség

$$\mathbf{W}^{k}_{pj}(s) = s\mathbf{I}_{pp}, \tag{29}$$

vagy

$$\mathbf{W}^{k}_{pj}(s) = s^2\mathbf{I}_{pp}. \tag{30}$$

Amennyiben súlyoznunk kell, akkor

$$\mathbf{W}^{k}_{pj}(s) = s \cdot \operatorname{diag}\left[\sqrt{g_{11}}, \ldots, \sqrt{g_{pp}}, \ldots, \sqrt{g_{PP}}\right], \tag{31}$$

illetve

$$\mathbf{W}^{k}_{pj}(s) = s^2 \cdot \operatorname{diag}\left[\sqrt{g_{11}}, \ldots, \sqrt{g_{pp}}, \ldots, \sqrt{g_{PP}}\right] \tag{32}$$

a megfelelő választás. Sajnos a súlyok nem választhatók akárhogyan, hanem csak a (12) egyenlet megfelelő figyelembevételével.

Ha például az első módosított jellemző önmaga, a második módosított jellemzőnek az első differenciálhányadosa, a harmadik módosított jellemző második differenciálhányadosa, és így tovább ... megfelelően súlyozva veendő figyelembe a négyzetes középérték összegezésben, akkor a

$$\mathbf{W}^{k}_{pj}(s) = \operatorname{diag}\left[\sqrt{g_{11}}, s\sqrt{g_{22}}, s^2\sqrt{g_{33}}, \ldots\right]$$

diagonális mátrix készítendő el, feltéve, hogy ezt a (12) feltétel megengedi.

Hasonlóan, a különleges kívánalmaknak megfelelő néhány más speciális mátrixforma is választható, ha a módosított jellemzők négyzetes középértékének összegét kell félig közvetlen módon korlátozni, de mindig csak a (12) megszorítás alapulvételével.

Felmerül a kérdés, hogyan adható meg többszörös korlátozás. Ha például a módosított jellemzők egyidejűleg két vagy több korlátozásnak vannak alávetve, akkor a (2) egyenlőtlenség helyett egyenlőtlenség rendszert kell tekintetbe venni:

$$\frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{j\infty} \sum_{D}\left[\Phi^{ll}_{j'j(i)}(s)\right] ds < \sigma_i^2 \tag{2'}$$

és az (5) egyenlet helyett a

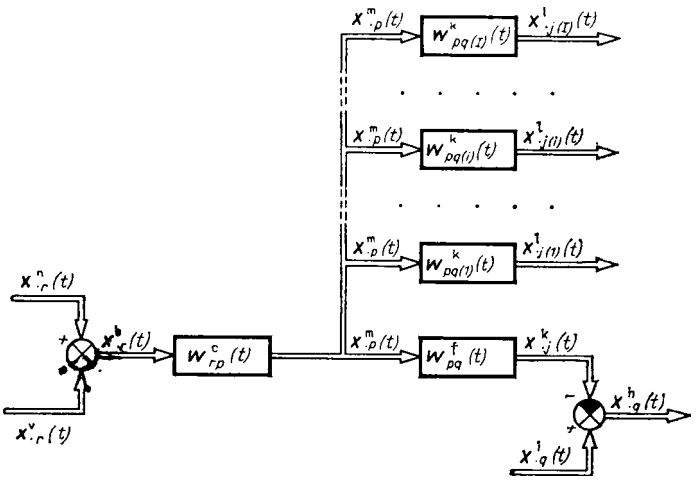
$$\sum_{D}\left[\varphi_{q'q}(0, \lambda_1, \ldots, \lambda_l)\right] = \frac{1}{2\pi j}\int_{-j\infty}^{j\infty} \sum_{D}\left[\Phi^{hh}_{q'q}(s) + \sum_{i=1}^{l}\lambda_i \Phi^{ll}_{j'j(i)}(s)\right] ds \tag{5'}$$

összefüggés áll fenn, ahol a megfelelő teljesítménysűrűség-spektrum mátrixok

$$\Phi^{ll}_{j'j(i)}(s) = \mathbf{W}^{k}_{j'p'(i)}(-s)\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)\,\Phi^{bb}_{r'r}(s)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{k}_{pj(i)}(s).$$

Itt $\mathbf{W}^{k}_{pj(i)}(s)$ $(i = 1, \ldots, I)$ a megfelelő korlátozási mátrixok (2. ábra).

Utóbbi esetben az egyszerűsített módszer szerint járva el, mind a $\Phi^{aa}_{r'r}(s, \lambda_1, \ldots, \lambda_I)$ teljesítménysűrűség-spektrum segédmátrix, mind a $\mathbf{W}^{cm}_{rp}(s, \lambda_1, \ldots, \lambda_I)$ fizikailag megvalósítható optimális átviteli függvénymátrix a λ_i paraméterek többváltozós függvénye lesz. Ekkor a (10) egyenlet helyett a



2. ábra

$$\mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)\,\Phi^{bb}_{r'r}(s)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{f}_{pq}(s) + \\ + \sum_{i=1}^{I} \lambda_i\,\mathbf{W}^{k}_{j'p'(i)}(-s)\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)\,\Phi^{bb}_{r'r}(s)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{k}_{pj(i)}(s) = \tag{10'}$$
$$= \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)\,\Phi^{aa}_{r'r}(s, \lambda_1, \ldots, \lambda_I)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)$$

használandó és a teljesítménysűrűség-spektrum segédmátrix most

$$\Phi^{aa}_{r'r}(s, \lambda_1, \ldots, \lambda_I) = \Phi^{bb}_{r'r}(s) + \sum_{i=1}^{I} \lambda_i \left[\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)\right]^{-1} \left[\mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right]^{-1} \times \\ \times\, \mathbf{W}^{k}_{j'p'(i)}(-s)\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(-s)\,\Phi^{bb}_{r'r}(s)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)\,\mathbf{W}^{k}_{pj(i)}(s) \left[\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\right]^{-1} \left[\mathbf{W}^{c}_{rp}(s)\right]^{-1}. \tag{11'}$$

A (12) feltétel helyett a

$$\mathbf{W}^{k}_{pj(i)}(s) \left[\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\right]^{-1} = I_i(s)\,\mathbf{I}_{pp} \qquad (i = 1, \ldots, I) \tag{12'}$$

megszorítások érvényesek.

Végezetül az explicit megoldási képlet ekkor

$$\mathbf{W}^{cm}_{rp}(s, \lambda_1, \ldots, \lambda_I) = \left[\Phi^{aa+}_{r'r}(s, \lambda_1, \ldots, \lambda_I)\right]^{-1} \times \\ \times \left\{\left[\Phi^{aa-}_{r'r}(s, \lambda_1, \ldots, \lambda_I)\right]^{-1} \Phi^{bi}_{r'q}(s)\,\mathbf{W}^{f}_{p'q'}(-s) \times \right. \\ \left. \times \left[\left(\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\,\mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right)^{-}\right]^{-1}\right\}_{+} \left[\left(\mathbf{W}^{f}_{pq}(s)\,\mathbf{W}^{f}_{q'p'}(-s)\right)^{+}\right]^{-1}. \tag{24'}$$

A λ_i paramétereket most olyan módon kell meghatározni, hogy a legszigorúbb (2′) egyenlőtlenség teljesüljön.

Természetesen általánosított mátrix jelölésmód is lehetséges. Ebben az esetben $\sigma_i^2 = (\sigma^2)_i$ és λ_i mint vektor (egydimenziós mátrix) koordinátája tekintendő és

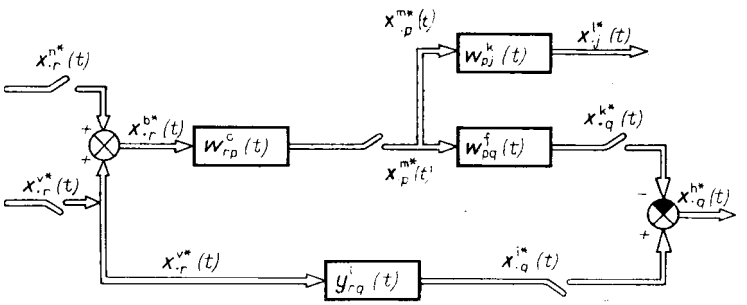
$$\Phi^{11}_{j'j(i)}(s),\ \mathbf{W}^{k}_{pj(i)}(s),\ \mathbf{W}^{k}_{j'p'(i)}(-s)$$

háromdimenziós mátrixok. Ekkor az (5′), (10′), (11′) egyenletekben a szummáció mátrixszorzásba megy át: a háromdimenziós és az egy dimenziós mátrix szorzata kétdimenziós mátrixot eredményez.

Az egyszeres korlátozás eseteihez hasonlóan igen sok speciális feladat is megvizsgálható többszörös korlátozás esetén, erre azonban itt most nem térünk ki.

IV. Általánosítások többváltozós szaggatott működésű rendszerekre

Tisztán digitális, vagy mintavételezett, összefoglalóan szaggatott működésű rendszerekre [18—32] teljesen kézenfekvők az általánosítások (3. ábra).



3. ábra

A hibák számsorozatainak négyzetes középérték összege a következő alakban fejezhető ki

$$\sum_D \left[\overline{\mathbf{x}^{h}_{q\cdot}(nT)\,\mathbf{x}^{h}_{q\cdot}(nT)}\right] = \lim_{N\to\infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^{N} \sum_D \left[\mathbf{x}^{h}_{q\cdot}(nT)\,\mathbf{x}^{h}_{q\cdot}(nT)\right] =$$

$$= \sum_D \left[\varphi^{hh}_{qq}(0T)\right] = \frac{1}{2\pi j} \oint_{\Gamma_0} \sum_D \Phi^{hh}_{q'q}(z)\, z^{-1}\, dz\,, \tag{3*}$$

ahol

$$\Phi^{hh}_{q'q}(z) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \varphi^{hh}_{q'q}(kT)\, z^{-k}$$

a megfelelő teljesítménysűrűség-spektrum mátrix és T_0 a z sík egységköre.

Másrészről a korlátozási egyenlőtlenségek a következőképpen alakulnak:

$$\sum_{D} \left[\mathbf{x}^{\mathrm{I}}_{j}(nT)\,\mathbf{x}^{\mathrm{I}}_{j}(nT)\right] =$$

$$= \lim_{N\to\infty} \frac{1}{2N+1} \sum_{n=-N}^{N} \sum_{D} \left[\mathbf{x}^{\mathrm{I}}_{j}(nT)\,\mathbf{x}^{\mathrm{I}}_{j}(nT)\right] = \sum_{D} \left[\varphi^{\mathrm{II}}_{j'j}(0T)\right] = \qquad (2^*)$$

$$= \frac{1}{2\pi j} \oint_{r_0} \sum_{D} \Phi^{\mathrm{II}}_{j'j}(z)\, z^{-1}\, dz \leq \sigma^2,$$

ahol $z = e^{j\omega T}$ és $j, j' = 1, \ldots, J$.

Látható, hogy a szaggatott működésű rendszerekre teljesen hasonló kifejezések érvényesek, mint a folyamatos működésű rendszerekre. Ezt a körülményt figyelembe véve ugyanazokat a számokat használjuk az egyenletek megjelölésére mint korábban, de megkülönböztetésül * jelet használunk. A szaggatott működésű rendszerekre a megoldás ugyanúgy végezhető el, mint a folyamatos működésű rendszerekre. Rövidség kedvéért a levezetéseket itt mellőzzük, és csak a végeredményeket közöljük.

A szaggatott működésű korlátozás kaszkádszabályozó fizikailag megvalósítható optimális átviteli függvény mátrixa

$$\begin{aligned} \mathbf{W}^{\mathrm{cm}}_{rp}(z,\lambda) = {} & \left[\Phi^{\mathrm{aa}+}_{r'r}(z,\lambda)\right]^{-1} \left\{\left[\Phi^{\mathrm{aa}-}_{r'r}(z,\lambda)\right]^{-1} \Phi^{\mathrm{bi}}_{r'q}(z)\, \mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{q'p'}(z^{-1}) \times \right. \\ & \left. \times \left[\left(\mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{pq}(z)\, \mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{q'p'}(z^{-1})\right)^{-}\right]^{-1}\right\}_{+} \left[\left(\mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{pq}(z)\, \mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{q'p'}(-z)\right)^{-}\right]^{-1}. \end{aligned} \qquad (24^*)$$

Itt a $-$ (mínusz) felsőindex olyan mátrix faktort jelöl, amelynek és amely inverzének elemei csak a Γ_0 egységkörön kívüli, míg a $+$ (plusz) felsőindex olyan mátrix faktort jelöl, amely és amely inverzének elemei csak az egységkörön belüli pólusokat tartalmaznak. Továbbá a $+$ (plusz) alsóindex fizikailag megvalósítható pozitív időfüggvényekhez tartozó, a $-$ (mínusz) alsóindex pedig fizikailag megvalósíthatatlan negatív időfüggvényekhez tartozó elemekből álló mátrix összetevőkre utal. Az előbbi elemeinek pólusai az egységsugarú kör belsejében, az utóbbi elemeinek pólusai az egységsugarú körön kívül vannak.

A mátrix faktorok általában a teljesítmény-spektrum mátrixból spektrum faktorizációval, a fizikailag megvalósítható összetevők pedig kétoldali inverz z-transzformációval, majd egyoldali z-transzformációval kaphatók meg, integrációs útnak az egységkört tekintve és a második esetben az összegezést csak $n = 0$-tól végtelenig véve (és nem $n = -\infty$-től ∞-ig).

Megjegyezzük, hogy a $\Phi^{\mathrm{aa}}_{r'r}(z, \lambda)$ teljesítményspektrum segédmátrixokat most a

$$\mathbf{W}^{f}_{q'p'}(z^{-1})\,\mathbf{W}_{p'r'}(z^{-1})\,\mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(z)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(z)\,\mathbf{W}^{f}_{pq}(z) + \\ + \lambda\,\mathbf{W}^{k}_{j'p'}(z^{-1})\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(z^{-1})\,\mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(z)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(z)\,\mathbf{W}^{k}_{pj}(z) = \\ = \mathbf{W}^{f}_{q'p'}(z^{-1})\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(z^{-1})\,\mathbf{\Phi}^{aa}_{r'r}(z,\lambda)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(z)\,\mathbf{W}^{f}_{pq}(z) \qquad (10^*)$$

implicit összefüggés definiálja.

A függetlenség feltétele ebben az esetben

$$\mathbf{W}^{k}_{pj}(z)\left[\mathbf{W}^{f}_{pq}(z)\right]^{-1} = I(z)\,\mathbf{I}_{pp}. \qquad (12^*)$$

Ez a feltétel a

$$\mathbf{\Phi}^{aa}_{r'r}(z,\lambda) = \left[1 + \lambda\,I(z^{-1})\,I(z)\right]\mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(z)$$

segédmátrixot adja, amely valóban független a $\mathbf{W}^{c}_{rp}(z)$ és a $\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(z^{-1})$ mátrixtól.

Ez az összefüggés is hangsúlyozza azt a tényt, hogy a szabályozott szakasz mátrixát megadva a korlátozási mátrix nem választható meg akárhogyan, hanem egy a segédmátrix függetlenségét biztosító kapcsolatnak kell közöttük fennállnia.

A határozatlan λ paraméter eliminálása ugyanolyan módon történik, mint fentebb, csupán az a különbség, hogy most a

$$\mathbf{\Phi}^{ll}_{j'j}(z) = \mathbf{W}^{k}_{j'p'}(z^{-1})\,\mathbf{W}^{c}_{p'r'}(z^{-1})\,\mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(z)\,\mathbf{W}^{c}_{rp}(z)\,\mathbf{W}^{k}_{pj}(z) \qquad (9^*)$$

összefüggést kell használni. A (24) egyenlet (9*)-ba való helyettesítése után kapott $\mathbf{\Phi}^{ll}_{j'j}(z,\lambda)$ mátrixot a (2*) egyenletbe beírva a λ paraméter meghatározható oly módon, hogy a korlátozási egyenlőtlenség teljesüljön.

A (24*) egyenlet és λ ezen értékének felhasználásával megkapható a szaggatott működésű kaszkádszabályozó fizikailag megvalósítható $\mathbf{W}^{cm}_{rp}(z)$ optimális átviteli függvény mátrixa.

V. Megjegyzések

Nyilvánvaló, hogy $\lambda = 0$ esetén, egyrészt

$$\mathbf{\Phi}^{aa}_{r'r}(z,\lambda)$$

a

$$\mathbf{\Phi}^{bb}_{r'r}(z)$$

mátrixra egyszerűsíthető, másrészt a (24*) összefüggés a

$$\mathbf{W}^{cm}_{rp}(z) = \left[\mathbf{\Phi}^{bb+}_{r'r}(z)\right]^{-1}\left\{\left[\mathbf{\Phi}^{bb-}_{r'r''}(z)\right]^{-1}\mathbf{\Phi}^{bi}_{r'q}(z)\,\mathbf{W}^{f}_{q'p'}(z^{-1})\times\right. \\ \left.\times\,\mathbf{W}^{f}_{pl}(z)\,(\mathbf{W}_{l\ \ r'p'}(z^{-1}))^{--1}\right\}_{+}\left[(\mathbf{W}^{f}_{pq}(z)\,\mathbf{W}^{f}_{q'p'}(z^{-1}))^{+}\right]^{-1} \qquad (25^*)$$

kifejezésre vezet, amely a korlátozás nélküli félig-szabad alakzatú rendszer szaggatott működésű optimális kaszkádszabályozójának végső explicit megoldási képlete.

Továbbá, a többváltozós teljesen szabad alakzatú szaggatott működésű rendszerek optimális átviteli függvény mátrixa

$$\mathbf{W}^{m}_{rq}(z) = \left[\Phi^{bb+}_{r'r}(z)\right]^{-1} \left\{\left[\Phi^{bb-}_{r'r'}(z)\right]^{-1} \Phi^{bi}_{r'q}(z)\right\}_{+} \qquad (26^*)$$

lesz.

Hasonló módon könnyűszerrel átvihetők a szaggatott működésű rendszerekre a III. alatt tárgyalt további megjegyzések is.

A most kapott eredmények többszörös korlátozások esetére is könnyen általánosíthatók. Pl., ha a módosított jellemzők egyidejűleg két vagy több korlátozásnak vannak alávetve, akkor a (2*) egyenlőtlenség helyett az

$$\frac{1}{2\pi j} \oint_{\Gamma_0} \sum_{D} \left[\Phi^{ll}_{j'j(i)}(z)\right] z^{-1}\, dz \leq \sigma_i^2 \qquad (2'^*)$$

egyenlőtlenség rendszer lesz érvényes. Ilyenkor a

$$\sum_{D} \left[\varphi_{q'p}(0T, \lambda_1, \ldots, \lambda_I)\right] = \frac{1}{2\pi j} \oint_{\Gamma_0} \sum_{D} \left[\Phi^{hh}_{q'q}(z) + \sum_{i=1}^{I} \lambda_i \Phi^{bb}_{r'r}(z)\right] z^{-1}\, dz \qquad (5'^*)$$

összefüggésből indulunk ki.

Ekkor a megfelelő teljesítmény-spektrum mátrixok:

$$\Phi^{ll}_{r'r}(z) = \mathbf{W}^{k}_{j'p'(i)}(z^{-1})\, \mathbf{W}^{c}_{p'r'}(z^{-1}),\ \Phi^{bb}_{r'r}(z)\, \mathbf{W}^{c}_{rp}(z)\, \mathbf{W}^{k}_{pj(i)}(z)\,,$$

ahol $\mathbf{W}^{k}_{pj(i)}(z)$ $(i = 1, \ldots, I)$ a megfelelő korlátozási mátrixok. A többszörös korlátozású félig-szabad alakzatra a

$$\mathbf{W}^{k}_{pj(i)}(z)\, \left[\mathbf{W}^{f}_{pq}(z)\right]^{-1} = I_{(i)}(z)\, \mathbf{I}_{pp} \qquad (12'^*)$$
$$(i = 1, \ldots, I)$$

függetlenségi feltételeknek kell teljesülniök, ahol $I_{(i)}(z)$ $(i = 1, \ldots, I)$ valamely skalár impulzus átviteli függvény (vagy polinom) és $\mathbf{I}_{pp}$ $P \times P$ típusú egységmátrix.

Természetesen ez esetben mind a $\Phi^{aa}_{r'r}(z, \lambda_1, \ldots, \lambda_I)$ teljesítmény-spektrum segédmátrix, mind a fizikailag megvalósítható $\mathbf{W}^{cm}_{rp}(z, \lambda_1, \ldots, \lambda_I)$ optimális impulzus átviteli függvény mátrix a λ_i paraméterek többváltozós függvényévé válik. Ennek megfelelően a segédmátrix:

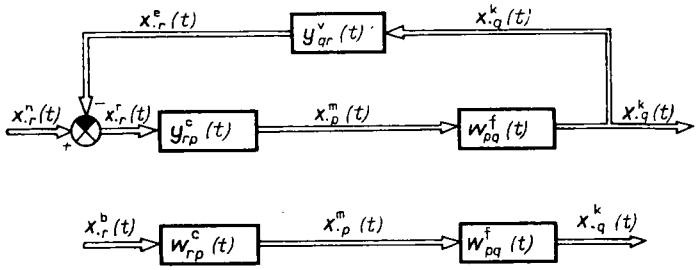
$$\Phi^{aa}_{r'r}(z, \lambda_1, \ldots, \lambda_I) = \left[1 + \sum_{i=1}^{I} \lambda_i I_{(i)}(z^{-1})\, I_{(i)}(z)\right] \Phi^{bb}_{r'r}(z).$$

Végül is a többszörösen korlátozott félig-szabad alakzat explicit megoldás képlete a

$$\mathbf{W}^{\mathrm{cm}}_{rp}(z, \lambda_1, \ldots, \lambda_l) = \left[\boldsymbol{\Phi}^{\mathrm{aa}+}_{r''r}(z, \lambda_1, \ldots, \lambda_l)\right]^{-1} \times$$
$$\times \left\{\left[\boldsymbol{\Phi}^{\mathrm{aa}-}_{r'r''}(z, \lambda_1, \ldots, \lambda_l)\right]^{-1} \boldsymbol{\Phi}^{\mathrm{bl}}_{r'q}(z)\, \mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{q'p'}(z^{-1}) \times \right.$$
$$\left. \times \left[\left(\mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{pq}(z)\, \mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{q'p'}(z^{-1})\right)^{-}\right]^{-1}\right\}_{+} \left[\left(\mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{pq}(z)\, \mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{q'p'}(z^{-1})\right)^{+}\right]^{-1}$$

képletbe megy át.

A λ_i paraméterek megválasztását most olyan módon kell megtennünk, hogy a legszigorúbb (2′*) egyenlőtlenség is teljesedjék.



4. ábra

Érdemes még megemlíteni végül, hogy az egyváltozós rendszerek a többváltozós rendszerek speciális esetei, s így a folyamatos és szaggatott működésű rendszerek optimális átviteli függvényei az itt adott képletekből közvetlenül megkaphatók a mátrixokat skaláris mennyiségekkel helyettesítve. Ez egyaránt igaz a korlátozásos vagy korlátozásmentes félig-szabad alakzatokra, vagy a teljesen szabad alakzatra is. Hangsúlyozzuk, hogy egyváltozós rendszerekre a (12), illetve (12*) egyenlet már eleve biztosított, ugyanis $p = 1$ esetben $I_{pp} = 1$, ami mátrix helyett skaláris mennyiség. Így egyváltozós rendszerekben a függetlenség szükséges feltétele eleve biztosított.

FÜGGELÉK

Meghatározva a 4. ábra szerint két egyenértékű kaszkádszabályozó optimális átviteli függvény mátrixát, a soros vagy visszacsatoló szabályozók átviteli függvény mátrixa is megadható. Pl., ha nincs visszacsatoló szabályozó, akkor a soros szabályozó átviteli függvénye

$$\mathbf{Y}^{\mathrm{c}}_{rp}(s) = \left[\mathbf{I} - \mathbf{W}^{\mathrm{c}}_{rp}(s)\, \mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{pq}(s)\right]^{-1} \mathbf{W}^{\mathrm{c}}_{rp}(s)$$

alakú, másrészt, ha a soros szabályozó hiányzik, akkor a visszacsatoló szabályozó átviteli függvény mátrixára:

$$\mathbf{Y}^{\mathrm{v}}_{qr}(s) = \left[\mathbf{W}^{\mathrm{c}}_{rp}(s)\, \mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{pq}(s)\right]^{-1} - \left[\mathbf{W}^{\mathrm{f}}_{pq}(z)\right]^{-1}.$$

$$(r = 1, \ldots, R; \quad p = 1, \ldots, P; \quad q = 1, \ldots, Q; \quad R = P = Q)$$

Hasonlóképpen az 5. ábra alapján meghatározva a szaggatott működésű kaszkádszabályozó optimális impulzus átviteli függvény mátrixát a zárt körben levő soros szabályozó impulzus átviteli függvény mátrixa

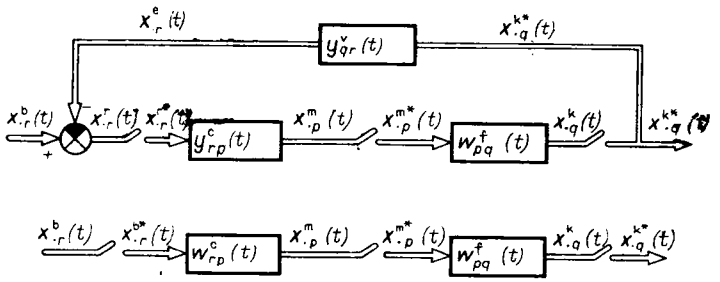
$$\mathbf{Y}^{c}_{rp}(z) = \left[\mathbf{I} - \mathbf{W}^{c}_{rp}(z)\,\mathbf{W}^{f}_{pq}(z)\right]^{-1}\mathbf{W}^{c}_{rp}(z)$$

alakban fejezhető ki, amennyiben nincs visszacsatolt szabályozó.

Ha pedig a soros szabályozó hiányzik, akkor a visszacsatoló szabályozó impulzus átviteli függvény mátrixa

$$\mathbf{Y}^{v}{}_{r}(z) = \left[\mathbf{W}^{c}_{rp}(z)\,\mathbf{W}^{f}_{pq}(z)\right]^{-1} - \left[\mathbf{W}^{f}_{pq}(z)\right]^{-1}$$

$$(r = p = q = 1, \ldots, R = P = Q)\,.$$



5. ábra

IRODALOM

1. Csáki, F.: Egy- és többváltozós rendszerek statisztikus szintézisének módszerei. *MTA VI. Oszt. Közleményei* **37** 1966.
2. Wiener, N.: Extrapolation, Interpolation and Smoothing of Stationary Time Series. Technology Press, Cambridge 1949.
3. Newton, G. C.—Gould, L. A.—Kaiser, J. F.: Analitical Design of Linear Feedback Controls. John Willey and Sons Inc., New York 1957.
4. Tsien, H. S.: Engineering Cybernetics. McGraw-Hill Book Company Inc., New York—Toronto—London 1954.
5. Bode, H. W.—Shannon, C. E.: Simplified Derivation of Linear Least Square Smoothing and Prediction Theory. *Proc. IRE* **38** (1950), 417.
6. Csáki, F.: Simplified Derivation of Optimum Transfer Functions in the Wiener-Newton Sense. Third Prague Conference on Information Theory (Statistical Decision Functions and Random Processes) 1962.
7. Csáki, F.: Simplified Derivation of Optimum Transfer Functions in the Wiener-Newton Sense, *Periodica Polytechnica (Electrical Engineering)* **6** (1962), 237.
8. Amara, R. C.: Application of Matrix Methods to the Linear Least Squares Synthesis of Multivariable Systems. *Journal of the Franklin Institute* **268** (1959), 1.
9. Youla, D. C.: On the Factorization of Rational Matrices. *IRE Transactions Information Theory* (1961); IT—7, No. 3, 172—189.
10. Kavanagh, R. J.: A Note on Optimum Linear Multivariable Filters. *Proceedings of IEE* (1961); Part C, 412—417 (Monograph No. 439 M.).
11. Hsieh, H. C.—Leondes, C. T.: On the Optimum Synthesis of Multipole Control Systems in the Wiener Sense. *IRE National Convention Record* 1959 **7** (1959); Part 4, 18.
12. Csáki, F.: Some Remarks Concerning the Statistical Analysis and Synthesis of Control Systems. *Periodica Polytechnica (Electrical Engineering)* **6** (1962), 187.
13. Csáki, F.: Simplified Derivation of Optimum Transfer Functions for Multivariable Systems. *Periodica Polytechnica (Electrical Engineering)* **7** (1963), 171.
14. Hsieh, H. C.—Leondes, C. T.: Techniques for the Optimum Synthesis of Multipole Control Systems with Random Processes as Inputs. *IRE Transactions* (1961), 212—231.

15. CSÁKI, F.: Simplified Derivation of the Ostimum Multipole Cascade Controller for Random Processes. *Periodica Polytechnica (Electrical Engineering)* **8** (1964), 1.
16. GAYLORD, R.: Dual Input Systems with a Saturation Constraint. Paper 411 on the Second International Congress of IFAC on Automatic Control, Basel 1963.
17. RAGAZZINI, J. R.—FRANKLIN, G. F.: Sampled-data Control Systems. McGraw-Hill Book Comp. Inc., New York 1958.
18. CSÁKI, F.: Simplified Derivation of the Optimum Multipole Cascade Controller for Multivariable Systems with Constraints. *Periodica Polytechnica (Electrical Engineering)* **8** (1964), 117.
19. TOU, J. T.: Digital and Sampled-data Control Systems. McGraw-Hill Comp. Inc., New York 1959.
20. MONROE, A. J.: Digital Processes for Sampled-Data Systems. John Wiley and Sons. Inc., New York 1962.
21. ZADEH, L. A.: Correlation Functions and Power Spectra in Variable Networks. *Proc. IEE* **38** (1950), 1342—1345.
22. MORI, M.: Statistical Treatment of Sampled-data Control Systems for Actual Random Inputs. *Rept. Institute of Industrial Science, University of Tokyo Chiba City* (Japan) 1956.
23. JOHNSON, G. W.: Statistical Analysis of Sampled-Data Systems. *IRE Wescon Record* (1957); Part IV, 187—195.
24. CHANG, S. S. L.: Statistical Design Theory for Strictly Digital Sampled-Data Systems. *Proc. AIEE* (1958); Part I, 702—709.
25. CHANG, S. S. L.: Statistical Design Theory for Strictly Digitally Controlled Continuous Systems. *Proc. AIEE* (1958), 191—201.
26. TOU, J. T.: Statistical Design of Linear Discrete-Data Control Systems Via the Modified Z-Transform. Method. *J. Franklin Inst.* **271** (1961), 249.
27. *Цыпкин, Я. З.:* Теория импульсных систем. Государственное издательство физико-математической литературы, Москва 1958.
28. *Солодовников, В. В.:* Статистическая динамика линейных систем автоматического управления. Государственное издательство физико-математической литературы, Москва 1960.
29. *Крумько, П. Д.:* Статистическая динамика импульсных систем. Издательство «Советское радио», Москва 1963.
30. *Перов, В. П.:* Статистически синтез импульсных систем. Изд. «Советское радио», Москва 1959.
31. *Поспелов, Г. С.:* Импульсные системы автоматического регулирования. Автоматическое управление и вычислительная техника (вып. 3) Машгиз, Москва 1960.
32. CSÁKI, F.: Simplified Derivation of Optimum Transfer Functions for Digital Stochastic Processes. *Periodica Polytechnica (Electrical Engineering)* **9** (1965), 237.
33. CSÁKI, F.: Optimum Pulse-Transfer Functions for Multivariable Digital Stochastic Processes. *Periodica Polytechnica (Electrical Engineering)* **9** (1965), 353.
34. CSÁKI, F.: Optimum Cascade Controllers for Multivariable Continuous-data and Pulsed-data Control Systems with Constraints. *Acta Techn. Hung.* **56** (1966), 363.

REZGŐMALMOKBAN FINOMRA ŐRÖLT ŐRLEMÉNYEK ELVÁLTOZÁSAIRÓL*

E. von SZANTHO
PROF., DR. ING.
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

[Beérkezett 1966. szeptember 19-én]

A dolgozat kvarc, rutil, kriolit, magnetit és galenit ásványokon rezgőmalomban való finomőrléskor bekövetkező fizikai és kémiai változásoknak fajlagos felületméréssel, röntgenfinomstruktúra-elemzéssel és differenciáltermoanalízissel való vizsgálatát ismerteti.

I. Bevezetés

Az aprításnak és őrlésnek az ásványelőkészítésben, de egyéb iparágakban is fontos szerepe van. A bányászati nyersanyagok előkészítésekor azokat előbb fel kell tárni: az egymással összenőtt ásványegyedek összenövését aprítással-őrléssel meg kell szüntetni, hogy azok valamilyen rákövetkező előkészítési eljárással egymástól szétválaszthatók: külön-külön termékekbe gyűjthetők legyenek.

Az aprítással egyúttal valamely meghatározott dúsítási módszerhez szükséges szemnagyság is előállítható. Így például finomabban összenőtt ásványok nyersércét flotálás előtt golyósmalomban rendszerint 0,2 mm alá őrlik. Kerámiai vagy festékipari nyersanyagokat még finomabbra őrölnek.

Aprításkor a szilárd testek kohézióját külső erőhatások szüntetik meg, úgyhogy azok számos apróbb darabra hullanak szét. Valamely szilárd test szétaprózódása az aprítógépekben nyomás, ütközés, ütés, hajlítás és nyírás révén következhet be.

A durvaszemű feladásból aprítással többé-kevésbé finomszemcsés anyaghalmazt kapunk. A művelet eredményét célszerűen szemnagyságméréssel (szitaelemzéssel) határozhatjuk meg. A szemnagyság csökkenésével az anyagi halmaz felületének növekedése jár együtt, úgyhogy a fajlagos felület növekedésével is jellemezhető az aprítás eredménye.

Az ásványok igen finomra őrlésekor (pl. rezgőmalomban) nemcsak a fajlagos felület nő, hanem az ásványok fizikai és kémiai sajátságai is megváltozhatnak, amint azt számos példa bizonyítja.

* A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának felolvasó ülésén 1965 nyarán elhangzott előadás rövidített szövege.

Kb. 10 éve HEDVAL [1] még azt a nézetet képviselte, hogy aktív anyagoknak mechanikai aprítással vagy hidegmegmunkálás okozta rácshibák létesítésével való előállítása csupán alárendelt jelentőségű lehet. Az utóbbi években rendszeres vizsgálatokkal nyert eredmények azonban arra mutatnak, hogy a szilárd testek mechanikus kezelésének nagyobb a jelentősége, mint ezideig feltételezték. A mechanikai kezelés kalapácsolás, hengerlés vagy őrlés útján történhet. Különösen hatásosnak mutatkozott az ásványok rezgőmalmokban való mechanikai kezelése.

A *Berlini Műszaki Egyetem Ásványelőkészítési Intézetében* is rezgőmalomban végeztünk finomőrlési kísérleteket kvarccal, rutillal, magnetittel, galenittal és kriolittal. Az őrlés hatását ezen ásványok fizikai és kémiai tulajdonságaira fajlagos felületméréssel, mikroszkópi vizsgálattal, differenciáltermoanalízissel és röntgen-finomstruktúra vizsgálattal próbáltuk nyomon követni.

II. A finomőrlés hatása a szilárd testek fizikai és kémiai sajátságaira

Mindenekelőtt a „mechanikai aktiválás" és a „mechanokémiai reakció" fogalmának tisztázása indokolt:

A *mechanikai aktiválás* SMEKAL [2] szerint mechanikai művelet, amely a szilárd test reakcióképességét növeli, miközben az aktivált szilárd test kémiai összetétele változatlan marad.

Ha viszont a mechanikai kezelés közben a szilárd test kémiai összetétele is megváltozik — PETERS [3] értelmezése szerint —, *mechanokémiai reakcióról* beszélünk. A mechanokémiai reakciót általában megelőzi valamilyen mechanikai aktiválás.

A szilárd test sajátságainak változása igen sokféle lehet, és a közölt energia mennyiségétől, intenzitásától és tartamától függ. Az 1. táblázat összesíti a szilárd test-sajátságok változásának a finomőrlés útján bekövetkező lehetőségeit. Egyik ilyen változás a felületnövekedés.

A *mechanikai aktiválás* jelentkezhet: A felület reakcióképességének növekedése folytán, pl. a friss törésfelületek telítetlen kötőerői miatt; a kristályok rácsszerkezetének megváltoztatása következtében, amelynek okai lehetnek *rácshibák* (azaz egyes atomok eltávolítása, ill. elmozdítása a kristályháló síkjából, ami a röntgen-interferenciák szélesedését eredményezi), *a rácsátalakulások* vagy módosulatváltozások és a kristályos szilárd test *amorfizálódása* (pl. a kvarc röntgenamorf sajátsága).

A rácsátalakulások végbemehetnek *a térrács megmaradása mellett* (pl. a szabályos térközpontos α-Fe-ból a szabályos felületen középpontos γ-Fe képződik); *a térrács átalakulásával* (pl. a rombos markazitból szabályos pirit, vagy a trigonális kalcitból rombos aragonit képződik).

„*Mechanokémiai reakció*" az ásványok finomőrlésekor felléphet mint oxidálás, redukálás stb. okozta *kémiai változás*, pl.

I. táblázat

Összesítés a finomőrlés (mechanikai energia) befolyásáról a szilárd anyagok fizikai és kémiai sajátságaira

Művelet	A szilárd test-tulajdonságok változása	Gyakorlati példák
Mechanikus aktiválás	I. Felületnövekedés	
	II. A felület reakcióképességének növekedése friss törési felületek telítetlen kötőerői által.	Szén—gyanta szétválasztása elektroszeparátorral. A felület „öregedése" rontja a szeparáció eredményét [4]
	III. Változás a térrácsban	
	1. Rácshibák. Atomok távozása a hálósíkból, ami a röntgeninterferenciák szélesítését okozza.	Számos fizikai és kémiai szilárd test-sajátság, mint pl. az energiakészlet, szinterezési és mágneses sajátságok, kémiai affinitás, oldhatóság stb. megváltozik.
	2. Térrács átalakulás (módosulatváltozás)	
	a) Átalakulás a kristályrendszer megmaradásával szabályos térközpontos α—Fe → szabályos felületi középpontos γ—Fe	
	b) Átalakulás a kristályrendszer megváltozásával Rombos markazit → szabályos pirit.	Hexagonális wurtzit → szabályos szfalerit — (stabil) Trigonális kalcit → rombos aragonit Hexagonális grafit → rombos grafit (nem szabályos) [8]
	3. A kristályos szilárd test amorfizálódása	Cellulóze és kvarc röntgenamorf viselkedése [9, 10]
Mechanokémiai reakció	IV. Kémiai átalakulás (oxidálódás, redukálódás, illó alkatrészek leválása)	$PbS + 2O_2 \rightarrow PbSO_4$: $Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4$ [11] $4FeCO_3 + O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2Fe_2O_3$ [3]
	V. Kémiai vegyület keletkezése különböző alkotókból	$ZnO + CO_2 \rightarrow ZnCO_3$ [3] $Na_2CO_3 + SiO_2 \rightarrow Na_2SiO_3 + CO_2$ $Si_2 + 4Cl_2 \rightarrow 2SiCl_4$ [12]
	VI. Organikus makromolekulák leépülése a főkötőerők szétválása következtében	Cellulóze, keményítő [9, 13]

$$PbS + 2O_2 \rightarrow PbSO_4$$

$$Fe_2O_3 \rightarrow Fe_3O_4$$

vagy pedig úgy, hogy különböző komponensekből képződnek kémiai vegyületek pl.

$$ZnO + CO_2 \rightarrow ZnCO_3 .$$

III. Kísérleti és munkaprogram

1. A kísérleti rezgőmalom

Annak érdekében, hogy az őrölt anyaggal nagy aprítási energiák legyenek közölhetők és a kísérleti eredmények az üzemi praxisnak megfelelőbbek legyenek, az őrlési kísérleteket egy nagyüzemi rezgőmalommal *(Humboldt—Palla 35 U)* végeztük el.

Maga az őrlés csatlós-edényekben történt, amelyeket az alsó őrlőcső mindkét végén erősítettünk fel. E 250 mm belső átmérőjű, 7 l űrtartalmú zárt edények térfogatának kb. 2/3-át 25 mm-es golyókkal töltöttük meg. A golyók és a malompáncélzat anyaga kemény mangánacél vagy korund volt. A következőkben a mangánacél golyókkal való őrlést mint *E*-őrlést, a korundgolyókkal való őrlést pedig mint *K*-őrlést jelöljük.

2. Az őrlés nyersanyaga

Az őrlésre kerülő ásványok kiválasztása több szempont alapján történt. A kvarc és a rutil nagy keménységű és nem hasad. A galenit és kriolit kis keménységű és jól hasad. A magnetitet azért választottuk, hogy a finomőrlésnek a mágneses sajátságokra való hatását vizsgálhassuk. A kvarcnak és kriolitnak inverziós pontjai (allotróp módosulatai) is vannak. Az őrlésre feladott ásványokat 0,2 mm-re előaprítottuk, és a 0,06 mm-nél finomabb részt eltávolítottuk, úgyhogy a következőkben „nullamintaként" jelölt feladás mindenkor $0{,}2 \div 0{,}06$ mm szemnagyságú volt.

3. A kísérletek lefolytatása

Az őrlések közel azonos kísérleti viszonyok mellett történtek. A malom fordulatszáma n = 1000/perc volt 10 mm lengési amplitúdó mellett. Egy-egy őrlési kísérlet kezdetén meghatározott ($500 \div 1800$ g között változó) mennyiségű nulla minta került feladásként az őrlőedénybe. E mennyiséget az ásvány fajsúlya szerint, továbbá a kísérlet folyamán kiveendő részminták száma és mennyisége szerint választottuk meg.

Meghatározott időközönként az őrlést megszakítva az őrleményből mintát vettünk, amit légmentesen záródó plasztikedénybe helyeztünk.

A maradványt az őrlőedénybe visszaöntve a következő részmintavételig tovább őröltük. Ilyen módon az őrlés előrehaladásával a kísérleti anyag mennyisége az őrlőedényben fokozatosan csökkent. Ezáltal a kísérlet végén nagyobb a fajlagos erőhatás az anyagra, mint kezdetben. Változatlan anyagmennyiség esetében hosszabb ideig tartó őrlés okozott volna az őrlemény sajátságaiban azonos változást.

IV. Kísérleti eredmények

1. Általános megjegyzés

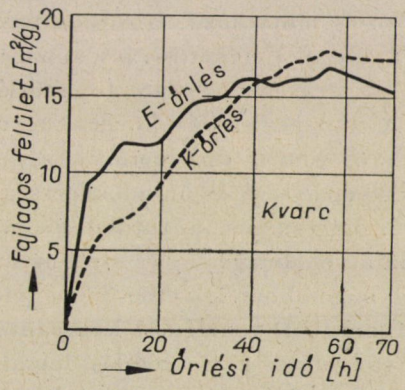
Az őrlési kísérletek folyamán a rezgőmalom felmelegedett. 6÷8 órás őrlési idő múlva érte el a hőmérséklet az egyensúlyi állapotát. A mangánacél golyókon alkalmazott hőfokérzékeny festékek színváltozása alapján ez kb. 90 C° volt. Vagyis a mechanikaiak mellett termikus energiákkal is számolni kell a kísérleti eredmények megítélésekor.

2. Felületmérés

Az őrleményminták fajlagos felületét a Ströhlein-cég areaméterével, az egyszerűsített BET gázadszorpciós módszer alapján határoztuk meg.

Meghatározott őrlési idő múlva a finomőrlés határához jutottunk, ahol a felület további növekedése megszűnt. Ekkor tehát a szemcseaprózódás és a szemcsenövekedés között egyensúlyi állapot (az őrlési egyensúly) jelentkezik. A finom szemcséket a van der Waals-erők durvább szemmé egyesítik, amely újra aprítódik, majd ismét agglomerálódik stb. A legfinomabb szemcsék durvább agglomerátummá való összeállása jól látható 225-szörös nagyítású szemcsecsiszolatokon.

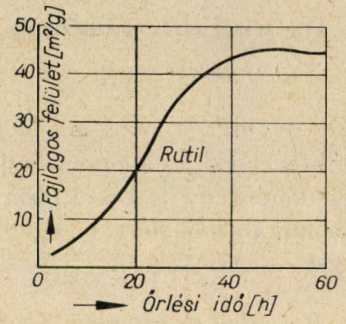
Kvarccal kb. 50 h őrlési idő múlva elérjük a maximális 16÷17 m^2/g felületet (1. ábra). Az *E*-őrlés már rövid őrlési idő múlva fellépő felületi ingadozásokat mutat, amelyek agglomerátumképződéssel magyarázhatók. A *K*-



1. ábra. A finomőrlés befolyása a kvarcőrlemény fajlagos felületére

őrlés a várakozásnak megfelelően kisebb fajlagos felületeket ad, de csak kb. 40 óránál kisebb őrlési idők mellett; hosszabb őrlésnél a felület még nagyobb lesz, mint az *E*-őrlésé.

A korundgolyók kisebb fajsúlya miatt ui. lényegesen gyengébb az agglomerátumképződés, ami az őrlés előrehaladásával még le is csökken. Ez lehet az oka a *K*-őrlés nagyobb végső felületértékeinek is.



2. ábra. A finomőrlés befolyása a rutilőrlemény fajlagos felületére

A kvarccal ellentétben a *rutil* — noha keménysége és hasadása a kvarcéval közel azonos — nem mutat agglomerálódásra hajlamot. A felületgörbéjének lefutása ezért simán folyamatos; 45 h múlva érte el a maximális ($\approx$45 m^2/g) értéket (2. ábra).

3. Röntgen-finomstruktúra vizsgálatok

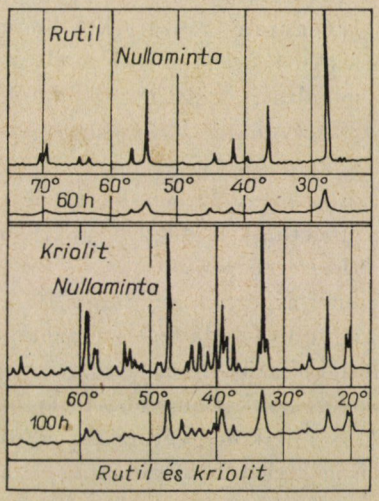
A röntgenelhajlási diagramokból látható, hogy az őrlés előrehaladásával az elhajlási vonalak szélesedése jár együtt, a vonalmagasságok csökkenésével és a felezőszélességek növekedésével.

A *rutilon* (TiO_2) és *krioliton* (Na_3AlF_6) hosszabb őrlési idő múlva az említett szélesedési jelenség mutatkozik, a rutilon valamivel erősebb mértékben, mint a krioliton (3. ábra). Mindkét ásvány vonalszélesedéséből a szemcsespektrum változására és az eredeti térrács finomőrlés utáni megzavarására lehet következtetni. A vonalszélesedés következtében a közel szomszédos vonalak feloldásában erős romlás észlelhető.

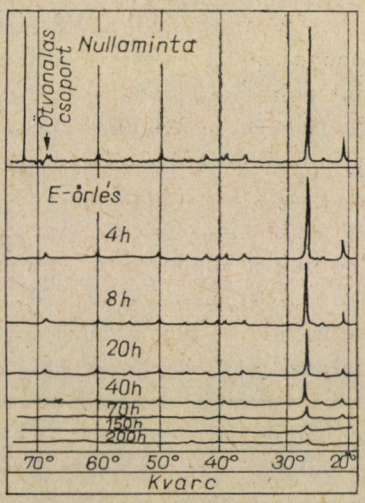
A kvárc és rutil keménysége és hasadóképessége közel azonos, a *kvarc* (SiO_2) röntgenelhajlási diagramjain a rutillal ellentétben mégsem lép fel vonalszélesedés, csupán a vonalmagasság és ezzel az integrális vonalintenzitás csökken (4. ábra). Legvilágosabban követhető ez a jelenség a röntgenelhajlási diagram legerősebb reflexű (101) vonalán. A kvarc integrális vonalintenzitásának csökkenését nyilvánvalóan a finomőrlés folyamán fokozatosan mind nagyobb mennyiségben képződő röntgenamorf kvarcfázis fellépése okozza.

Kvantitatív intenzitásmérések a három legerősebb interferenciavonalon igazolják, hogy a vonalak egymás közti intenzitásviszonya az őrlési idő függvényében ugyanaz marad. Ez érvényes mind az *E*-őrlésre, mind a *K*-őrlésre.

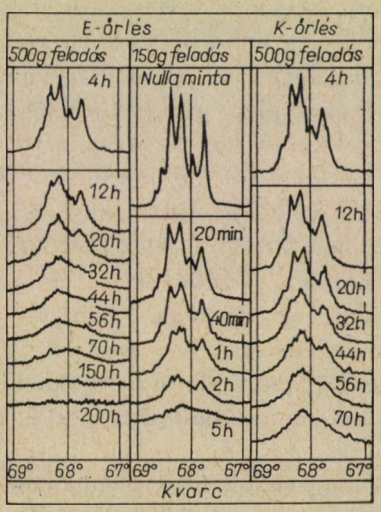
A kvarc térrácsának megítélésében tipikus és érzékeny mutatóként a röntgenelhajlási diagramján észlelhető jellegzetes ötvonalas csoport használható. Az ötvonalas csoport különleges felvételi körülmények mellett kapott röntgenelhajlási diagramjaiból (5. ábra) a következők olvashatók le:



3. ábra. A finomőrlés befolyása a rutil és kriolit röntgenelhajlási diagramjára



4. ábra. A finomőrlés befolyása a kvarc röntgenelhajlási diagramjára



5. ábra. A finomőrlés befolyása a kvarc ötvonalas csoportjára

a) Megerősítik az eddigi eredményt, amely szerint az őrlés előrehaladásával a kvarcon vonalszélesedés nem, hanem csupán a vonalmagasság csökkenése jelentkezik.

b) A korund-, illetve acélgolyókkal való őrlés összehasonlítása világosan mutatja, hogy a *K*-őrlés a kvarc vonalintenzitását kevésbé csökkenti, mint az *E*-rőlés.

Mivel mindkét őrlésmóddal, mint már előbb láttuk, közel azonos fajlagos határfelülethez jutunk, a kíméletesebb *K*-őrléssel nyilván kevesebb amorf kvarcrészleget kapunk, mint a nagyobb energiájú *E*-őrléssel.

A röntgenelhajlási diagramok továbbá világosan mutatják, hogy azonos 500 g mennyiségű feladás mellett a *K*-őrlés 70 h őrlési idővel ad olyan intenzitásgörbét, amilyet az *E*-őrlés 32 h-val szolgáltat. Nyilvánvaló ebből, hogy közel azonos rácssajátságok eléréséhez korundgolyókkal kb. kétszer hosszabb őrlési idő szükséges, mint acélgolyókkal.

c) Összehasonlítva — egyébként változatlan kísérleti viszonyok mellett — az 500 g és 150 g mennyiségű feladások röntgenelhajlási diagramjait, jól kitűnik a feladás mennyiségének befolyása az őrlési eredményre.

5 h őrlési idő és 150 g feladás azonos intenzitásgörbét ad, mint 70 h őrlési idő és 500 g feladás, vagyis háromszor nagyobb feladás esetén azonos intenzitásgörbe eléréséhez 12-szer hosszabb őrlési idő szükséges.

Az őrlőedényben az ásvány mechanikai kezelése sokkal nagyobb fajlagos energiájú és intenzívebb — vagyis az ásvány sajátságainak megváltoztatásához rövidebb időre van szükség — kis feladási mennyiségek esetében, mint nagyobb mennyiségek esetében.

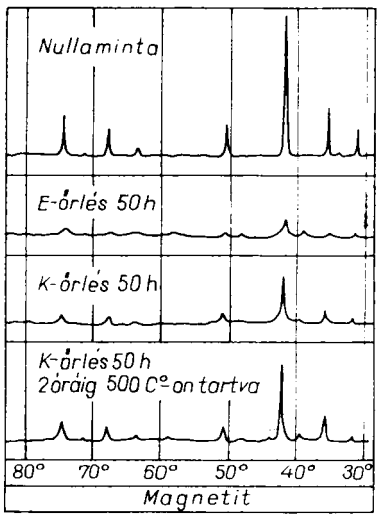
A *magnetit* (Fe_3O_4) őrlésekor mindkét őrlési módnál az őrlési idő előrehaladásával az őrlemény fokozatosan mindinkább vörösre színeződik. Ez az optikai jelenség a magnetit kémiai változására utal. A röntgenelhajlási diagramokon ennek megfelelően a már megismert vonalszélesedés mellett új vonalak is jelentkeznek, amelyek hematit (Fe_2O_3) vonalakként azonosíthatók. (6. és 7. ábra). *K*-őrlésnél ezek jóval gyengébben képződnek, mint *E*-őrléssel.

K-őrléssel 50 h idővel kapott magnetitőrlemény mintáján a rácszavarok megszüntetése céljából hőkezelést alkalmaztunk: Vákuumcsőben 10^{-3} Torr nyomáson két óra hosszat 500 C°-on tartottuk a mintát. A röntgendiagram ezután élesebb vonalakat mutatott, a felezőszélesség csökkent és a vonalhosszak növekedtek, de mindez — amint felületméréssel kimutatható volt — nemcsak a rácshibák „meggyógyulásának", hanem a fajlagos felület csökkenésének is következménye lehetett.

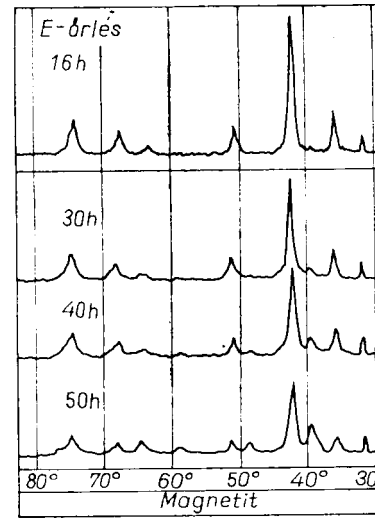
Hogy a mintaanyag fajlagos felülete ne csökkenjen, a hőkezelést alacsonyabb hőmérsékleten és nagyobb vákuumban ($\approx 10^{-f}$ Torr) hosszabb időn át kellett volna alkalmazni.

A röntgenelhajlási diagramból közvetlenül nem állapítható meg, hogy vajon az α-Fe_2O_3 fázis, a hematit mellett a γ-Fe_2O_3 fázis, a maghematit is

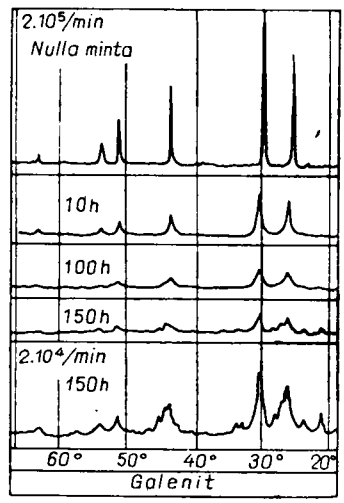
jelen van-e? Ezért porcsiszolatokat készítettünk és azokat ércmikroszkóppal vizsgáltuk. E vizsgálat szerint a magnetit őrlésekor hematit mellett maghemit is képződik. A magnetit oxidálódás okozta kémiai változása mindkét őrlési módnál már 30 perces idő múlva röntgenografikusan megállapítható. Az Fe_2O_3-tartalom fokozatos növekedése az érzékenyebb mérési pontossággal felvett diagramokon jól követhető. A különböző fázisok jelentkezése a magnetit 50 h őrlési időhöz tartozó röntgenelhajlási diagramján jól kivehető.



6. ábra. A finomőrlés befolyása a magnetit röntgenelhajlási diagramjára



7. ábra. A finomőrlés befolyása a magnetit röntgenelhajlási diagramjára



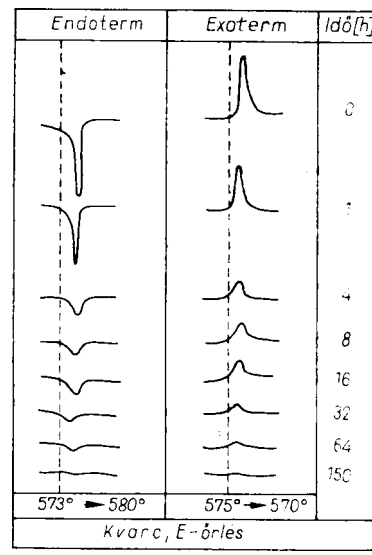
8. ábra. A finomőrlés befolyása a galenit röntgenelhajlási diagramjára

A *galenit* röntgenelhajlási diagramjain a vonalszélesedés igen jól megfigyelhető (8. ábra). A galenit plasztikus sajátságai miatt finomőrlésekor igen erős rácszavarokra számíthatunk. A röntgenelhajlási diagramban fellépő vonalszélesedések főleg rácszavarok következményének tekinthetők. Hosszabb őrlési idő múlva új vonalak jelennek meg, amelyek az anglezit ($PbSO_4$) vonalaiként identifikálhatók. A galenitnak „Spexmixerben" való őrlésekor oxidálódás nem lép fel. A galenit anglezitté oxidálódása nyilvánvalóan csak intenzív és hosszantartó finomőrlésnél következik be.

A röntgenografikus észlelést porcsiszolat ércmikroszkópos vizsgálata is igazolja.

4. *Differenciál-termoanalitikus vizsgálatok*

A kvarc és kriolit röntgenelhajlási felvételeivel párhuzamosan differenciál-termoanalízist is végeztünk. A *kvarc* különbözeti hőmérsékletgörbéjének



9. ábra. A finomőrlés befolyása a kvarc *DT*-görbéjére

(*DT*-görbéjének) endoterm és exoterm lefutása észlelhető különböző őrlési időtartamoknál (9. ábra). A kvarc röntgenvonalaival összhangban a *DT*-görbék magassága is csökken az őrlési idő előrehaladásával. Ez a jelenség is az őrlési idővel fokozatosan növekvő amorf kvarcfázis képződésére utal, ami a röntgenografikus eredményeket megerősíti.

A kvarccal ellentétben a *kriolit DT*-görbéit a finomőrlés alig befolyásolja. A kísérleteket a *Berlini Műszaki Egyetem Ásványelőkészítési Intézetében* doktorandusként dolgozó munkatársam, Dipl.-Ing. Lindner végezte.

A nagyszámú vizsgálati eredmény értékelése még folyamatban van. Az eddigi eredményekből is nyilvánvaló azonban, hogy a rezgőmalomban való finomőrlés területén igen érdekes problémák adódnak, amelyek a gyakorlatban is bizonyára jelentőségre tehetnek szert.

IRODALOM

1. HEDVAL, J. A.: Einführung in die Festkörperchemie. Friedr. Vieweg und Sohn, Braunschweig, 1952, 48.
2. SMEKAL, A. G.: HEDVAL, J. A. *Proceedings of the Intern. Symposium on the Reactivity of Solids Gotenburg* (1952), 131. In Zur Struktur und Materie der Festkörper. Springer, Berlin—Göttingen—Heidelberg 1955; 228—229.
3. PETERS, K.: Mechanochemische Reaktionen In RUMPF, H.: Symposion Zerkleinern; VDI-Verlag, Weinheim 1962.
4. MATHIAK, H.: Ein Beitrag zur Gewinnung von Kohlenharzen. Dissertation, Technische Universität Berlin 1963; 52.
5. NAESER, G.—SCHOLTZ, W.—FIEDLER, A.: Änderung des Energie-inhaltes von Kochsalz, Zinkoxyd und Kupferpulver in Abhängigkeit von der Mahldauer, ein Beispiel zur Frage der mechanische Aktivierung und Passivierung von festen Stoffen. *Kolloid-Zeitschrift* **188** (1963), 147—151.
6. NAESER, G.—SCHOLTZ, W.—FIEDLER, A.: Zur Frage der mechanischen Aktivierung und Passivierung: Einfluss des Mahlverfahrens und des Mühlenwerkstoffes auf das Sintern von keramischen Oxyden. *Ber. DKG* **39** (1962), 280—285.
7. SCHNÜRPEL, W.: Dimplomarbeit. Institut für Aufbereitung, TU Berlin 1964 (unveröffentlicht).
8. NAESER, G.—SCHOLTZ, W.: Die Aktivierung und Passivierung von chemischen Reaktionen und Sintervorgängen durch eine mechanische Bearbeitung. *Ber. DKG* (1962), 106—114.
9. DETERS, W.: Untersuchungen über die mechanochemischen Effekte bei der Schwingmahlung von Cellulose und Cellulosetriacetat (Dissertation). TH für Chemie Leuna—Merseburg 1961.
10. TALBOT, J. H.—KEMPIS, E. B.: Der Einfluss der Vermahlung auf Quarz-Teilchen. *Nature* **197** (1963), 66.
11. NAESER, G.—SCHOLTZ, W.: Der Einfluss einer mechanischen Bearbeitung auf das Reaktionsvermögen von festen Stoffen. *Kolloid-Zeitschrift* **158** (1958), 1—8.
12. KÖSTER, A.: Über eine präparative Methode zur Darstellung flüchtiger Chloride. *Angewandte Chemie* **69** (1957), 563.
13. BISCHOF, K.: Untersuchungen über den Schwingmahlab- und umbau von Polymethacrylsäuremethylester und Polystyrol (Dissertation). TH für Chemie Leuna-Merseburg 1960.

A FESZÜLTSÉGFÜGGVÉNY KERÜLETI FELTÉTELEI TÁBLÁK ÉS HÉJAK SZABAD PEREMSZAKASZÁN

CSONKA PÁL
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA
AZ MTA ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI MUNKAKÖZÖSSÉGE, BUDAPEST

[Beérkezett 1966. szeptember 26-án]

A dolgozat membránszerű feszültségi állapotban levő táblák, illetve héjak Airy- illetve Pucher-féle feszültségfüggvényének kerületi feltételeit állapítja meg e szerkezetek teljesen szabad peremszakaszán. A levezetett eredmények tetszőleges megoszló erőkkel (kerületi és tömegerőkkel) terhelt táblákra és tetszőleges (nemcsak az alapsíkra merőleges) megoszló erőkkel terhelt héjakra egyaránt érvényesek.

1. Bevezetés

Szerző egyik előző dolgozatában [1] függélyes megoszló erőkkel terhelt héjak Pucher-féle $F = F(x, y)$ feszültségfüggvényének kerületi feltételeivel foglalkozott. Kimutatta, hogy ez a függvény a héj szabad peremszakaszán a

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial x} &= A\,, \\ \frac{\partial F}{\partial y} &= B\,, \\ F &= Ax + By + C \end{aligned} \tag{1}$$

feltételeknek tartozik megfelelni, ahol A, B és C egy-egy szabad peremszakaszra nézve állandó érték. Ha a héjnak csupán egyetlen egy szabad peremszakasza van, akkor az (1) kerületi feltételek szigoríthatók, nevezetesen előírható, hogy az említett peremszakaszon

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial x} &= 0\,, \\ \frac{\partial F}{\partial y} &= 0\,, \\ F &= 0 \end{aligned} \tag{2}$$

legyen.

Mindazok a megfontolások, melyek membránhéjak esetében az (1) és (2) képletekre vezettek, membránszerű feszültségi állapotban levő táblák Airy-féle $F = F(x, y)$ feszültségfüggvényére nézve változatlanul megismételhetők, feltéve, hogy a szóban forgó táblák csak peremeiken vannak terhelve. Ezért az (1) és (2) kerületi feltételek értelemszerűen módosítással az említett táblák teljesen szabad peremszakaszára szintén érvényesek.

A jelen tanulmány célja az (1) és (2) képleteknek tetszőleges megoszló erőkkel (peremerőkkel és tömegerőkkel) terhelt táblákra és tetszőleges (nemcsak az alapsíkra merőleges) megoszló erőkkel terhelt héjakra való általánosítása. A levezetendő összefüggések szoros kapcsolatban állanak az Airy-féle feszültségfüggvény fizikai jelentésére vonatkozó, TREFFTZ, E. [2] és SOBRERO, L. [3] által levezetett tételekkel, melyeknek tetszőleges megoszló erőkkel terhelt táblákra és héjakra való módosított alakját FINZI, L. [4] állapította meg. Az alábbiak ezen tételek további általánosítására nyújtanak lehetőséget.

2. Az Airy-féle feszültségfüggvényre vonatkozó kerületi feltételek

A jelen pont keretében tetszőleges erőkkel (peremerőkkel és tömegerőkkel) terhelt sík táblákkal foglalkozunk. Vizsgálatainkat a tábla középsíkjába helyezett $0(x, y)$ koordinátarendszerben végezzük. A táblára ható tömegerők x, y irányú alkotóit a

$$g_x = g_x(x, y), \qquad g_y = g_y(x, y)$$

teherfüggvényekkel jellemezzük.

A tábla feszítő erői, mint ismeretes, az

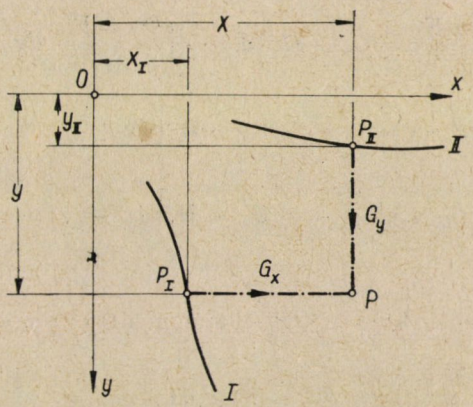
$$\begin{aligned} n_x &= \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} - G_x \\ n_{xy} = n_{yx} &= -\frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y}, \\ n_y &= \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - G_y \end{aligned} \tag{3}$$

képletekkel fejezhetők ki, ahol $F = F(x, y)$ az Airy-féle feszültségfüggvény, G_x és G_y jelentése pedig

$$G_x = \int_{x_I}^{x} g_x \, dx, \qquad G_y = \int_{y_{II}}^{y} g_y \, dy \, . \tag{4}$$

A fenti képletekben szereplő határozott integrálok felső határa a vizsgálati pont x, illetve y koordinátája, az integrálok alsó határa pedig szabadon választ-

ható. Ha az alsó határpontot az 1. ábrán *I*-gyel, illetve *II*-vel jelölt görbén vesszük fel, akkor a P pontbeli G_x, illetve G_y értékek számításakor az integrálást a $P_I P$, illetve $P_{II} P$ egyenes szakaszokra kell kiterjesztenünk. Maguk az *I*, illetve *II* jelű görbék tetszőlegesen választhatók, azzal a megszorítással azonban, hogy az x, illetve y irányú egyenesek az *I*, illetve *II* görbét legfeljebb egy-egy pontban metszhetik.



1. ábra. A $P_I P$ és $P_{II} P$ egyenes szakaszok

Ezek előrebocsátása után jelöljük ki a tábla középsíkjában valamely $P_1 P_2$ görbét, s tekintsük ezen a haladás irányát a P_1 pontból a P_2 pont felé irányulólag pozitívnak. Legyenek a P_1, illetve P_2 pont koordinátái x_1 és y_1, illetve x_2 és y_2, a $P_1 P_2$ görbe egy általános pontjának koordinátái pedig x és y.

Jelöljük a $P_1 P_2$ görbe haladás szerinti bal oldalán levő táblarész által a jobb oldali táblarészre gyakorolt erők R eredőjének x, illetve y irányú alkotóját R_x, illetve R_y betűvel, az R eredőnek a P_2 pontra vonatkoztatott nyomatékát pedig M betűvel, s határozzuk meg ezen mennyiségek értékét.

Az R_x, R_y és M érték számításakor a $P_1 P_2$ vonalszakaszra jutó erők helyett az ezeket egyensúlyozó erőkkel, mégpedig a $P_1 P_2 Q$ táblarészre jutó többi erővel célszerű dolgozni. Ebben az esetben az R_x, R_y és M értékét így fejezhetjük ki:

$$
\begin{aligned}
R_x &= \int_Q^{P_2} (n_x - H_x)\, dy + \int_Q^{P_1} n_{yx}\, dx\,, \\
R_y &= \int_Q^{P_1} (n_y - H_y)\, dx + \int_Q^{P_2} n_{xy}\, dy\,, \\
M &= \int_Q^{P_2} (y_2 - y)\,(n_x - H_x)\, dy + \\
&\quad + \int_Q^{P_1} (x - x_2)\,(n_y - H_y)\, dx + (y_2 - y_1) \int_Q^{P_1} n_{yx} \cdot dx\,.
\end{aligned}
\tag{5}
$$

A fenti képletekben H_x és H_y jelentése:

$$H_x = \int_{x_2}^{x} g_x \cdot dx\,, \qquad H_y = \int_{y_1}^{y} g_y \cdot dy\,. \tag{6}$$

Az (5) képletek a (3) alattiak behelyettesítésével a következőképp írhatók:

$$\begin{aligned}
R_x &= \int_Q^{P_2} \left(\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} - G_x - H_x\right) dy - \int_Q^{P_1} \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y}\, dx\,,\\
R_y &= \int_Q^{P_1} \left(\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - G_y - H_y\right) dx - \int_Q^{P_2} \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y}\, dy\,,\\
M &= \int_Q^{P_2} (y_2 - y)\left(\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} - G_x - H_x\right) dy +\\
&\quad + \int_Q^{P_1} (x - x_2)\left(\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} - G_y - H_y\right) dx - (y_2 - y_1)\int_Q^{P_1} \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y}\, dx\,.
\end{aligned} \tag{7}$$

Ha tekintetbe vesszük, hogy a QP_2 vonal mentén, vagyis az $x = x_2$ helyen

$$G_x = \int_{x_I}^{x_2} g_x\, dx\,,$$

a QP_1 vonal mentén, vagyis az $y = y_1$ helyen pedig

$$G_y = \int_{y_{II}}^{y_1} g_y\, dy\,,$$

akkor a (6) alattiak felhasználásával a $G_x + H_x$, illetve a $G_y + H_y$ mennyiségeket így fejezhetjük ki:

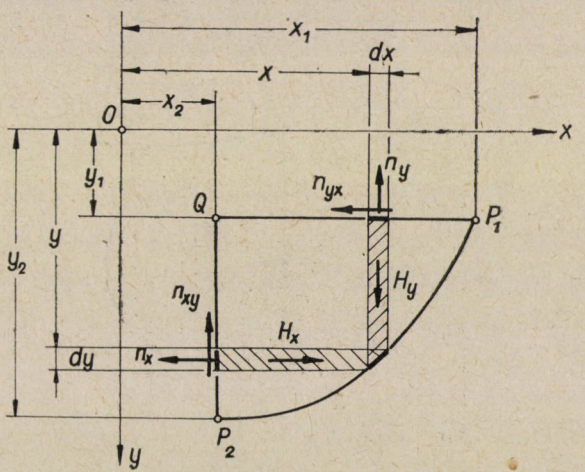
$$\begin{aligned}
G_x + H_x &= \int_{x_I}^{x_2} g_x\, dx + \int_{x_2}^{x} g_x\, dx = \int_{x_I}^{x} g_x dx\,,\\
G_y + H_y &= \int_{y_{II}}^{y_1} g_y\, dy + \int_{y_1}^{y} g_y\, dy = \int_{y_{II}}^{y} g_y\, dy\,.
\end{aligned}$$

Ezen értékeket a (7) képletekbe betéve, a következő képleteket kapjuk:

$$\begin{aligned}
R_x &= \int_Q^{P_2} \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}\, dy - \int_Q^{P_1} \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y}\, dx - \int_Q^{P_2}\int_{x_I}^{x} g_x \cdot dx \cdot dy\,,\\
Ry &= \int_Q^{P_1} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}\, dx - \int_Q^{P_2} \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y}\, dy - \int_Q^{P_1}\int_{y_{II}}^{y} g_y \cdot dy \cdot dx\,,\\
M &= \int_Q^{P_2} (y_2 - y)\frac{\partial^2 F}{\partial y^2}\, dy + \int_Q^{P_1} (x - x_2)\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}\, dx -
\end{aligned} \tag{8}$$

$$-(y_2 - y_1)\int_Q^{P_1} \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y}\,dx - \int_Q^{P_2} (y_2 - y)\int_{x_I}^{x} g_x \cdot dx \cdot dy -$$

$$-\int_Q^{P_1} (x - x_2)\int_{y_{II}}^{y} g_y \cdot dy \cdot dx\,.$$



2. ábra. A vizsgált táblarész

A fenti képletekben az

$$\int_Q^{P_2}\int_{x_I}^{x} g_x \cdot dx \cdot dy \equiv R_I \tag{9}$$

kifejezés nem más, mint a 3. ábrán vízszintesen csíkozott $P_1P_2P_2^IP_1^I$ táblarészre jutó x irányú tömegerők R_I eredője, az

$$\int_Q^{P_2} (y_2 - y)\int_{x_I}^{x} g_x \cdot dx \cdot dy \equiv M_I \tag{10}$$

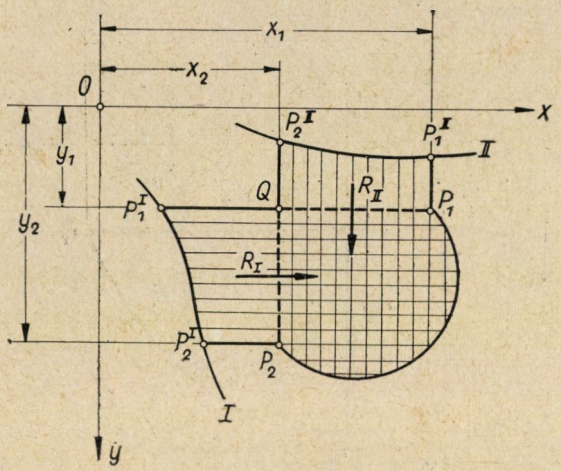
kifejezés pedig ezen R_I eredőnek a P_2 pontra felírt M_I nyomatéka. Hasonlóképp az

$$\int_Q^{P_1}\int_{y_{II}}^{y} g_y \cdot dy \cdot dx \equiv R_{II} \tag{11}$$

kifejezés a 3. ábrán függélyes csíkozással jelzett $P_1P_2P_2^{II}P_1^{II}$ táblarészre jutó y irányú tömegerők R_{II} eredőjét, az

$$\int_Q^{P_1} (x - x_2)\int_{y_{II}}^{y} g_y \cdot dy \cdot dx \equiv M_{II} \tag{12}$$

kifejezés pedig ezen R_{II} eredőnek a P_2 pontra való nyomatékát jelenti. Az ábrán szereplő I, illetve II jelű görbék, mint említettük, tetszőleges olyan görbék, melyeket az x, illetve y irányú egyenesek legfeljebb egy-egy pontban metszenek.



3. ábra. Az R_I és R_{II} eredők

A (8) képletekben szereplő többi integrálkifejezés értéke egyszerű, illetve parciális integrálással határozható meg:

$$\int_Q^{P_2} \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}\,dy - \int_Q^{P_1} \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y}\,dx = \left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_{P_2} - \left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_{P_1},$$

$$\int_Q^{P_1} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}\,dx - \int_Q^{P_2} \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y}\,dy = \left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P_1} - \left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P_2},$$

$$\int_Q^{P_2} (y_2 - y) \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}\,dy = y_2 \int_Q^{P_2} \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}\,dy - \int_Q^{P_2} y \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}\,dy =$$

$$= -y_2 \left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_Q + y_1 \left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_Q + [F]_{P_2} - [F]_Q, \tag{13}$$

$$\int_Q^{P_1} (x - x_2) \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}\,dx = -x_2 \int_Q^{P_1} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}\,dx + \int_Q^{P_1} x \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}\,dx =$$

$$= -x_2 \left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P_1} + x_1 \left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P_1} - [F]_{P_1} + [F]_Q,$$

$$\int_Q^{P_1} \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y}\,dx = \left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_{P_1} - \left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_Q.$$

Ha az így nyert (9)—(13) kifejezéseket a (8) képletekbe behelyettesítjük, egyszerűsítés után azt találjuk, hogy

$$\begin{aligned} R_x &= \left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_{P_2} - \left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_{P_1} - R_{\mathrm{I}}\,, \\ R_y &= -\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P_2} + \left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P_1} - R_{\mathrm{II}}\,, \\ M &= [F]_{P_2} - [F]_{P_1} - x_2\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P_1} - y_2\left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_{P_1} + \\ &\quad + x_1\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P_1} + y_1\left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_{P_1} - M_{\mathrm{I}} - M_{\mathrm{II}}\,. \end{aligned} \tag{14}$$

Az eddigiekben a P_1P_2 vonalszakasz mindkét végpontját fix helyzetűnek tekintettük. A következőkben csak a P_1 pontot tekintjük fixnek, a P_2 pontot pedig adott görbevonalon pozitív irányban futó pontként kezeljük. Ennek megfelelőleg a továbbiakban P_2 helyett egyszerűen P-t írunk, e pont koordinátáit pedig x_1 és y_1 helyett x és y betűvel jelöljük. Ugyanakkor bevezetjük a

$$\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P_1} = \mathrm{const} \equiv A\,,$$

$$\left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_{P_1} = \mathrm{const} \equiv B\,,$$

$$x_1\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P_1} + y_1\left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_{P_1} - [F]_{P_1} = \mathrm{const} \equiv -C$$

jelöléseket. E módosításokkal a (14) képletek helyett ezeket írhatjuk:

$$\begin{aligned} R_x &= \left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_{P} - B - R_{\mathrm{I}}\,, \\ R_y &= -\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P} + A - R_{\mathrm{II}}\,, \\ M &= [F]_P - Ax - By - C - M_{\mathrm{I}} - M_{\mathrm{II}}\,. \end{aligned} \tag{15}$$

Fenti képletek szerint

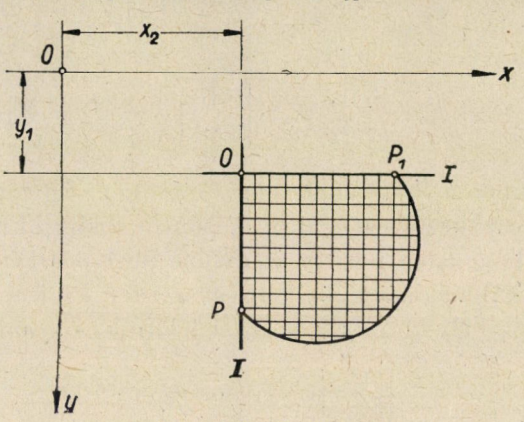
$$\begin{aligned} \left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_{P} &= -R_y - R_{\mathrm{II}} + A\,, \\ \left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_{P} &= R_x + R_{\mathrm{I}} + B\,, \\ [F]_P &= M + M_{\mathrm{I}} + M_{\mathrm{II}} + Ax + By + C\,, \end{aligned} \tag{16}$$

illetve, ha a feszültségszámítás szempontjából jelentéktelen lineáris tagoktól eltekintünk, akkor

$$\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_P = -R_y - R_{II}\,,$$

$$\left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_P = R_x + R_I\,, \tag{17}$$

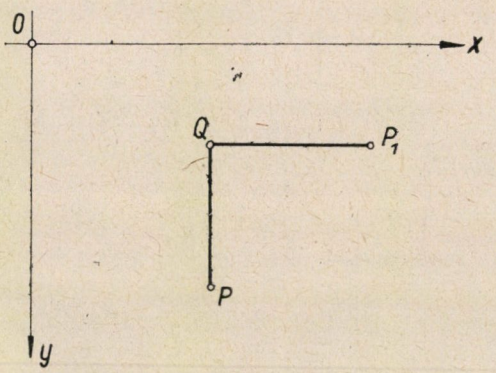
$$[F]_P = M + M_I + M_{II}\,.$$



4. ábra. A P_1PQ táblarész

Ha az eddigi levezetésekben szereplő *I*, illetve *II* jelű görbék gyanánt az $x = x_2$, illetve $y = y_1$ egyeneseket választjuk (4. ábra), akkor a (17) képletekben az R_I, illetve R_{II} mennyiség a P_1PQ táblarészre ható tömegerők x, illetve y irányú alkotóját, az $M_I + M_{II}$ kifejezés pedig a P_1PQ táblarészre ható tömegerőknek a futó P pontra felírt nyomatékát jelenti.

Természetesen a P_1P_2 görbe maga is tetszőlegesen jelölhető ki. Ha e célra a P_1QP szögletvonalat választjuk (5. ábra), akkor a P_1QP terület egyetlen



5. ábra. A P_1QP szegletvonal

vonallá zsugorodik össze. Ilyenkor $R_{\mathrm{I}} = 0$, $R_{\mathrm{II}} = 0$, $M = 0$, s így a (17) képletek a Finzi, L.-féle

$$\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_P = -R_y\,,$$

$$\left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_P = R_x\,, \tag{18}$$

$$[F]_P = M$$

képletekbe [4] mennek át. Ezek a képletek — miként azt FINZI, L. megállapította — a feszültségfüggvény egyszerű fizikai értelmezésére nyújtanak lehetőséget: a feszültségfüggvény P pontbeli x, illetve y szerinti parciális deriváltja — előjeltől eltekintve — a P_1QP szegletvonal egyik oldalára ható belsőerők eredőjének y, illetve x irányú alkotójával egyenlő; a feszültségfüggvény P pontbeli értéke pedig a szegletvonal egyik oldalára ható belső erők nyomatékával azonos.

Érdekes alakot öltenek a (17) képletek abban az esetben is, ha az *I* és a *II* jelű görbe céljára magát a P_1P görbét választjuk. Ez esetben ismét

$$R_{\mathrm{I}} = 0\,, \quad R_{\mathrm{II}} = 0\,, \quad M = 0\,,$$

tehát

$$\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_P = -R_y\,,$$

$$\left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_P = R_x\,, \tag{19}$$

$$[F]_P = M\,.$$

Az utóbbi képletek, bár formájukat illetően a Finzi-féle képletekkel azonosak, azoknál tágabb tartalmúak. A (19) képletek szerint ui. a feszültségfüggvény x, illetve y szerinti parciális deriváltja — előjeltől eltekintve — a P_1P görbe egyik oldalára ható belsőerők eredőjének x, illletve y irányú alkotójával egyenlő; a feszültségfüggvény P pontbeli értéke pedig a P_1P görbe egyik oldalára ható belsőerők nyomatékával azonos. Ezek szerint a Finzi-féle tételek nemcsak a P_1QP szegletvonalra, hanem a tetszőleges P_1P görbére is érvényesek, feltéve, hogy az x, illetve y irányú egyenesek a P_1P görbét nem metszik egynél több pontban.

Természetesen, a (19) képletek olyankor is alkalmazhatók, midőn a P_1P görbe a tábla teljesen szabad peremvonala. Ilyenkor a P_1P görbe mentén a táblára semmiféle erő sem hat, tehát

$$R_x = 0\,, \quad R_y = 0\,, \quad M = 0\,,$$

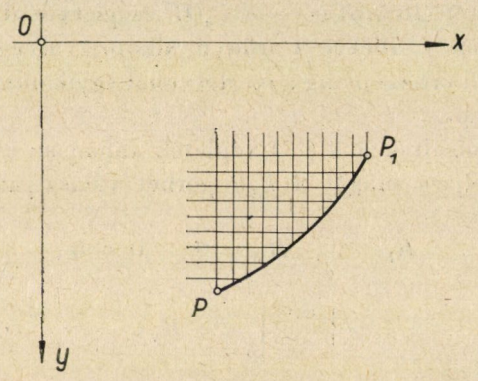
miért is a (19) képletek a következőképp egyszerűsbödnek:

$$\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_P = 0\,,$$

$$\left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_P = 0\,, \tag{20}$$

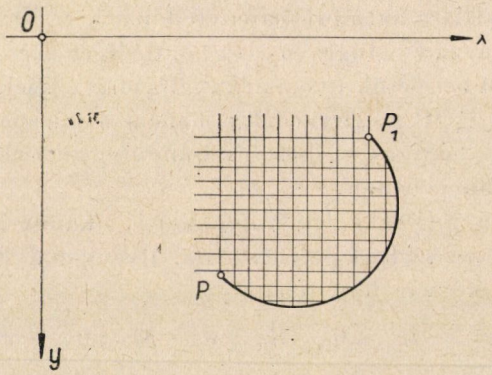
$$[F]_P = 0\,.$$

A fenti képletek alakjukra nézve azonosak a csupán peremerőkkel terhelt táblák szabad peremvonalára vonatkozó képletekkel [1], érvényességük azonban tömegerők jelenléte esetében némiképp korlátozott. Ezek a képletek ui. a szabad peremvonalnak csak arra a szakaszára érvényesek, melyet az x, illetve y irányú egyenesek legfeljebb egy-egy pontban metszenek (6. ábra).



6. ábra. A P_1P szabad peremvonal szakaszt az x és az y irányú egyenesek csak egy pontban metszik

Az általánosabb esetben, tehát olyankor, amidőn az x vagy y irányú egyenesek (vagy azok közül egyesek) a P_1P szabad peremvonal szakaszt egynél több pontban metszik (7. ábra), a teljesen szabad peremvonalra vonatkozó kerületi feltételeket a (17) képletekből az



7. ábra. A P_1P szabad peremvonal szakaszt egyes x és y irányú egyenesek két pontban metszik

$$R_x = 0\,, \quad R_y = 0\,, \quad M = 0$$

helyettesítésekkel levezethető következő egyenletek fejezik ki:

$$\left[\frac{\partial F}{\partial x}\right]_P = -R_{II}\,,$$

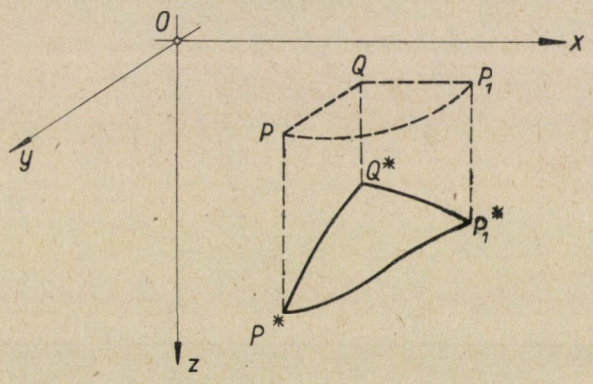
$$\left[\frac{\partial F}{\partial y}\right]_P = R_I\,, \tag{21}$$

$$[F]_P = M_I + M_{II}\,.$$

3. A Pucher-féle feszültségfüggvényre vonatkozó kerületi feltételek

A jelen pont keretében azt vizsgáljuk meg, miként lehet a membránhéj teljesen szabad peremszakaszán a Pucher-féle feszültségfüggvény kerületi feltételeit kifejezni, ha a héjra tetszőleges (nemcsak az alapsíkra merőleges) megoszló erők hatnak.

Vizsgálatainkat olyan $0(x, y, z)$ derékszögű koordinátarendszerben végezzük, melynek x és y tengelyei a héj alaprajzi síkjával párhuzamosak. A héjra ható terhek x, y, z irányú alkotóit a héjalaprajz területegységére vonatkoztatott g_x, g_y, g_z fajlagos teherértékekkel, a héj belsőerőit pedig az n_x, n_{xy}, n_{yx}, n_y redukált feszítőerőkkel jellemezzük. Utóbbiak ugyanolyan kapcsolatban állanak a héj Pucher-féle $F = F(x, y)$ feszültségfüggvényével, mint a tetszőleges erőkkel terhelt táblák feszítőerői az Airy-féle $F = F(x, y)$ feszültségfüggvénnyel. Ebből az azonosságból következik, hogy az előző pontban levezetett tételek értelemszerű módosítással membránhéjakra is érvényesek. Ez esetben, természetesen, a P_1P vonal a héj középfelületére rajzolt $P_1^*P^*$ vonal alaprajzi vetületét jelenti (8. ábra), a képletekben szereplő erőkön és nyomatékokon pedig a vetületi erőket és azok nyomatékát kell érteni.



8. ábra. A héj középfelületére rajzolt $P_1^*P^*$ vonal s annak alaprajzi vetülete

IRODALOM

1. CSONKA, P.: Membrane Shells with Perfectly Free Edges. *Acta Techn. Hung.* **40** (1962), 151—167.
2. TREFFTZ, E.: Mathematische Elastizitätstheorie; Handbuch der Physik, VI. Julius Springer, Berlin 1928.
3. SOBRERO, L.: Del significato meccanico della funzione di Airy. *Rendiconti dell'Accademia Naz dei Lincei* **21** (1935); Ricerche di Ingegneria **3** (1935).
4. FINZI, L.: Sulle equazioni di Pucher nell'equilibrio delle strutture a guscio. Instituto di Scienza delle Construzioni del Politecnico di Milano, Publicazione No 42. Estratto dai *Rendiconti Classe di Scienze* **88** (1955).

AZ EGYENESTENGELYŰ KÖRKERESZTMETSZETŰ RUGALMAS RÚD CSAVARÁS OKOZTA KIHAJLÁSA

BARTA JÓZSEF
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1966. november 17-én]

Szerző a címben megjelölt feladat kidolgozása kapcsán felhívja a figyelmet arra, hogy a kihajlási feladatok megoldásánál a statikai módszer még egyszerű esetekben sem vezet mindig helyes eredményre. A statikai módszerrel nyert eredmény helyességét kinetikai módszerrel ellenőrzi.

Az alábbi fejtegetések egyenestengelyű körkeresztmetszetű rugalmas rúdra vonatkoznak. Feltesszük, hogy a teher (vagyis a rúdra működő aktív erők rendszere) olyan erőpár, mely a rúd végére működik és vektora a nyugalmi helyzetben is (pl. 1a. és 2a. ábra) és a kilengett helyzetben is (pl. 1b. és 2b. ábra) a véglapok A és B középpontjait összekötő egyenesbe esik. Az M pozitív skaláris jelentése e vektor nagyságát, M_k pedig azt a határt, amely azzal van jellemezve, hogy minden M_k-nál kisebb M esetében az AB egyenessel jellemzett nyugalmi helyzet stabilis. M_k tehát az ún. *kritikus csavaró nyomaték*, más szóval a kihajlási csavaró nyomaték. Felmerül a kérdés: M_k mekkora?

Ezt a kérdést az 1. ábrán feltüntetett esetben az irodalom már tárgyalta [1] és arra az eredményre jutott, hogy

$$M_k = \frac{2\pi EI}{l}, \tag{1}$$

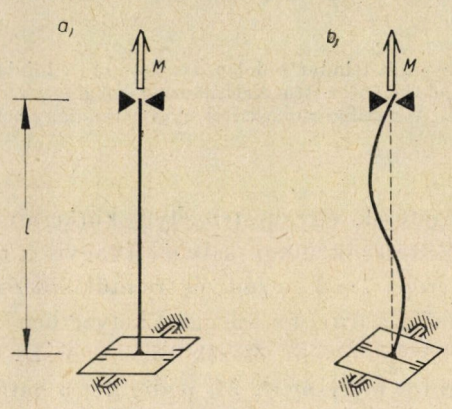
ahol EI a rúd hajlítási merevsége. Az (1) képlet levezetése azonban *statikai* módszerrel történt. Ezért fel kell vetni a kérdést: Jogos volt-e a statikai módszer alkalmazása?

Ennek a kérdésnek az eldöntésére a kinetikai módszer [2] használható fel. E módszer alkalmazásakor nemcsak a terhelésre, hanem arra is figyelemmel kell lenni, hogy az alakzat miképpen van megtámasztva. Ha a rúd az 1. ábra szerint van terhelve és megtámasztva (mindkét végén van megtámasztva), akkor TROESCH megállapítása szerint [3] a kinetikai módszer is az (1) eredményre vezet. — Az 1. ábrán feltüntetett terhelési és megtámasztási esetben tehát a statikai módszer helyes eredményre vezetett.

Most vegyük szemügyre a 2. ábrán feltüntetett terhelési és megtámasztási esetet (a rúd alsó vége befogott, a felső vége szabad). Feltesszük a kérdést,

vajon a kinetikai módszer a 2. ábrán feltüntetett terhelési és megtámasztási esetben is az (1) eredményre vezet-e?

E kérdés megválaszolása végett a kinetikai módszert a következőképpen alkalmazzuk. Valamely eléggé kicsiny zavarás (kezdeti kilengés, kezdeti sebesség) okozta mozgás jellemzésére szolgáljanak az $u(z, t)$ és $v(z, t)$ elmozdulás-komponensek (2b. ábra). x, y, z a derékszögű koordinátákat, t az időt jelentik. A z irányú elmozduláskomponens mint magasabbrendű kicsiny mennyiség a szóban levő stabilitási feladatnál nem jut szerephez. A meggörbült rúdtengely, vagyis a rugalmas vonal differenciálegyenletei



1. ábra

$$EIu_{zz}(z,t) = \frac{v(l,t)}{l} M - \int_z^l (\zeta - z)\, u_{tt}(\zeta, t)\, m d\zeta\,, \tag{2}$$

$$EIv_{zz}(z,t) = -\frac{u(l,t)}{l} M - \int_z^l (\zeta - z)\, v_{tt}(\zeta, t)\, m d\zeta\,, \tag{3}$$

ahol m a rúdhosszra vonatkoztatott tömeg, $-u_{tt}(\zeta, t)md\zeta$ és $-v_{tt}(\zeta, t)md\zeta$ az elemi tehetetlenségi erők. A $w(z, t)$ komplex elmozdulásfüggvény legyen a $w = u + iv$ képlettel definiálva, ahol z valós és most is a függőleges irányú koordinátát jelenti (2. ábra). Így a (2) és (3) egyenletekből az

$$EIw_{zz}(z,t) = -i\frac{w(l,t)}{l} M - \int_z^l (\zeta - z)\, w_{tt}(\zeta, t)\, m d\zeta \tag{4}$$

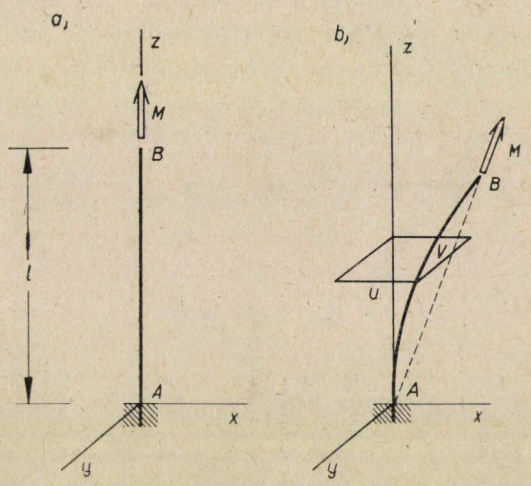
egyenlet következik.

Vizsgáljuk meg, hogy a komplex elmozdulásfüggvény lehet-e

$$w(z, t) = W(z) \sin(\omega t + \psi) \tag{5}$$

alakú, ahol ω és ψ valós állandók. E vizsgálatot úgy végezzük el, hogy megnézzük, mire vezet a számítás, ha az (5) képletből indulunk ki. Helyettesítsük tehát (5)-öt (4)-be. Ily módon az

$$EIW_{zz}(z) = -i\frac{W(l)}{l}M + m\omega^2\int_z^l (\zeta - z)\,W(\zeta)\,d\zeta \tag{6}$$



2. ábra.

egyenlet adódik, amiből differenciálással az

$$EIW_{zzz}(z) = -m\omega^2\int_z^l W(\zeta)\,d\zeta\,, \tag{7}$$

majd újbóli differenciálással az

$$EIW_{zzzz}(z) = m\omega^2 W(z) \tag{8}$$

egyenleteket kapjuk. Az (5) feltevésből tehát a (8) differenciálegyenlet és a

$$W(0) = 0\,, \tag{9}$$

$$W_z(0) = 0\,, \tag{10}$$

$$EIW_{zz}(l) = -i\frac{W(l)}{l}M\,, \tag{11}$$

$$W_{zzz}(l) = 0 \tag{12}$$

peremfeltételek következnek. A (8) differenciálegyenlet általános megoldása

$$W = C_1 \cos rz + C_2 \sin rz + C_3 \cosh rz + C_4 \sinh rz\,, \tag{13}$$

$$\left(r = |\sqrt{\omega}| \cdot \left|\sqrt[4]{\frac{m}{EI}}\right|\right).$$

Következésképpen

$$W_z = -C_1 r \sin rz + C_2 r \cos rz + C_3 r \sinh rz + C_4 r \cosh rz\,, \tag{14}$$
$$W_{zz} = -C_1 r^2 \cos rz - C_2 r^2 \sin rz + C_3 r^2 \cosh rz + C_4 r^2 \sinh rz\,, \tag{15}$$
$$W_{zzz} = C_1 r^3 \sin rz - C_2 r^3 \cos rz + C_3 r^3 \sinh rz + C_4 r^3 \cosh rz\,. \tag{16}$$

A (13)—(16) kifejezéseket a (9)—(12) egyenletekbe helyettesítvén, a

$$\begin{aligned}
&C_1 + C_3 = 0\,,\\
&C_2 + C_4 = 0\,,\\
&C_1\left(-EIr^2 + \frac{i}{l}M\right)\cos rl + C_2\left(-EIr^2 + \frac{i}{l}M\right)\sin rl\\
&+ C_3\left(EIr^2 + \frac{i}{l}M\right)\cosh rl + C_4\left(EIr^2 + \frac{i}{l}M\right)\sinh rl = 0,\\
&C_1 \sin rl - C_2 \cos rl + C_3 \sinh rl + C_4 \cosh rl = 0
\end{aligned}$$

egyenleteket kapjuk. Ez a négy egyenlet a C_1, C_2, C_3, C_4 állandókra nézve homogén lineáris. Minthogy a $C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = 0$ esetet már eleve kizárhatjuk, a négy egyenlet determinánsa zérus tartozik lenni, azaz

$$\begin{vmatrix}
1 & 0 & 1 & 0\\
0 & 1 & 0 & 1\\
\varrho\cos rl & \varrho\sin rl & \sigma\cosh rl & \sigma\sinh rl\\
\sin rl & -\cos rl & \sinh rl & \cosh rl
\end{vmatrix} = 0\,,$$

$$\left(\varrho = -EIr^2 + \frac{i}{l}M\,,\quad \sigma = EIr^2 + \frac{i}{l}M\right).$$

Kifejtvén a determinánst, az egyenlet

$$EIr^2(1 + \cos rl \cosh rl) + i\frac{M}{l}\sin rl \cdot \sinh rl = 0$$

alakban jelenik meg. Ebből a komplex egyenletből az

$$1 + \cos rl \cdot \cosh rl = 0\,, \tag{17}$$

$$\sin rl \cdot \sinh rl = 0\,, \tag{18}$$

$$\left(r = |\sqrt{\omega}| \cdot \left|\sqrt[4]{\frac{m}{EI}}\right|\right)$$

valós egyenletek következnek. A (17) és (18) egyenletek ellentmondanak egymásnak, mert nem létezik olyan valós ω érték, amely a (17) egyenletet is és a (18) egyenletet is kielégíti.

Az (5) feltevés tehát ellentmondásra vezetett, vagyis (5) alakú komplex elmozdulásfüggvény nem lehetséges. Ez azt jelenti, hogy van eléggé kicsiny zavarás okozta olyan kilengés, amely nem marad eléggé kicsiny. Más szóval, a 2. ábrán feltüntetett terhelési és megtámasztási esetben az AB egyenessel jellemzett nyugalmi helyzet a zérustól különböző M hatása alatt instabilis, s így erre az esetre a statikai módszerrel levezetett (1) képlet nem alkalmazható.

A tárgyalt eset jó példa arra, hogy kihajlási feladatok megoldásakor a statikai módszer még egyszerű esetekben sem vezet mindig helyes eredményre.

Fenti fejtgetéseink nem vonatkoznak olyan esetekre, amelyekben az EI_x és EI_y hajlítási merevségek egymástól különböznek vagy a súrlódás is szerephez jut, avagy plasztikus jelenség is fellép.

IRODALOM

1. Csonka, P.: Az egyenestengelyű körkeresztmetszetű rúd csavarás okozta kihajlása. *MTA VI. Oszt. Közl.* **37** (1966), 218.
2. Bolotin, V. V.: Nonconservative Problems of the Theory of Elastic Stability. Pergamon Press, Oxford—London—New York—Paris 1963. (E műben számos irodalmi utalás található.)
3. Troesch, A.: Stabilitätsprobleme bei tordierten Stäben und Wellen. *Ing. Arch.* **20** (1952), 258.

KÖRFURATTAL BÍRÓ VASTAGFALÚ PRIZMATIKUS RUDAK CSAVARÁSA

CSONKA PÁL
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA
AZ MTA ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI MUNKAKÖZÖSSÉGE, BUDAPEST

[Beérkezett 1967. február 15-én]

A dolgozat körfurattal bíró rugalmas anyagú prizmatikus rudak tiszta csavarásával foglalkozik; módszert mutat be e rudak csavarási feszültségfüggvényének közelítő előállítására, s azokat a különleges eseteket tanulmányozza, melyekben a rúdkeresztmetszet valamelyik feszültségi vonala önmagát metsző görbe.

1. Bevezetés

A tiszta csavarásra igénybe vett rugalmas anyagú prizmatikus rudak keresztmetszetén a nyíró feszültségek irányát jelző ún. *feszültségi vonalak* általában nem metszik sem egymást, sem a keresztmetszet határoló vonalát. Egyes esetekben — így konkáv, illetve üreges keresztmetszetek esetében — előfordulhat azonban, hogy egyes feszültségi vonalak elágaznak, sőt az is lehetséges, hogy egyes feszültségi vonalak metszik a keresztmetszet határoló vonalát. Üreges keresztmetszetek esetében a keresztmetszet belső határoló vonalát metsző feszültségi vonalakat *választóvonalaknak* nevezzük.

Választóvonal létrejöttének lehetőségére egy körfurattal bíró ellipszis keresztmetszetű rúd csavarásproblémájának tárgyalásakor szerző egyik korábbi dolgozatában már rámutatott [1]. Ugyanakkor közelítő eljárást ismertetett körfurattal bíró vastagfalú keresztmetszetek feszültségfüggvényének előállítására is. A jelen dolgozat célja az említett eljárás pontosságának fokozása, továbbá a körüreg határolóvonalát metsző választóvonal alakjának és keletkezési feltételeinek tanulmányozása.

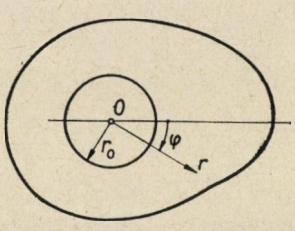
2. Alapösszefüggések

Vizsgálatainkat a rúdtengelyre merőleges síkban fekvő $O(r, \varphi)$ poláris koordinátarendszerben végezzük (1. ábra). E koordinátarendszer kezdőpontja a keresztmetszet körüregének középpontjával esik egybe. A körüreg határvonalának sugara r_0.

Tárgyalásunkat a rugalmasságtannak a tiszta csavarásra vonatkozó ismert elméletére alapozzuk. Ezen elmélet szerint a csavarási probléma meg-

oldása egy olyan $\Psi = \Psi(r, \varphi)$ függvénynek — az ún. *feszültségfüggvénynek* — a meghatározására vezethető vissza, mely a keresztmetszet minden pontjában megfelel a

$$\Delta\Psi = -2\,, \qquad \Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\cdot\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \tag{1}$$



1. ábra. Az $O(r, \varphi)$ koordinátarendszer

differenciálegyenletnek [2], a körüreg kerületén a

$$\Psi = 0\,, \qquad \int_0^{2\pi} \frac{\partial \Psi}{\partial r}\, d\varphi = -2\pi r_0 \tag{2}$$

feltételeket teljesíti, a keresztmetszet külső határvonalán pedig állandó értékű. A feszültségi vonalak mentén $\Psi = \text{konst.}$

3. A feszültségfüggvény

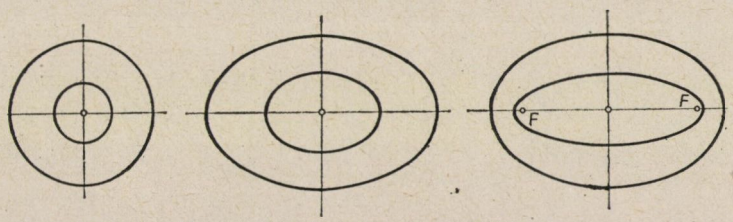
A csavarási probléma feszültségfüggvénye csak egyes egyszerű esetekben fejezhető ki véges, zárt alakban, miért is pontos megoldás helyett általában különféle közelítő eljárásokra, főként numerikus módszerek alkalmazására vagyunk utalva. Az egyébként is fennforgó nehézségek még sokszorosan fokozódnak üreges keresztmetszetek esetében. Véges, zárt alakú megoldás mindössze a körgyűrű keresztmetszetre, a koaxiális helyzetű hasonló ellipszisekkel határolt gyűrű keresztmetszetre, valamint a konfokális ellipszisekkel határolt keresztmetszetre ismeretes (2. ábra).

Körüreggel bíró vastagfalú keresztmetszetek feszültségfüggvényének előállítására — zárt alakú megoldás hiányában — szerző [1] közelítő eljárást dolgozott ki. Eljárása feltételezi, hogy az üreges keresztmetszet külső határoló görbéjével azonos külső határoló görbével bíró teli keresztmetszet feszültségfüggvénye ismeretes. Ha ez utóbbit

$$\Psi = -\frac{r^2}{2} + \sum_n \frac{r_0^{2-n}\, r^n}{2n} (A_n \cos n\varphi + B_n \sin n\varphi) \tag{3}$$

alakra hozzuk, akkor a körüreggel bíró, de a teli keresztmetszet határoló vonalával azonos külső határolású vastag falu üreges keresztmetszet közelítő feszültségfüggvénye

$$\Psi = -\frac{r^2}{r}\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)+\sum_n \frac{r_0^{2-n}\,r^n}{2n}\left(1-\frac{r_0^{2n}}{r^{2n}}\right)(A_n\cos n\varphi + B_n \sin n\varphi). \quad (4)$$



2. ábra. Zárt alakban felírható feszültségfüggvénnyel bíró üreges keresztmetszetek

Az alábbiakban a körüreggel bíró vastagfalú keresztmetszetek feszültségfüggvényének közelítő előállítására a (4) sor helyett a hozzá hasonló alakú

$$\Psi = -\frac{r^2}{2}\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)+\sum_n \frac{r_0^{2-n}\,r^n}{2n}\left(1-\frac{r_0^{2n}}{r^{2n}}\right)(C_n\cos n\varphi + D_n \sin n\varphi) \quad (5)$$

sort fogjuk alkalmazni, mely nyilván kielégíti az (1) és (2) egyenleteket. E sorban a C_n és D_n együtthatók szabadon választhatók (tehát függetlenek a (3) képlet A_n és B_n együtthatóitól). Alkalmas C_n és D_n értékeket választván, az (5) kifejezés már kevés taggal is általában jól közelít. A közelítés még olyankor is kielégítő lehet, amidőn — mint pl. központos körüreggel bíró szabályos háromszögkeresztmetszet esetében [3] — a (4) sor konvergenciája nincs is biztosítva.

4. A választó vonal

Annak megállapítására, hogy valamely körüreggel bíró keresztmetszeten keletkezik-e *választóvonal,* vagyis az $r = r_0$ kört metsző feszültségi vonal, vizsgáljuk meg, hogy a $\Psi = 0$ feltétel csupán az $r = r_0$ kör mentén teljesedik-e, vagy egyebütt is. E célból emeljük ki az (5) kifejezésben az első tagot:

$$\begin{aligned}\Psi = \frac{r^2}{2}\left(1-\frac{r_0^2}{r^2}\right)\cdot\Bigg[&-1+\frac{r_0}{r}(C_1\cos\varphi + D_1\sin\varphi)+\\ &+\frac{1}{2}\left(1+\frac{r_0^2}{r^2}\right)(C_2\cos 2\varphi + D_2\sin 2\varphi)+\\ &+\frac{r}{3r_0}\left(1+\frac{r_0^2}{r^2}+\frac{r_0^4}{r^4}\right)(C_3\cos 3\varphi + D_3\sin 3\varphi)+\\ &+\frac{r^2}{4r_0^2}\left(1+\frac{r_0^2}{r^2}+\frac{r_0^4}{r^4}+\frac{r_0^6}{r^6}\right)(C_4\cos 4\varphi + D_4\sin 4\varphi)+\ldots\Bigg]. \quad (6)\end{aligned}$$

Mint látható, ahhoz, hogy a $\Psi = 0$ feltétel az $r = r_0$ körön felül még egyéb helyeken is teljesedjék, az szükséges, hogy

$$-1 + \frac{r_0}{r}(C_1 \cos\varphi + D_1 \sin\varphi) +$$
$$+ \frac{1}{2}\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2}\right)(C_2 \cos 2\varphi + D_2 \sin 2\varphi) +$$
$$+ \frac{r}{3r_0}\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2} + \frac{r_0^4}{r^4}\right)(C_3 \cos 3\varphi + D_3 \sin 3\varphi) +$$
$$+ \frac{r^2}{4r_0^2}\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2} + \frac{r_0^4}{r^4} + \frac{r_0^6}{r^6}\right)(C_4 \cos 4\varphi + D_4 \sin 4\varphi) + \ldots = 0 \quad (7)$$

legyen. Ha a (7) egyenlet jellemezte görbe metszi az $r = r_0$ kört, akkor a szóban forgó görbe: választóvonal.

5. Egyszeresen szimmetrikus alakzatok

E cikkely keretében a (6) képlettel jellemzett keresztmetszetek különleges eseteként a

$$\Psi = \frac{r^2}{2}\left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right)\left(-1 + \frac{C_1 r_0}{r}\cos\varphi\right) \quad (8)$$

feszültségfüggvénynek megfelelő *egyszeresen szimmetrikus* keresztmetszetekkel s az azokon esetleg létrejövő választóvonallal foglalkozunk.

5.1. A választóvonal alakja

A tárgyalandó esetben a választóvonal (7) alatti egyenlete

$$-1 + \frac{C_1 r_0}{r}\cos\varphi = 0,$$

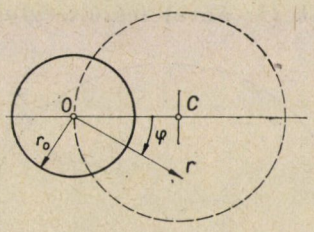
illetve

$$r = C_1 r_0 \cos\varphi \quad (9)$$

alakban írható. A fenti egyenlet, mint látható, az O kezdőponton átmenő $C_1 r_0/2$ sugarú olyan *kör* egyenlete, melynek C középpontja a $\varphi = 0$ egyenesen van. A szóban forgó kör csak akkor metszi az $r = r_0$ kört, tehát akkor alkot ténylegesen választóvonalat, ha $|C_1| > 1$.

A választóvonalnak a $\varphi = 0$ sugárhoz képest elfoglalt helyzete C_1 előjelétől függ. Ha C_1 pozitív, a választóvonal a 3. ábrán feltüntetett módon

helyezkedik el. Ha C_1 negatív, a választóvonal 180°-kal elfordított helyzetet foglal el.

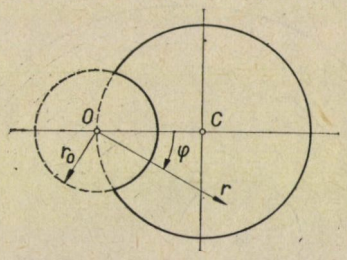


3. ábra. A körüreg és a választóvonal viszonylagos helyzete

5.2. Keresztmetszet alakok

Az alábbiakban a (8) alatti feszültségfüggvénnyel jellemzett keresztmetszetek háromféle típusával foglalkozunk.

Első típus. Ebbe a csoportba a két körívvel határolt *sarló alakú keresztmetszetek* tartoznak (4. ábra). A két körív egyikének középpontja a másik körív kerületén fekszik. Az efféle keresztmetszetek határoló vonalának és feszültségi vonalainak egyenlete a (8) alattiak figyelembevételével



4. ábra. Sarló alakú keresztmetszet

$$(r^2 - r_0^2)\left(-1 + \frac{C_1 r_0}{r}\cos\varphi\right) = Kr_0^2, \tag{10}$$

illetve

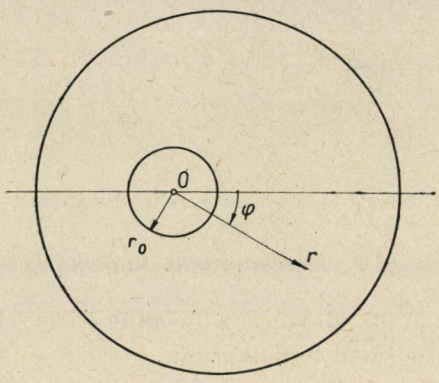
$$\cos\varphi = \frac{r}{Cr_0}\left(1 + \frac{Kr_0^2}{r^2 - r_0^2}\right), \tag{11}$$

ahol K a szóban forgó vonal mentén állandó. A keresztmetszet belső határoló vonalához $K = 0$, a feszültségi vonalakhoz $K > 0$ érték tartozik.

Második típus. Ebbe a csoportba a *külpontos körüreggel bíró körszerű keresztmetszetek* tartoznak (5. ábra). Ezek határoló vonalainak, illetve feszültségi vonalainak egyenlete ugyanolyan alakú, mint az első típusú keresztmetszeteké. Különbség mindössze az, hogy ez esetben a választóvonalon

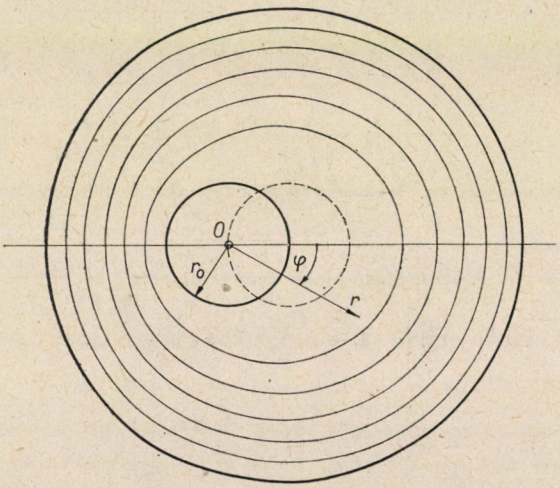
kívül fekvő keresztmetszetrészeken (6. ábra) a feszültségvonalak egyenletében $K < 0$.

A (11) képletet célszerűen felhasználhatjuk *külpontos körüreggel bíró vastagfalú körkeresztmetszetek* (7. ábra) feszültségfüggvényének közelítő elő-



5. ábra. Külpontos körüreggel bíró körszerű keresztmetszet

állítására. Ily esetekben a (11) képletben szereplő C_1 és K paraméterek értékét két illesztési feltételből határozhatjuk meg, előírván, hogy a (11) képlettel



6. ábra. Külpontos körüreggel bíró körszerű keresztmetszet feszültségi vonalai

jellemzett görbe az adott keresztmetszet célszerűen választott két kerületi pontján menjen át. Illesztési pontokul vagy a szimmetriatengelyen fekvő A és B pontot (8a. ábra), vagy a $\varphi = \pi/4$, illetve $\varphi = 3\pi/4$ sugáron fekvő C, illetve D pontot (8b. ábra) célszerű választani. A C_1 paraméter értéke mindkét esetben azonos,

$$C_1 = \frac{2\,e\,(R^2 - e^2)}{r_0\,(R^2 - r_0^2 - e^2)},$$

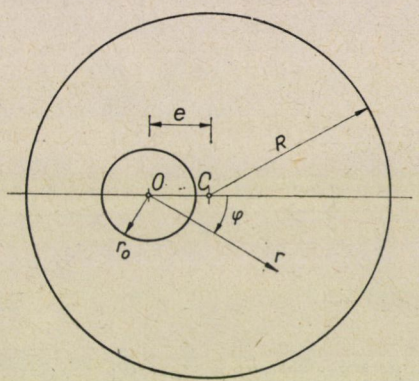
viszont a K paraméter értéke az első esetben

$$K = -\frac{(R^2 - e^2)^2 - r_0^2\,(2\,R^2 - r_0^2 - 2\,e^2)}{r_0^2\,(R^2 - r_0^2 - e^2)},$$

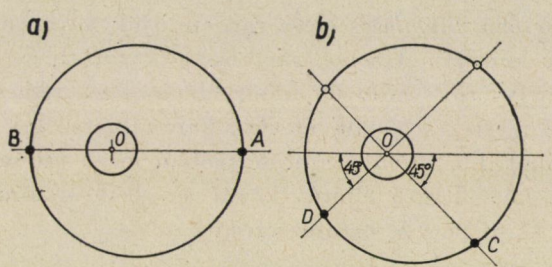
a második esetben pedig

$$K = -\frac{(R^2 - e^2)^2 - r_0^2\,(2\,R^2 - r_0^2)}{r_0^2\,(R^2 - r_0^2 - e^2)}.$$

A két illesztő eljárás közül a második vezet pontosabb eredményre.



7. ábra. Körkeresztmetszet külpontos körüreggel

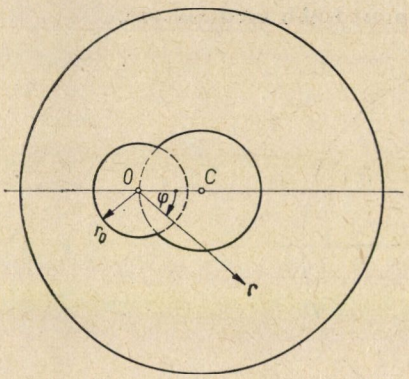


8. ábra. Az illesztési pontok kijelölése

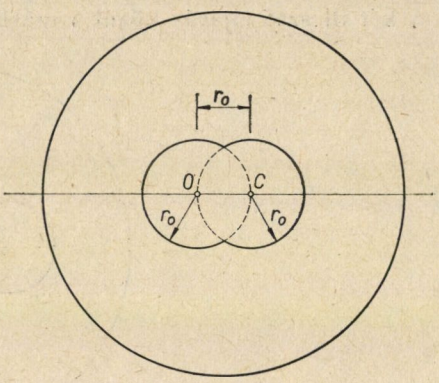
A javasolt eljárás pontosságának szemléltetésére az $R = 4r_0$, $e = r_0$ esetre mindkét eljárással kiszámítottuk a rádiuszvektorok pontos és közelítő értékét az illesztési pontokhoz tartozó központi szögek felezőjében. A legnagyobb hiba ui. ezek környezetében várható. Az első eljárás esetében a

$\varphi = r/2$ központi szöghöz tartozó rádiuszvektor a pontos $r = 3{,}873\, r_0$ helyett $r = 3{,}836\, r_0$ értékűre adódott, tehát a viszonylagos hiba $\Delta r/r = -0{,}0096$ volt. A második eljárással a $\varphi = 0$, $\varphi = \pi/2$, $\varphi = \pi$ központi szöghöz tartozó rádiuszvektorra a pontos $r = 5r_0$, $r = 3{,}8730\, r_0$, $r = 3r_0$ érték helyett az $r = 5{,}0183\, r_0$, $r = 3{,}8545 r_0$, $r = 3{,}0170\, r_0$ értéket kaptuk, tehát a viszonylagos hiba csupán $\Delta r/r = +0{,}0037$, $\Delta r/r = -0{,}0048$, $\Delta r/r = +0{,}0057$ volt.

Harmadik típus. Az ide sorolt keresztmetszetek csak a keresztmetszeti üreg alakjában térnek el a második típusba tartozó keresztmetszetektől (9. ábra). Ez esetben ui. az üreg határvonalát az r_0 sugarú kör és a $C_1/2$ sugarú választóvonal egy vagy két szakasza alkotja. E keresztmetszetek feszültségi vonalai ugyanolyan alakaúk, mint a neki megfelelő második típusú keresztmetszetek feszültségi vonalai.



9. ábra. Körszerű keresztmetszet két körív határolta üreggel



10. ábra. Körszerű keresztmetszet két azonos körív határolta szimmetrikus elhelyezkedésű üreggel

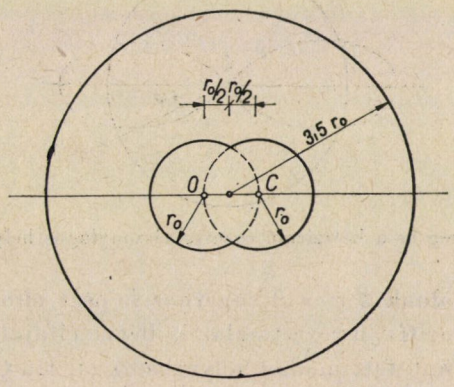
Mint ide tartozó *különleges esetet* megemlítjük a 10. ábrán feltüntetett harmadik típusú keresztmetszetet, melyen a körfurat és a választóvonal azonos alakú és helyzetű, s mint ilyen, egymással felcserélhető. Ez a keresztmetszet — bár az egyszeresen szimmetrikus keresztmetszetek közt említjük — kétszeresen szimmetrikus elrendezésű. A szóban forgó különleges esetben az előzőleg említett két illesztő eljárás közül az elsőt alkalmazva, az $e = r_0$ helyettesítéssel a C_1, illetve K paraméterre a

$$C_1 = \frac{2\,(R^2 - r_0^2)}{R^2 - 2\,r_0^2}, \qquad K = \frac{R^2 - 2\,r_0^2}{r_0^2}$$

értéket kapjuk.

Ezt az eljárást a 11. ábrán feltüntetett keresztmetszetre alkalmazva azt találtuk, hogy a keresztmetszet külső határoló vonala csak jelentéktelenül tér el az $R = 3{,}5r_0$ sugarú körtől. A külső határoló görbének a függőleges

szimmetriatengelybe eső pontja ui. $y = 3{,}5r_0$ helyett $y = 3{,}487r_0$ távolságban van a vízszintes szimmetriatengelytől, tehát a viszonylagos méreteltérés $\Delta y/y = -0{,}0037$.



11. ábra. Körkeresztmetszet két azonos körív határolta szimmetrikus elhelyezkedésű üreggel

6. Kétszeresen szimmetrikus alakzatok

E cikkelyben a (6) képlettel jellemzett alakzatok közül a

$$\Psi = \frac{r^2}{2}\left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right)\left[-1 + \frac{C_2}{2}\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2}\right)\cos 2\varphi\right] \tag{14}$$

feszültségfüggvénynek megfelelő *kétszeresen szimmetrikus* keresztmetszeteket s azokon esetleg létrejövő választóvonalakat tanulmányozzuk.

6.1. A választóvonal alakja

A tárgyalandó különleges esetben a választóvonal (7) alatti egyenlete

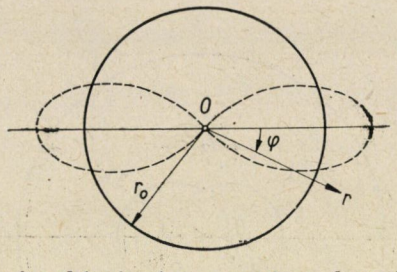
$$-1 + \frac{C_2}{2}\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2}\right)\cos 2\varphi = 0\,,$$

illetve

$$\cos 2\varphi = \frac{2}{C_2\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2}\right)} \tag{15}$$

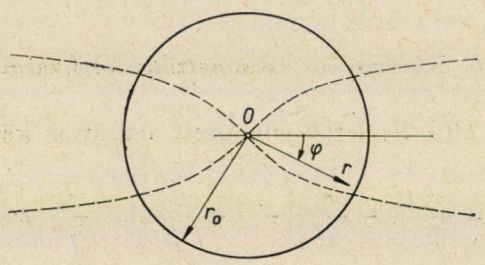
alakban írható. Ezen egyenletnek általában egy *kétszirmú rozetta* felel meg. Ha $|C_2| < 1$, ez a görbe teljesen az $r = r_0$ körön belül helyezkedik el. Ha $1 < |C_2| < 2$, a szóban forgó görbe metszi az $r = r_0$ kört, tehát ténylegesen

választóvonalat alkot. Ha $|C_2| = 2$, a választóvonal a végtelenbe nyúló görbévé fajul el.



12. ábra. A körüreg és a kétszirmú rozetta viszonylagos helyzete ($1 < C_2 < 2$)

A választóvonalnak a $\varphi = 0$ sugárhoz képest elfoglalt helyzete C_2 előjelétől függ. Ha C_2 pozitív, a rozetta alakú, illetve elfajult választóvonal a 12., illetve 13. ábrán feltüntetett módon helyezkedik el. Ha C_2 negatív, a választóvonal a $\varphi = 0$ sugárhoz képest 90°-kal elfordul.

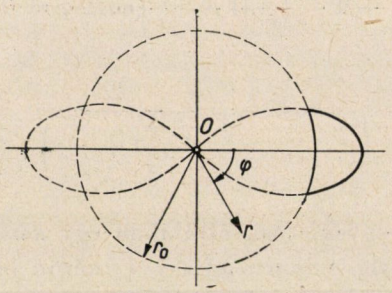


13. ábra. A körüreg és az elfajult választóvonal viszonylagos helyzete ($C_2 = 2$)

6.2. Keresztmetszet alakok

A következőkben a (14) képlettel jellemzett keresztmetszetek háromféle típusát mutatjuk be.

Első típus. Ebbe a keresztmetszet csoportba *sarló alakú keresztmetszetek* tartoznak (14. ábra). Ezeket egyrészt az $r = r_0$ kör egy ívdarabja, másrészt a



14. ábra. Sarló alakú keresztmetszet

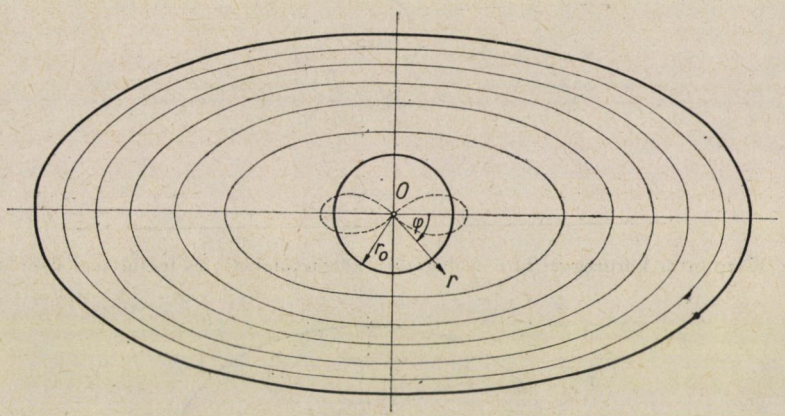
választóvonal egyik szirmának egy szakasza határolja. A szóban forgó keresztmetszetek feszültségi vonalainak egyenlete

$$(r^2 - r_0^2)\left[-1 + \frac{C_2}{2}\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2}\right)\cos 2\varphi\right] = Kr_0^2, \tag{16}$$

illetve

$$\cos 2\varphi = \frac{2r^2}{C_2(r^2 + r_0^2)}\left(1 + \frac{Kr_0^2}{r^2 - r_0^2}\right), \tag{17}$$

ahol $K = \text{konst} \geqq 0$.



15. ábra. Központos körüreggel bíró ellipszisszerű keresztmetszet és feszültségi vonalai $(1 < C_2 < 2)$

Második típus. Ide soroljuk a centrikus körüreggel bíró *ellipszisszerű keresztmetszeteket* (15. ábra). E keresztmetszetek határoló görbéinek, illetve feszültségi vonalainak egyenlete az első típusú keresztmetszetekéihez hasonló alakú.

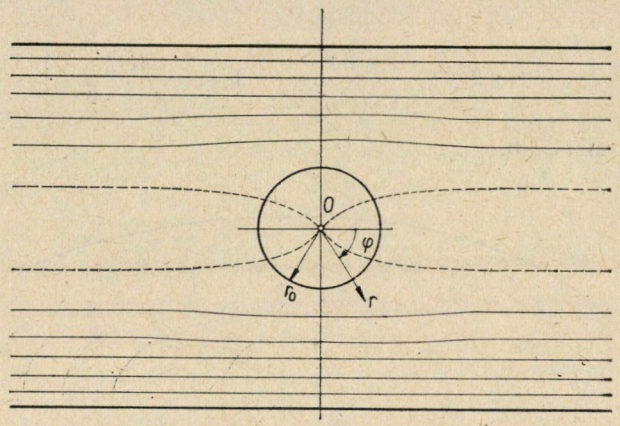
Olyankor, amidőn a választóvonal a végtelenbe nyúló görbévé fajul el, a feszültségi vonalak a körüregtől távolodva mindinkább egyenesszerűvé válnak, s az ellipszisszerű keresztmetszet *szalagszerű keresztmetszetté* alakul (16. ábra).

A (14) képlet lehetőséget nyújt *központos körüreggel bíró vastagfalú ellipsziskeresztmetszetek* (17. ábra) feszültségfüggvényének közelítő előállítására. Ez esetben a (14) képletben szereplő C_2 és K paramétereket akként célszerű felvenni, hogy az általuk meghatározott kerületi görbe az ellipszis előírt pontjain menjen át. E követelmény feltételeként itt is két illesztési egyenlet írható fel.

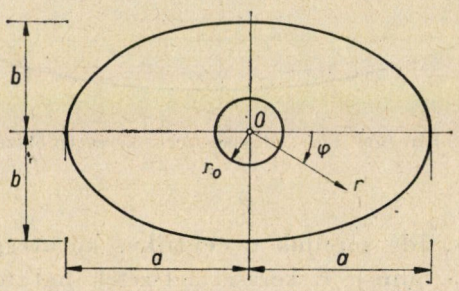
Ha illesztési pontokul a 18a. ábrába berajzolt A és B pontokat választjuk, akkor az említett két paraméter

$$C_2 = \frac{2\,a^2\,b^2\,(a^2 - b^2)}{(a^2\,b^2 - r_0^4)\,(a^2 + b^2)},$$

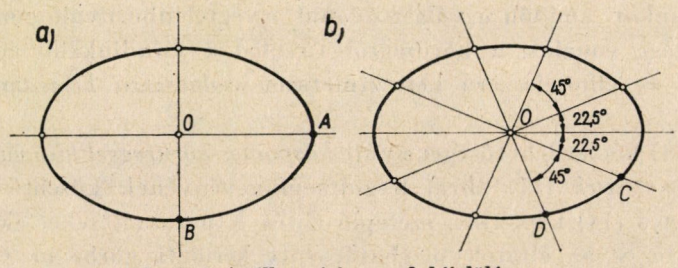
$$K = 2\,\frac{a^4\,b^4 - r_0^4\,(a^4 + b^4)}{r_0^2\,(a^2\,b^2 - r_0^4)\,(a^2 + b^2)} - 1.$$



16. ábra. Központos körüreggel bíró szalagszerű keresztmetszet és feszültségi vonalai ($C_2 = 2$)



17. ábra. Ellipsziskeresztmetszet központos körüreggel



18. ábra. Az illesztési pontok kijelölése

Ha viszont a $\varphi = \pi/8$ és a $\varphi = 3\pi/8$ sugarakon fekvő — a 18b. ábrán C és D betűvel jelölt — ellipszispontokban illesztünk, akkor azt találjuk, hogy

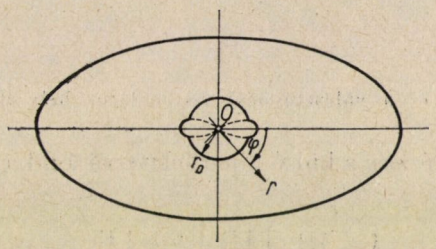
$$C_2 = \frac{16\,a^4 b^4}{8\,a^4 b^4 - r_0^4 (a^4 + 6\,a^2 b^2 + b^4)} \cdot \frac{a^2 - b^2}{a^2 + b^2},$$

$$K = \frac{C_2}{2\sqrt{2}} (\lambda^2 - 1) - 1,$$

ahol

$$\lambda = \frac{1}{r_0^2} \cdot \frac{4\,a^2 b^2}{a^2 (2 - \sqrt{2}) + b^2 (2 + \sqrt{2})}.$$

Harmadik típus. Ez a keresztmetszettípus (19. ábra) csak a keresztmetszeti üreg alakja tekintetében különbözik a második típustól. Most ti. az üreget az $r = r_0$ körnek, valamint a rozettaszerű választóvonalnak egy vagy két szakasza határolja. A szóban forgó keresztmetszetek feszültségi vonalai azonosak a megfelelő második típusú keresztmetszetek feszültségi vonalaival.



19. ábra. Ellipszisszerű keresztmetszet kör- és rozettaív határolta üreggel

7. Háromszorosan szimmetrikus alakzatok

E cikkely keretében a (6) képlettel jellemzett keresztmetszetek közül a

$$\Psi = \frac{r^2}{2}\left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right)\left[-1 + \frac{C_3 r}{3 r_0}\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2} + \frac{r_0^4}{r^4}\right)\cos 3\varphi\right] \qquad (18)$$

feszültségfüggvénynek megfelelő *háromszorosan szimmetrikus* keresztmetszetekkel s az azokon esetleg létrejövő választóvonalakkal foglalkozunk.

7.1. A választóvonal alakja

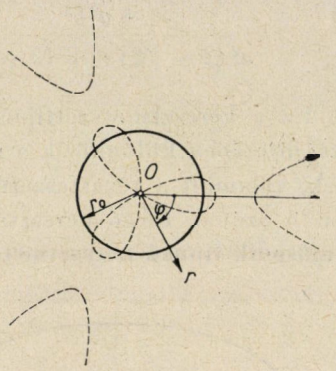
Ebben az esetben a választóvonal (7) alatti egyenlete

$$-1 + \frac{C_3 r}{3 r_0}\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2} + \frac{r_0^4}{r^4}\right)\cos 3\varphi = 0,$$

illetve

$$\cos 3\varphi = \frac{3 r_0}{C_3 r\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2} + \frac{r_0^4}{r^4}\right)}$$

alakú. Ez az egyenlet általában egy *háromszirmú rozetta-alkotta középrészből* és *három hiperbolaszerű ágból* álló görbét jellemez. Utóbbi ágak a körüregen kívül helyezkednek el. A háromszirmú rozetta a $|C_3| < 1$ esetben teljesen a körüregen belül foglal helyet, a $|C_3| > 1$ esetben viszont metszi a körüreg peremét, tehát választóvonalat alkot (20. ábra). A C_3 érték növekedtével a

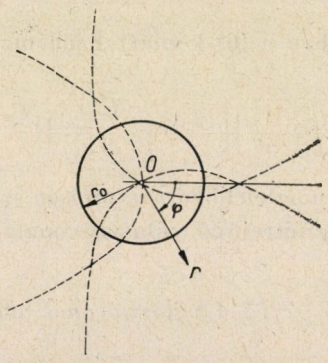


20. ábra. A körüreg és a választóvonal viszonylagos helyzete ($1 < C_3 < 1{,}2182\ldots$)

rozetta alakú középrész és a külső hiperbolaszerű ágak egyre közelebb kerülnek egymáshoz, a

$$|C_3| = \frac{(-2+\sqrt{13})\sqrt{1+\sqrt{13}}}{\sqrt{8}} = 1{,}2182\ldots$$

határesetben pedig a külső és belső részek egyesülnek (21. ábra). A



21. ábra. A körüreg és az elfajult rozetta viszonylagos helyzete ($C_3 = 1{,}2182\ldots$)

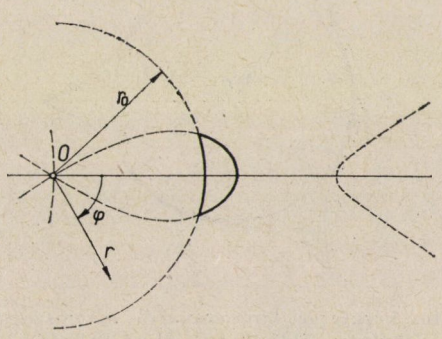
$$|C_3| > \frac{(-2+\sqrt{13})\sqrt{1+\sqrt{13}}}{\sqrt{8}} = 1{,}2182\ldots \tag{19}$$

esetben nem alakul ki valós választóvonal. Ha C_3 negatív, a választóvonal a 20., illetve 21. ábrán feltüntetett helyzethez képest $\pi/3$ szöggel elfordul.

7.2. *Keresztmetszet alakok*

A következőkben a (18) képlet-jellemezte keresztmetszetek három jellegzetes típusát tanulmányozzuk.

Első típus. Az ide sorolt keresztmetszeteket részben az $r = r_0$ kör egy ívdarabja, részben pedig a választóvonal egyik szirmának egy szakasza határolja. Az el nem fajuló esetben a keresztmetszet *sarló alakú* (22. ábra),



22. ábra. Sarló alakú keresztmetszet

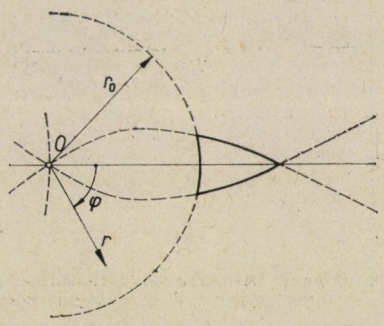
az elfajuló esetben *püspöksüveg alakú* (23. ábra). A sarló és püspöksüveg alakú keresztmetszetek határoló görbéinek és feszültségi vonalainak egyenlete:

$$(r^2 - r_0^2)\left[-1 + \frac{C_3 r}{3 r_0}\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2} + \frac{r_0^4}{r^4}\right)\cos 3\varphi\right] = K r_0^2, \tag{20}$$

illetve

$$\cos 3\varphi = \frac{3 r_0 r^3}{C_3 (r^4 + r_0^2 r^2 + r_0^4)}\left(1 + \frac{K r_0^2}{r^2 - r_0^2}\right), \tag{21}$$

ahol $K = \text{konst} \geqq 0$.

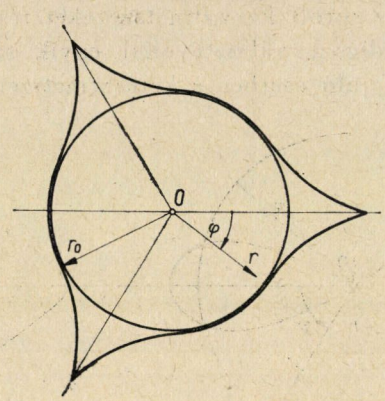


23. ábra. Püspöksüveg alakú keresztmetszet

Második típus. E csoportot a *központos körüreggel bíró szabályos háromszögszerű keresztmetszetek* alkotják (24. ábra). Ezek határoló vonalainak, illetve

feszültségi vonalainak egyenlete ugyanolyan alakú, mint az első típusú keresztmetszetek esetében, azonban jelenleg

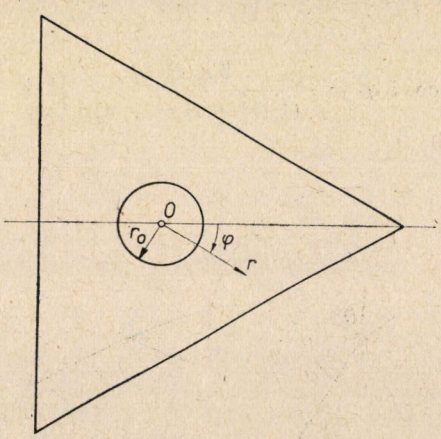
$$K = \text{konst} < 0 .$$



24. ábra. Központos körüreggel bíró szabályos háromszögszerű keresztmetszet ($C_3 = 1{,}188\ 402$, $K = -0{,}034\ 363\ 4$

A különböző feszültségi vonalak közül különös érdeklődésre tarthat igényt az *egymást keresztező három ágból álló feszültségi vonal* (25. ábra). A három ág keresztezési pontjai a $C_3 > 0$ esetben a

$$\varphi = 0 , \qquad \varphi = 2\pi/3 , \qquad \varphi = 4\pi/3$$



25. ábra. Központos körüreggel bíró szabályos háromszögszerű keresztmetszet ($C_3 = 0{,}333\ 3262$, $K = -11{,}001\ 0288$)

sugarakra esnek. A szóban forgó sugarak mentén a (21) egyenlet szerint

$$\frac{3 r_0 r^3}{C_3 (r^4 + r_0^2 r^2 + r_0^4)} \left(1 + \frac{K r_0^2}{r^2 - r_0^2}\right) = 1 . \qquad (22$$

Innen rendezés után a

$$\varrho = \frac{r}{r_0} \tag{23}$$

jelöléssel a

$$\varrho^6 - \frac{3}{C_3}\varrho^5 + \frac{3}{C_3}(1-K)\varrho^3 - 1 = 0 \tag{24}$$

egyenlet adódik.

A (24) egyenlet célszerűen felhasználható az O kezdőponttól előírt r_1 távolságban fekvő keresztezési pontokkal bíró keresztmetszetek C_3 és K értékeinek meghatározására. A keresztezési pontokhoz rendelhető

$$\varrho_1 \equiv \frac{r_1}{r_0}$$

érték ui. a (24) egyenlet kétszeres gyöke. Ha a szóban forgó egyenlet bal oldalát $f(\varrho)$ függvénynek tekintjük, akkor a ϱ_1 érték, mint az $f(\varrho) = 0$ egyenlet kétszeres gyöke, az $f'(\varrho) = 0$ feltételt is kielégíteni tartozik. A deriválást elvégezve, a

$$6\varrho^5 - \frac{15}{C_3}\varrho^4 + \frac{9}{C_3}(1-K)\varrho^2 = 0 \tag{25}$$

egyenletet kapjuk, mely a (24) egyenlettel együtt a C_3 és K paraméterekre a

$$\begin{aligned} C_3 &= \frac{2\varrho_1^5}{1+\varrho_1^6}, \\ K &= 1 - \frac{\varrho_1^2}{3}\cdot\frac{5+\varrho_1^6}{1+\varrho_1^6} \end{aligned} \tag{26}$$

értéket szolgáltatja.

Az egymást metsző ágakból álló feszültségi vonal által határolt idom külső határoló vonala annál kevésbé tér el a szabályos háromszögtől, minél nagyobb a keresztmetszet legkisebb falvastagsága a körüreg sugarához képest. Ha $\varrho_1 \geq 6$, a két idom egymástól való eltérése elenyészően kicsiny.

A $\varrho_1 = 6$ esetben

$$C_3 = \frac{2\cdot 6^5}{1+6^6} = 0{,}333\,3262\,,$$

$$K = 1 - \frac{6^2}{3}\cdot\frac{5+6^6}{1+6^6} = -\,11{,}001\,0288\,,$$

tehát a keresztmetszet közelítő feszültségfüggvénye a (18) alattiak szerint

$$\Psi = \frac{r^2}{2}\left(1 - \frac{r_0^2}{r^2}\right)\left[-1 + \frac{0{,}333\,3262}{3r_0}\left(1 + \frac{r_0^2}{r^2} + \frac{r_0^4}{r^4}\right)\cos 3\varphi\right].$$

A keresztmetszet külső határvonalának egyenlete pedig

$$\cos 3\varphi = \frac{3\,r_0\,r^3}{0{,}333\,3262\,(r^4 + r_0^2 r^2 + r_0^4)}\left(1 - \frac{11{,}001\,0288\,r_0^2}{r^2 - r_0^2}\right).$$

Az utóbbi képlet segítségével könnyűszerrel meg lehet határozni a külső határoló vonalnak az O kezdőponttól r távolságban levő P pontjához tartozó középponti szöget, valamint a szóban forgó pont x és y koordinátáit, lévén

$$x = r\cos\varphi\,, \quad y = r\sin\varphi\,.$$

Az elvégzett számítás a vizsgált idom BC oldalán fekvő különböző P pontokban az I. táblázatba foglalt értékeket szolgáltatta. A táblázatban Δx a P pontnak az ABC háromszög BC oldalától való távolságát jelzi, nevezetesen

$$\Delta x = x - 3r_0\,,$$

az utolsó oszlop pedig a Δx eltérésnek és a háromszög oldalhosszának viszonyszámát tünteti fel.

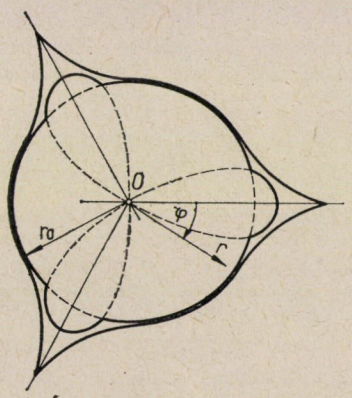
I. táblázat

A viszonylagos hibaérték

r/r_0	$\cos 3\varphi$	$\cos\varphi$	x/r_0	$\lvert y\rvert/r_0$	$\Delta x/r_0$	$\Delta x/6\sqrt{3}r_0$
3,000 578	−1	−1	−3,000 578	0	−0,000 578	−0,000 055
3,10	−0,723 171 264	−0,967 880	−3,000 429	0,779 374	−0,000 429	−0,000 041
3,25	−0,377 475 690	−0,923 160	−3,000 269	1,249 354	−0,000 269	−0,000 026
3,5	+0,052 291 746	−0,857 175	−3,000 112	1,793 257	−0,000 112	−0,000 011
4,0	+0,562 504 711	−0,749 999	−2,999 995	2,646 754	+0,000 005	+0,000 000
4,5	+0,814 828 796	−0,666 661	−2,999 973	3,354 235	+0,000 027	+0,000 003
5,0	+0,936 005 892	−0,599 996	−2,999 978	4,000 017	+0,000 022	+0,000 002
5,5	+0,987 228 820	−0,545 452	−2,999 989	4,771 013	+0,000 011	+0,000 001
6,0	+1	−0,5	−3,0	5,196 152	0	0

Mint látható, a vizsgált példában a keresztmetszet külső határvonala valóban csak egészen lényegtelenül tér el az ABC szabályos háromszögtől. A legnagyobb eltérés a keresztmetszeti oldalak felezőpontjában jön létre, s értéke itt, a legnagyobb eltérés helyén is csak alig haladja meg a háromszög oldalhosszúságának 1/20 000 részét (vagyis a 25. ábra vonalvastagságának 1/50 részét).

Harmadik típus. E csoportbeli üreges keresztmetszetek belső határoló vonalát az $r = r_0$ körnek és a választóvonalnak egy, két vagy három szakasza alkotja (26. ábra). Ezt a típust, mely egyáltalán nem tekinthető vastagfalú keresztmetszetnek, csupán a teljesség kedvéért említjük.



26. ábra. Háromszorosan szimmetrikus üreges keresztmetszet; belső határoló vonalát az $r = r_0$ körnek és a választóvonalnak három-három szakasza alkotja

IRODALOM

1. Csonka, P.: Die Verdrehung dickwandiger prismatischer Hohlstäbe. *Ingenieur Archiv* **6** (1935), 373—382.
2. Grammel, R.: Mechanik elastischer Körper. (Handbuch der Physik, Bd. VI). Julius Springer, Berlin 1928; 1. Aufl., 145—146.
3. Weber, C.—Günther, W.: Torsionstheorie. Friedr. Vieweg u. Sohn, Braunschweig; Akademie Verlag, Berlin 1958, 38.

MŰSZAKI ÉS IPARTÖRTÉNETI EMLÉKEINK VÉDELME

SZILÁGYI ISTVÁN
MŰSZAKI EMLÉKEKET NYILVÁNTARTÓ ÉS GYŰJTŐ CSOPORT, BUDAPEST

[Beérkezett 1966. november 13-án]

Mint ismeretes, több éves szívós munka után 1964. szeptember 17-én megépült Budapesten az Országos Műszaki Múzeum első egységeként egy kétszintes pavilon (1. ábra), amely nemcsak befogadja a begyűjtött és védetté nyilvánított műszaki emlékeket, hanem a szükséges hivatali helyiségeken kívül magában foglal egy nagy alapterületű kiállítási termet (2. ábra), karbantartó és javító műhelyt, valamint könyvtárat és klubszobát is.

Kíséreljük meg nyomon követni, hogy jutottunk el idáig, a Műszaki Múzeum gondolatától az említett raktárpavilon elkészültéig.

*

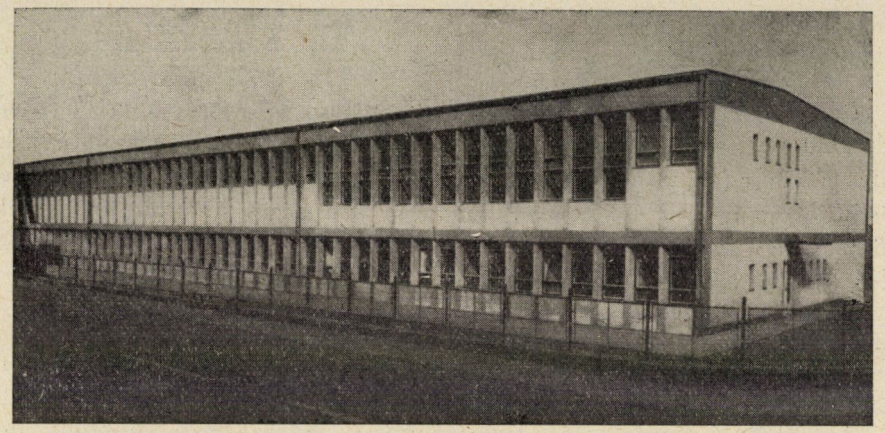
Az elmúlt évtizedek alatt tudományos és műszaki értelmiségünk annyi kiválóságának szorgalmazó fellépése ellenére sem valósult meg a tudományos és technikai hagyományainkat minden szakágban összefoglaló múzeum, a tudományos-műszaki népművelés tömeghatású központja. Ezen a téren fordulópontot jelentett Népköztársaságunk Elnöki Tanácsának 1954. február 24-én megjelent 4. sz. törvényerejű rendelete, amely gondoskodott a műszaki emlékek védelméről.

A törvény első paragrafusa kimondja, hogy a „magyar műszaki alkotásoknak azokat az emlékeit, amelyek — mint a magyar nép haladó hagyományainak és mint a műszaki fejlődés történelmének értékes bizonyítékai — a tudományos kutatás szempontjából jelentősek, a jelen törvényerejű rendeletben meghatározott védelemben kell részesíteni".

A második paragrafus megállapítja, hogy „műszaki emlék minden olyan műszaki jellegű s a tudományos kutatás számára történelmi jelentőségű tárgy (műszaki létesítmény, műszaki berendezés, mezőgazdasági jellegű műszaki létesítmény, gép, gépalkatrész, szerkezet, készülék, szerszám, műszer vagy kísérleti eszköz stb.), melyet a művelődésügyi miniszter annak nyilvánít."

Továbbá „műszaki emlékké lehet nyilvánítani a műszaki emlék jellegű tárgy tartozékait, eredeti vagy későbbi ábrázolását, ismertetését, illetőleg az azt tartalmazó iratot, valamint az ilyen tárgyat ábrázoló kismintát (modellt) is, tekintet nélkül arra, hogy az ábrázolt, illetőleg leírt tárgy korábban már megsemmisült."

A negyedik paragrafus előírja, hogy „a műszaki emléket eredeti állapotban kell megőrizni. A műszaki emlékké nyilvánított tárggyal tulajdonosa, illetőleg birtokosa csak a művelődésügyi miniszter által meghatározott módon rendelkezhet. A műszaki emlékké nyilvánított tárgyat megsemmisíteni, illetőleg megrongálni, egészben vagy részben megváltoztatni, a művelődésügyi miniszter engedélye nélkül elidegeníteni, más helyre átszállítani, az ország területéről kivinni vagy végrehajtási eljárás során lefoglalni nem szabad."



1. ábra

A törvényt egyidejűleg követte a Minisztertanács 14/1954. számú végrehajtási utasítása, mely első ízben említi meg a Művelődésügyi Minisztérium Múzeumi Főosztálya mellett működő Műszaki Emlékeket Nyilvántartó és Gyűjtő Csoportot, mint a törvény végrehajtó szervét. E csoport 1954. május 10-én kezdte meg munkáját.

A munka első fázisa a műszaki emlékek fogalmi körének tisztázása, egy műszaki emlék-kataszter megteremtése, vagyis a megfelelő felkutató és nyilvántartó rendszer kidolgozása volt. A kezdeti munka legnehezebb részét az ipari vállalatok figyelmének felkeltése, továbbá a rendelet végrehajtásához szükséges társadalmi és erkölcsi támogatás megszervezése alkotta. Ezen a területen nagy segítséget jelentettek az egyes iparágak vezető szervei.

Gyakorlatilag elsőként a Kohó- és Gépipari Minisztérium Műszaki Főosztálya támogatta a gyűjtés munkáját. Ezt követőleg a többi szakminisztérium, valamint az iparigazgatóságok is bekapcsolódtak a munkába. A műszaki és tudományegyetemek rektorai szintén magukévá tették a bejelentések fontosságát. Az eredmények rövidesen mutatkoztak. A gyűjtés első szakaszában kiderült azonban, hogy a törvény szűkszavúan határozza meg a műszaki emlékek fogalmát, és a további munka eredményességének biztosítására szükségessé vált annak lerögzítése, hogy a gyűjtőmunka célja a magyar műszaki

alkotások fejlődéstörténeti bizonyítékainak és emlékeinek a létesítendő magyar műszaki múzeum keretében való tanulságos és rendszeres összefoglalása. Ezeknek időelőtti elkallódását és megsemmisülését a védelem alá helyezés kívánja meggátolni addig is, amíg a rendszeres összegyűjtés végbemehet. A műszaki emlékek védetté nyilvánítása főképpen azoknak az értékeknek a megőrzését célozza, amelyek a fejlődés folyamatára okszerű bizonyítékul, s egyben tanulságul is felhasználhatók.

2. ábra

A védettségre való érdemesség megítélésekor a következők tarthatnak számot mérlegelésre: műszaki alkotások terén kezdeményező lépések, első megoldások; bevezetett újítások és találmányok, alkalmazott új tudományos elvek, különös tekintettel arra, hogy fordulatot jelentettek-e vagy új irányt szabtak-e a fejlődésnek, esetleg gyorsították-e azt; a gazdaságosság, a biztonság és termelékenység javítását, növelését előidéző eljárások, módszerek és elvek gépi megvalósításai; általában minden olyan műszaki létesítmény, amelynek már közvetlenül születése után a tudomány, illetve a technika további fejlődése szempontjából értékelhető kihatása volt, és ezzel a későbbi fejlődésnek alapját vetette meg. Igen fontos követelmény tehát, hogy ezek értéke alkalmazásuk időszakába beleágyazva mérlegeltessék.

A műszaki emlékek védelméről intézkedő törvény különben igen észszerűen állapítja meg a műszaki emlékek fogalmát. E törvény szerint műszaki

emléknek minősíthetők ui. egyes tudósok, felfedezők vagy nagy technikai alkotások létrehozóinak életére és működésére vonatkozó emlékek, valamint egyes intézmények (pl. tanintézetek stb.) gyűjteményeiben helyet foglaló és a fenti szempontoknak megfelelő eszközök, tárgyak stb. is.

Jellemző, hogy az 1954. évi 4. sz. törvényerejű rendeletben megállapított bejelentési határidőre csak 56 műszaki emléknek minősülő tárgyat jelentettek be. Azóta a bejelentések száma 6000 fölé, a védetté nyilvánított tárgyak száma pedig 3500 fölé emelkedett.

Azon iparági területeken, amelyeken a 4. sz. törvényerejű rendelet hatására a legeredményesebb volt a gyűjtőmunka, felmerült az igény iparági szakmúzeumok létesítésére. A Műszaki Emlékeket Nyilvántartó és Gyűjtő Csoport az illetékes szaktárcákkal együttműködve minden ilyen kezdeményezést hathatósan támogatott. Ennek a szervező, irányító és támogató munkának eredményeként az egyes tárcák támogatásával egymás után születtek meg olyan jellegű szakmúzeumok, amilyenekről a felszabadulás előtt szó sem lehetett.

A világháború előtti időkben egyetlen szakmúzeumunk a *Közlekedési Múzeum* volt. Ez, sajnos, a második világháború végén erősen megrongálódott, s anyagának csak egy része maradt meg. Azonban a megmaradt anyagot a közlekedési szaktárca évről évre bővítette, s ennek eredményeként e nagymúltú múzum 1966. április 2-án *Magyar Közlekedési Múzeum* néven ismét megnyithatta kapuit a nagyközönség előtt.

Az első, újonnan alakított szakmúzeum a *Postamúzeum* volt, amely 1955-ben nyílt meg a Postavezérigazgatóság épületében. Ennek a múzeumnak anyagát túlnyomórészt a híradástechnikai iparág műszaki emlékeiből és fejlődéstörténeti anyagából gyűjtötték össze. Tárgyainak bemutatását a modern kiállítástechnika alkalmazásával oldotta meg.

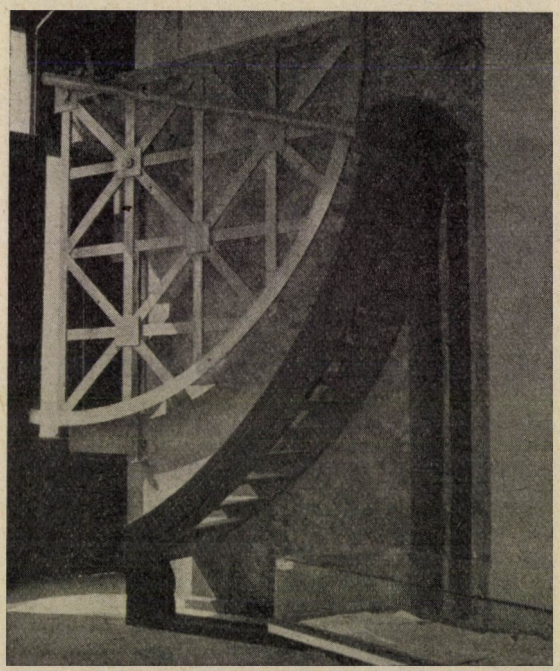
1957. augusztus 20-án nyílt meg a *Tűzoltó Múzeum*. Kialakítását és művészi tervezését a Múzeumok Kiállításrendező Csoportja végezte. Korszerű kiállítástechnikával bemutatott és tudományosan alátámasztott, legnagyobbrészt műszaki fejlődéstörténeti anyaga külföldi szakemberek véleménye szerint európai viszonylatban is egyedülálló.

Hazánk legrégibb iparágát, illetőleg annak fejlődéstörténeti emlékeit bemutató szakmúzeumunk a *Központi Bányászati Múzeum* 1957. október 13-án nyílt meg Sopronban. Szervezése a Nehézipari Műszaki Egyetem Bánya- és Földmérő Karán indult el.

Már 1956-ban a Kohó- és Gépipari Miniszter a Művelődésügyi Miniszterrel egyetértésben kohászati múzeum létrehozását határozta el Diósgyőr székhellyel. A múzeum feladatául tűzte ki nemcsak a magyar, hanem az egyetemes kohászat múltjának, valamint fejlődésének szemléltető bemutatását, régi és új technikatörténeti dokumentumainak gyűjtését. A múzeum 1960. szeptember 24-én nyílt meg *Központi Kohászati Múzeum* jelleggel.

Még 1956-ban merült fel a *Textilipari Múzeum* felállításának gondolata. Ennek eredményeképpen 1962-ben nyílt meg Pápán az 1783-ban alapított Kluge-féle kékfestőüzem helyreállított helyiségeiben ennek a hajdan olyan jelentős manufaktúrának állandó jellegű muzeális kiállítása.

1964 nyarán létesült a Közlekedési Múzeum és az Országos Vízügyi Főigazgatóság közreműködésével a siófoki *Beszédes József Múzeum* újonnan rendezett kiállítása, amely a magyar vízgazdálkodás történetéről és fejlődéséről ad képet.



3. ábra

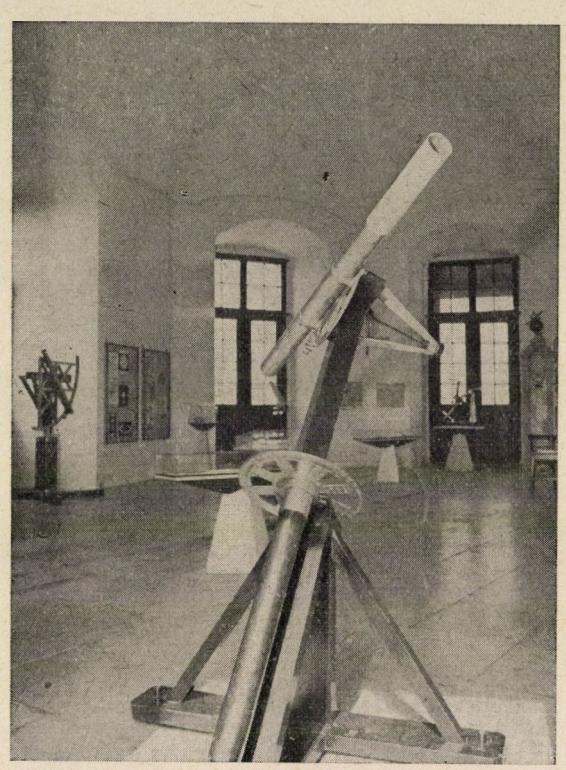
1962-ben indult a Nehézipari és Művelődésügyi Minisztérium között történt megállapodás alapján a *Vegyipari Múzeum* szervezésének munkája. A létesítendő múzeum a várpalotai várban fog elhelyezést nyerni.

1966. április 16-án több éves munka eredményeképpen nyitotta meg kapuit az egri Tanárképző Főiskola kupolatermeiben a XVIII. század második felében létesített csillagászati intézmény korhű helyreállításával, az időközben védetté nyilvánított eredeti műszerek visszaállításával és azok történetét bemutató kiállításával a *Csillagászati Múzeum* (3. és 4. ábra).

Ugyancsak 1966 végén indult meg az 1844-ben alakult Ganz Törzsgyár öntőcsarnokának korhű helyreállítása a védetté nyilvánított berendezési tárgyak felhasználásával. Helyreállítása után az *Öntészeti Múzeum* fog itt elhelyezésre kerülni, amelynek fő témája az öntőde korabeli technológiájának

dokumentálása lesz. Megnyitása 1967 végére van tervbe véve. Üzemvitelét a Központi Kohászati Múzeum fogja ellátni.

Az Országos Műemléki Felügyelőség és az Élelmezésügyi Minisztérium, valamint a Műszaki Emlékeket Nyilvántartó és Gyűjtő Csoport még évekkel ezelőtt tervbe vette az egyes *malomtípusoknak* (vízi-, szél-, taposó-, szárazmalom) korhű restaurálását és ezeknek — állagmegóvási szempontokat figyelembe véve — üzemben tartását.



4. ábra

Meg kell még említeni a Diósgyőr melletti Garadna völgyében levő *Újmassai őskohót* is, mint kiemelkedő ipartörténeti objektumot. Ennek közelében a Központi Kohászati Múzeum három szobából álló kis múzeumot létesített. A múzeum anyaga az említett kohó termékeit mutatja be.

A Műszaki Emlékeket Nyilvántartó és Gyűjtő Csoport 1955-től kezdve számos kiállítást rendezett. A kiállítások közül több vándorkiállításként az ország nagyobb vidéki múzeumaiban és műszaki egyesületeiben is bemutatásra került. E kiállítások mindenkor kettős célt szolgáltak, egyrészt felsorakoztatták kiváló tudósaink és feltalálóink múltbeli munkásságának eredményeit, másrészt bemutatták technikánk mai eredményeit.

Meg kell említeni, hogy hazai kiállításainkon kívül haladó magyar műszaki hagyományaink legértékesebb tárgyai bemutatásra kerültek 1958-ban a brüsszeli világkiállításon, majd 1961-ben a torinói nemzetközi kiállításon. Az UNESCO által tervezett világleltár összeállításához, amely a történelmileg jelentős készülékeket és műszereket kívánja felsorolni, a Műszaki Emlékeket Nyilvántartó és Gyűjtő Csoport védett tárgyainkból 29 db-ot jelentett be.

A felsoroltakon kívül a Műszaki Emlékeket Nyilvántartó és Gyűjtő Csoport rendszeresen támogatja tárgyi és dokumentációs emlékeinkkel a különböző tudományos intézetek kiállításait. Új épületében 1965. szeptember 30-án az Országos Múzeumi Hónap megnyitása alkalmából rendezett kiállítása „20 év magyar találmányai" címen szakkörökben igen jó benyomást keltett.

Az eltelt idő alatt a Műszaki Emlékeket Nyilvántartó és Gyűjtő Csoport több kiadványt jelentetett meg a műszaki műveltség és ismeretszerzés szélesítésére. Ezek közül a legjelentősebb az 1963 óta megjelenő *Technikatörténeti Szemle* című tudományos folyóirat, amelynek célja, hogy a hazai technikatörténeti kutatásoknak közös fórumot, publikációt és vitalehetőséget biztosítson, a hazai és külföldi technikatörténeti kutatásokat figyelemmel kísérje, továbbá a műszaki és ipari emlékek védelmét és műszaki múzeumok létrehozását elősegítse. A folyóirat nemcsak a szakembereknek nyújt nélkülözhetetlen segítséget, hanem érdekes és hasznos ismereteket jelent mindenkinek, akit a technika történeti fejlődése érdekel.

Végül meg kell említeni a Műszaki Könyvkiadó által 1961-ben kiadott „*A világ műszaki múzeumai*" c. könyvet, valamint az 1964-ben megjelent *Műszaki Múzeumok Évkönyvét*. Utóbbi részletesen ismerteti a magyar műszaki muzeális ügy fejlődését, képekkel bőségesen illusztrálva bemutatja műszaki múzeumaink keresztmetszetét, ismerteti működésüket és célkitűzéseiket. Jogosan állapítható meg, hogy az Évkönyv mérföldkő, amely a hagyományápolás, a múlt eredményeire való utalás, s azok megbecsülése mellett mégis elsősorban előre mutat.

A harmadik ötéves tervben a *Műszaki Múzeum* további kiépítése szerepel, s annak befejezése 1970—71. évre várható.

Az előbb elmondottak alapján megállapítható, hogy a *Műszaki Emlékeket Nyilvántartó és Gyűjtő Csoport* a megalakulása óta eltelt időszakban kis létszáma ellenére igen jelentős feladatokat teljesített. A feladatok azonban, amelyek reá hárulnak, igen széles körűek és sokszorosan meghaladják a rendelkezésére álló személyi keretet, főleg a tudományos munkatársak és muzeológusok vonalán. Ezért, de főleg a magyar műszaki múzeumokra háruló feladatok jelentőségére való tekintettel, sürgősen biztosítani kell legalábbis az alapok eredményes lerakásához nélkülözhetetlen tudományos és szakkapacitást.

KÖNYVSZEMLE

G. Johnson

THEORY AND TECHNIQUE OF VARIATION RESEARCH

Elsevier Publishing Company, Amsterdam—London—New York 1964; 105 oldal, 34 ábra, 27 táblázat

A világirodalomban aránylag nem sok könyv foglalkozik a kísérletek megtervezésével és azoknak korszerű módszerek útján való értékelésével. A tárgykörben igen értékes és alapvető munka O. L. DAVIES 1954-ben megjelent könyve: „Design and Analysis of Industrial Experiments", mely 636 oldalon tárgyalta ugyanezt a problémát. L. G. JOHNSON rövid 100 oldalas könyvében igen kiváló és könnyen áttekinthető képet ad valamennyi, a gyakorló mérnök számára lényeges kérdésről. Pl. foglalkozik azzal a kérdéssel, hogy miként választható szét a három változó befolyása, ha valamely jelenséget három változó is befolyásol, és hogyan kell megtervezni ehhez a kísérleteket. Ugyancsak részletesen tárgyalja, hogy mikor tekinthető két kimutatott jelenség között a különbség szignifikánsnak, figyelembe véve a mérések szórását.

E példák csak illusztrálni kívánják azt a jól megválogatott anyagot, amelyet a szerző a könyvében úgy állított össze, hogy a gyakorló mérnökök számára a legfontosabb tudnivalókat megadja.

A feladatok tárgyalásánál a szerző a Weibull-függvényre támaszkodik, ami lehetővé teszi az összes feladat egyöntetű kezelését. A bonyolultabb matematika használata helyett igen nagy súlyt helyez a feladatok grafikus megoldására. Éppen emiatt rendkívül egyszerű, könnyen elsajátítható módszert ad a gyakorló mérnökök kezébe. Függetlenül attól, hogy a szerző a könyvet az ipari gyakorlat számára írta, a könyv egyes területeken a kutatólaboratóriumok számára is igen értékes segítséget jelent.

Dr. Gillemot László

G. Johnson

THE STATISTICAL TREATMENT OF FATIGUE EXPERIMENTS

Elsevier Publishing Company, Amsterdam—London—New York 1964; 114 oldal, 32 ábra, 23 táblázat

A könyv szerzője tudományos működése során jelentős mértékben járult hozzá a matematikai statisztika műszaki alkalmazásaihoz. Könyve 114 oldalon a fárasztási kísérletek statisztikus kezelését tárgyalja. Az erre a célra szóba jöhető eloszlási függvények közül a tárgyalás alapjává a Weibull-függvényeket teszi. Ez annál is inkább indokolt, mert az *American Society for Testing Materials* (ASTM) 1962-ben már kísérleti szabványba foglalta a Weibull-függvények alkalmazását.

A szerző rendkívül egyszerű és könnyen érthető stílusban számos példával alátámasztva mutatja be a Weibull-függvények használatát nemcsak fárasztókísérletek értékelésével, hanem magának a kísérleteknek a megtervezésénél is. Az egyébként könnyen érthető és gyakorló mérnökök számára készült könyv azonban feltételezi a Weibull-függvények alapvető ismeretét. A könyv ugyan bemutatja a tárgyalt alkalmazások matematikai alapjait is, de ennek ellenére célszerűbb az alapfogalmakat más forrásból, pl. a már hivatkozott amerikai kísérleti szabványból átnézni annak, aki ezzel a témakörrel még nem foglalkozott.

A könyv gyakorló mérnökök számára fontos és nélkülözhetetlen kézikönyv.

Dr. Gillemot László

Hornung Andor

A GAZDASÁGOS MARÁS

Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1965; 248 oldal, 114 ábra

A könyv a marószerszámot és a marás technológiáját a felsorolt jellemzők figyelembevételével elméleti és gyakorlati megfontolások alapján ismerteti. Kimutatja, hogy az alakos munkadarabok megmunkálásában a különböző kialakítású marószerszámoknak fontos szerepük van, továbbá, hogy a marószerszámok anyagával, kialakításával és méreteivel összefüggő éltartam, forgácsolóerő, forgácsolási teljesítményszükséglet, valamint az időegység alatt leforgácsolt anyagtérfogat a gazdaságos termelékenységet lényegesen befolyásolja.

A könyv fejezetbeosztása a következő: 1. A forgácsalakulás palást- és homlokmarásnál. 2. A főforgácsolóerő meghatározása palást- és homlokmarásnál. 3. A marók geometriai jellemzőinek jelölése és alapfogalmak. 4. Az egyenletes járás követelményei. 5. A forgácsolásnál fellépő főbb jelenségek. 6. Gyorsacélmarók élszögeinek megválasztása. 7. Keményfém-betétkéses marók használata. 8. A marógépek jellemző adatai. 9. A forgácsolóél kopásának hatása a főforgácsolóerőre. 10. A fajlagos forgácsolási ellenállás nagysága különféle anyagokra. 11. Az éltartam meghatározása marásnál. 12. Marás kerámialapkás marófejjel. 13. Az alakmarók termelékeny alkalmazása. 14. A gazdaságos teljesítménymarás feltételei. 15. Forgómarás. 16. A marás gazdaságossági vizsgálata. 17. Összefoglalás.

A könyv elsősorban a gyártástervezésnek szól, melynek a gazdaságos termelés feltételeit kell biztosítania; jó hasznát veszik azonban a műnek a termelőüzemek, valamint a szerszám- és szerszámgéptervezők is.

A szerző azt a célkitűzését, hogy könyvében a gazdaságos marás feltételeit ismertesse és az e téren elérhető eredményeket a gyakorlat számára feltrája, sikeresen oldotta meg. A marási költségek csökkentésének módozatait számos gyakorlati példával és következetes ellenőrző számításokkal igazolja. A könyvből az a nyilvánvaló tanulság is meríthető, hogy a gazdaságos termelésnek a szükséges termelési eszközök mellett még a kellő elméleti és gyakorlati felkészültség is egyik el nem hanyagolható feltétele.

Dr. Kazinczy László

K. Oswatitsch (szerk.)

SYMPOSIUM TRANSSONICUM AACHEN, 3—7. Sept. 1962.

Springer, Berlin 1964, 490. old., 238 ábra

A könyv a hangkörüli (transzszonikus) áramlás kérdéseinek megtárgyalására a IUTAM által 1962. szept. 3. és 7. között Aachenben megrendezett kollokviumon elhangzott előadások és vita anyagát tartalmazza.

A szerkesztő rövid előszavában tömören megvilágítja a tudományág jelenlegi helyzetét: a kutatómunka intenzitása elérte maximumát, és csökkenőben van annak ellenére, hogy lényeges problémák tisztázatlanok még. A polgári és katonai repülőgépipar a transzszonikus kérdések megoldását mégis egyre csökkenő mértékben támogatja anyagilag, bizonyára azért, mert egyrészt a problémák gyakorlati megoldását tartja szükségesnek, másrészt a gázdinamika egyéb területein is számos kutatásra váró témát vetnek fel (hiperszonikus áramlás, plazmaállapot, magnetogázdinamika stb.). Pedig az alapkutatás elhanyagolása ezen a fontos területen — már csak a kísérletek óriási költsége miatt is — rövidesen megbosszulná magát. A IUTAM kollokviuma éppen ezért a gyakorlat céljait is szolgálta.

A 34 előadás az alábbi csoportosításban hangzott el:

1. Hodográf-módszer, szingularitások. 2. Az áramlás síkján, síkáramlás és hengerszimmetrikus áramlás esetén alkalmazható módszerek. 3. Stacionárius térbeli áramlások. 4. Belső áramlás, szélcsatornák. 5. Instacionárius áramlás, szárnyrezgések. 6. Magnetogázdinamika. 7. Egyéb, az eddigiekbe be nem sorolható előadások.

A könyv az előadások anyagát a szokásos részletességgel, ábrákkal és irodalomjegyzékkel együtt adja közre, az élénk, de többnyire a szünetekben lezajlott viták visszaadása helyett azonban — nem lévén rá objektív lehetőség — csupán az írásban benyújtott vitaanyagot közli.

Dr. Gruber József

Yu Chen

VIBRATION THEORETICAL METHODS

Addison—Wesley Publishing Company, Inc. Reading, Massachusetts 1966. 285 oldal, 8 táblázat

A könyv a lineáris lengéstanban leggyakrabban alkalmazott elméleti módszereket tárgyalja. Fő értékét különösen a pedagógiailag igen szerencsés tárgyalás és az anyagválasztás jól sikerült volta adja.

A nyolc fejezetből álló könyv első fejezete a legegyszerűbb fogalmakat, módszereket bevezető jelleggel ismerteti. A második fejezet egyszabadságfokú rendszereken mutatja be az integrálttranszformációs módszerrel való megoldást periódusos és nemperiódusos gerjesztőerők esetén. A harmadik fejezet a másodfajú Lagrange-féle egyenletekkel és a Hamilton-elvvel foglalkozik, s röviden kitér a villamos analógiákra is. A negyedik a többszabadságfokú rendszereknek a normál módusokra (sajátlengésformákra) alapított megoldási módszerét tárgyalja. Az ötödik a viszkózus csillapítás tekintetbevételével foglalkozik. A hatodik a többszabadságfokú rendszerekkel kapcsolatosan az eddig bemutatott módszereket mátrixos megfogalmazásban tárgyalja. A leggyakrabban vizsgált kontinuus rendszerek főbb lengésporblémái alkotják a hetedik fejezetet. A nyolcadik fejezet variációs módszereknek van szentelve. Három függelékben az alábbiakat találjuk: egy kis Laplace-transzformációs táblázatot, a mátrixalgebra elemeit, a szummációs indexek alkalmazásával kapcsolatos főbb szabályokat. Végül a szövegbe beiktatott feladatok közül egyeseknek a megoldását adja meg a könyv.

Csaknem minden fejezetben találunk nem egy kisebb-nagyobb mértékben eredeti, nem konvencionális megfogalmazást, magyarázati módot. A szöveg mindenütt pontos, egyértelmű, könnyen érthető.

A könyvet nemcsak kezdőknek ajánlhatjuk melegen, hanem azoknak a gyakorlati szakembereknek is, akik elméleti alapjaikat jobban akarják elmélyíteni és megszilárdítani.

Dr. Bosznay Ádám

BETONTECHNISCHE BERICHTE 1965

Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf. 228 oldal, 34 táblázat, 42 ábra, 55 kép; angol és francia nyelvű rövid összefoglaló

Ez a kötet, a korábbi években megjelentekhez hasonlóan, a betonkészítés súlyponti problémáival foglalkozik. Ezek közé tartozik a kötetben megjelent több, a düsseldorfi cementi ipari kutatóintézet betontechnikai osztályán végzett kísérletekkel kapcsolatos beszámoló, mint a beton védelme fagy- és olvasztósók (sózás) hatása ellen, vagy a nagyszilárdságú szerkezeti könnyűbetonok előállításával kapcsolatos kutatások.

A kötet több különálló témát tárgyal.

Walz, K.: *Feszítettbeton-utak duzzadó cementből.* Az a gondolat, hogy duzzadó cement alkalmazása a betonban nyomó előfeszültséget idéz elő, ami gátolja repedések kialakulását, az USA-ban hézagnélküli betonburkolatok készítéséhez vezetett. Kaliforniában a vasalatlan betonburkolat előfeszültségét a lemezvégeken elhelyezett ellenállás segítségével, Connecticutban vasalás alkalmazásával idézték elő, ami a betonnyúlásokat akadályozta. A vasalás hosszirányban, feszítőhuzalokból készült. A kaliforniai szakaszon keresztirányú repedések keletkeztek, mert a duzzadó komponens túl kevés volt ahhoz, hogy elegendő nyomófeszültséget szolgáltasson, ezzel szemben Connecticutban a kísérletek igen jó eredményekkel végződtek.

Walz, K.: *Elhelyezőgép, átmenő vasalásnak vasbetétes betonburkolatokba történő elhelyezésére.* Az USA-ban kidolgozott egyrétegű vasbetétes betonútépítés a Németországban alkalmazott kétrétegűnél sokkal teljesítőképesebb. A vasbetétek utólagos behelyezésére különleges gépi berendezést készítettek.

Walz, K.—Bonzel, J.—Baum, G.: *Kísérletek nagyszilárdságú könnyűbetonokkal.* 1959-ben a Cementipari Kutatóintézetben kísérleteket kezdtek annak megállapítására, hogy a Németországban akkor rendelkezésre álló könnyű adalékanyagokból készíthető-e B 300-as minőségű, vagy ennél nagyobb szilárdságú szerkezeti beton, lehetőleg 1,80 kg/dm³ adalékanyag térfogatsúly alatt. Az előkísérletek négy fajta adalékanyagot találtak alkalmasnak, éspedig egyfajta duzzasztott agyagkavicsot, egyfajta kohósalakot és két fajta pernyesalakot.

Egy évig vizsgálták a beton nyomó-, hajlító-húzó- és hasító-húzószilárdságát, két és fél évig a rugalmasságát, zsugorodását és kúszását. Azt tapasztalták, hogy a zsugorodás a hasonló normál betonokéval azonos értékűre, a rugalmas alakváltozás nagyobbra, a kúszás kisebb értékűre adódott.

WALZ, K.—HELMS-DERFER, H.: *Fiatal útbetonok védelme olvasztósók (sózás) hatásával szemben.* A kísérletek és tapasztalat szerint azok az útbetonok, amelyek jó összetételűek, kellő szilárdságúak és legalább 3,5% pórustartalommal rendelkeznek, az olvasztósók hatásaival szemben kielégítően ellenállók. Ha a beton késő ősszel, alacsony hőmérsékleten, nedves időben szilárdul és rövid időn belül erős fagyolvasztó só hatásának van kitéve, a pórustartalom ellenére a felületet az első télen károsodás érheti. A károsodás légpórusképző és impregnáló anyagok nélkül a felületen 1 cm mélyre is behatol. Antracénolajjal vagy szilikonoldatokkal történő impregnálás esetén csak 1 mm vastagságban oldódik ki a finomhabarcs réteg. Epoxigyanta oldattal történő impregnálásnál nem észlelhető változás.

WALZ, K.: *A szerkezeti könnyűbeton technológiai és mechanikai sajátosságai.* Jelenleg a Német Szövetségi Köztársaságban mérnöki szerkezetek építésére nem alkalmazzák a nagyszilárdságú könnyűbetont, mert a megkívánt nagyszilárdságú könnyű adalékanyagok nem állnak rendelkezésre. Ezzel szemben az USA-ban nagyon sok helyen alkalmazzák. Németországban is kínálkoznak nyersanyagok és megfelelő eljárások a készítéshez. A nagyszilárdságú szerkezeti könnyűbeton drágább, mint a hasonló szilárdságú normálbeton, mégis kisebb súlya és szélesebb alkalmazási területe miatt nagy gazdasági előnyökkel rendelkezik. Az USA-ban végzett eredményes kísérletek alapot adnak a nagyszilárdságú könnyűbeton szerkezetek Németországban történő kifejlesztésére.

WISCHERS, G.: *A „transzportbeton" fejlődése Németországban.* A „transzportbeton" fejlődése Németországban 1953-ban kezdődött Kölnben és Stuttgartban. 1964 végéig 500 gyárban cca 13 millió m³ „transzportbetont" állítottak elő. A cementmennyiségnek több mint 10%-át használják itt fel. A nagy üzemek több mint 50 m³/óra, a közepes üzemek 20÷40 m³/óra, a kis üzemek 10÷15 m³/óra kapacitásúak. Újabban 100 m³/óra kapacitású üzemeket létesítenek nagyvárosokban. A munkahelyre történő szállítás teknőkocsikban és keverőkocsikban történik.

WALZ, K.—DAHMS, J.: *A beton alkalmazása a bányaépítésben.* A kőszénbányák kiépítésén egyre növekvő mértékben alkalmazzák a betont. Eddig csak kétfajta betont különböztettek meg: B. 160 és B. 300 minőségűt. A tanulmány túlmegy ezen és foglalkozik a legalkalmasabb cementekkel, adalékanyagokkal, habarcsösszetételekkel, szállításokkal, tömörítéssel és utókezeléssel is.

BONZEL, J.: *Fagy és sózás hatásának ellenálló beton.* A beszámoló kiegészíti WALZ, K. és HELMS, H. ismertetőjét, és meállapítja, hogy a fagy és sózás hatásának jól ellenálló betonok megnövelt cementmennyiséget igényelnek, s azokat a lehető legkisebb víz-cement tényezővel és finomszemcse-tartalommal kell készíteni. Az adalékanyagnak agyag-, iszap- és csillámtartalomtól mentesnek kell lennie.

Dr. Palotás László

48,— Ft

1967. VI. 20.

Index: 26.499

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK

KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI

GELEJI SÁNDOR

38. KÖTET 3—4. SZÁM

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

1967

VI. OSZT. KÖZL.

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
GELEJI SÁNDOR

38. KÖTET 3–4. 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:

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

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Megjelent munkájáért minden szerzőt száz különnyomat 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 utca 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.

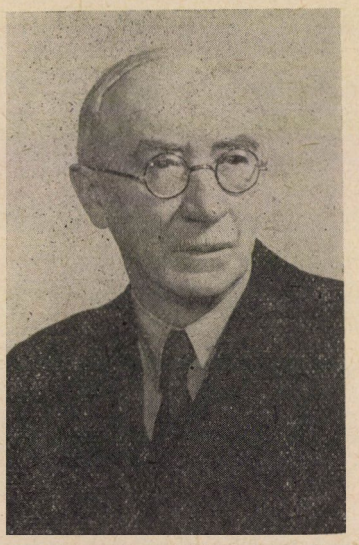
A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának kiadványa az

Acta Technica

című idegen nyelvű folyóirat.

E 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.



DR. LISKA JÓZSEF

1883—1967

DR. LISKA JÓZSEF a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja, a budapesti Műszaki Egyetem Kossuth-díjas nyugalmazott tanára 1967. március 14-én 84 éves korában elhunyt.

DR. LISKA JÓZSEF a magyar elektrotechnikai élet kiemelkedő képességű nagy egyénisége volt. Egyetemi tanulmányai végeztével hosszabb ideig volt a híres karlsruhei ARNOLD professzor asszisztense. Így került már fiatal mérnök korában az egyik leghíresebb elektrotechnikai iskola közelségébe, és az ott szerzett benyomásokat egész életén át mind az iparban eltöltött idejében, mind az egyetemi oktatásban eltöltött időszakban sok tekintetben továbbfejlesztve felhasználta. Már az elektrotechnikai iparban — a praxis szigorúan körülhatárolt problémakörein túl — számos értékes dolgozattal gazdagította az elektrotechnikai tudományos irodalmat, amelyek közül különösen a különleges transzformátorok problémáival foglalkozó értekezései tűntek ki.

DR. LISKA JÓZSEF professzor először SÖPKÉZ SÁNDOR utódaként került a Budapesti Műszaki Egyetemre, majd PÖSCHL IMRE távozása után a harmincas évek derekán a villamos gépek oktatását vette át. Az a nagyfokú szabatosság, amellyel előadásait és későbbi előadásai anyagából keletkezett könyveit megírta, alapjában véve nevezetes fejezetet nyitott a Magyarországon olyan mély gyökerekkel rendelkező erősáramú elektrotechnika oktatásában és az ez irányú tudományos kutatásban.

Nagy életműve, az 5 kötetben megjelent *Villamos gépek* tankönyv, amely egyúttal kiváló kézikönyvként is, minden villamos géppekkel foglalkozó

mérnök kezében megtalálható. Ebben korszerű színvonalon, biztos tárgyi tudással és a jó pedagógusra annyira jellemző, csak a lényegesre rámutató természetes szűkszavúsággal tudta élvezetessé tenni a villamos gépek tudományát. Ez az 5 kötetes mű, amely a transzformátortól kezdve az egyenáramú és váltakozóáramú gépek elméletén és üzemismeretén át vezet el egészen a konstrukciós részletekig, maradandó emléket állított nevének.

Több villamosmérnök-generációt nevelt fel, tanítványai mind az ipar területén, mind a tudományos kutatásban, vagy az egyetemi oktatásban szívesen fordulnak azokhoz a tudományos módszerekhez, ill. pedagógiai felfogáshoz, amelyekkel Dr. Liska József a legnehezebb problémákat megoldotta.

A Magyar Tudományos Akadémiának és a Magyar Elektrotechnikai Egyesületnek élete végéig szorgalmas, fáradhatatlan tagja volt. Személyében nagy tudományos egyéniséget veszített el a magyar társadalom.

Dr. Kovács K. Pál

BESZÁMOLÓ A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK 1964—1966. ÉVI TEVÉKENYSÉGÉRŐL*

BOGNÁR GÉZA
AKADÉMIKUS, OSZTÁLYTITKÁR

A Műszaki Tudományok Osztályának az 1964. évi akadémiai választások óta eltelt időszakban végzett munkájáról az osztályvezetőség írásbeli jelentése számol be.** Ez részletesen tárgyalja az Osztályhoz tartozó szakterületek tudományos eredményeit és azokat a tudománypolitikai intézkedéseket, amelyeket az elmúlt három éves időszakban az Osztály megtett. Úgy gondoljuk, nem szükséges ezeket a kérdéseket e szóbeli kiegészítés során részleteiben ismertetni, mert a megküldött beszámoló lehetőséget ad arra, hogy a kibővített osztályülésen résztvevők az Osztály munkájának egészéről részletes áttekintést kapjanak.

A kibővített osztályüléssel az osztályvezetőség, valamint az osztályhoz tartozó bizottságok tagjainak megbízatása lejár; ezért fokozott mértékben indokolt, hogy rámutassunk néhány olyan kérdésre, amelynek megoldása az elkövetkezendő időszakban az újonnan megválasztott vezetőség, illetve bizottságok alapvető feladata lesz.

E szóbeli kiegészítés során csupán két kérdéssel kívánok foglalkozni. Az egyik *a kutatómunka hatékonyságának növelése*, a másik *az Osztályhoz tartozó bizottságok újjászervezése*.

Alapvető feladatunk, hogy a Műszaki Tudományok Osztályához tartozó kutatóhelyeken, különösen a három kiemelt tudományterületen: az automatika, a szilárdtestfizika és a műszaki mechanika területén, amelyekhez jelentős népgazdasági érdek fűződik, a kutatómunka hatékonysága tovább javuljon. Az új gazdaságirányítási rendszer küszöbön álló bevezetésekor az eddiginél fokozottabban kell figyelmünket arra fordítani, hogy ezeken a tudományterületeken a népgazdaság részére is hasznosítható, jelentős tudományos eredményeket érjünk el. Úgy gondoljuk, nem járunk el helytelenül, ha a műszaki tudományok területén dolgozó kutatók munkájának eredményességét elsősorban azon mérjük le, hogy a népgazdaság számára minő közvetve vagy

* Elhangzott a Műszaki Tudományok Osztályának 1967. május 3-án tartott kibővített osztályülésén.

** A jelentést a „Függelék" tartalmazza.

MTA VI. Osztály Közleményei 38, 1967

közvetlenül hasznosítható eredményeket érnek el, még akkor is, ha ezek hosszabb, 5—10 éves távon jelentkeznek.

Behatóan vizsgálnunk kell, hogy az új gazdaságirányítási rendszer feltételei között milyen módszerekkel tudjuk megvalósítani a Műszaki Tudományok Osztálya területére vonatkoztatva a Magyar Tudományos Akadémiáról szóló törvényerejű rendeletben a tudományos kutatások országos irányítására és összehangolására vonatkozó jogkört.

Nagy a valószínűsége annak, hogy az akadémiai intézetek fenntartását nagyrészt továbbra is állami költségvetés fogja biztosítani. Ennek előfeltétele azonban az, hogy a kutatás népgazdasági szempontból megfelelően eredményes legyen. Az eddiginél nagyobb súlyt kell tehát helyezni az akadémiai kutatóhelyeknek a gyakorlattal való kapcsolatára, amelynek lehetőségeit, feltételeit és kereteit az elkövetkező időszakban kell kialakítanunk. Ezeket a feladatokat azonban az akadémiai kutatóintézeteknek oly módon kell végezniök, hogy a fő erők továbbra is a hosszabb, nagyobb távon előttünk álló feladatok megvalósításán munkálkodjanak. Közre kell működnünk az új gazdaságirányítási rendszer elvi irányainak megfelelő és gyakorlatilag alkalmazható kutatásösztönzési módszer kidolgozásában, valamint az ipari kutatóintézetekkel, illetőleg vállalatokkal való kutatási szerződések rendszerének kidolgozásában és megvalósításában.

A műszaki egyetemek tanszékein folyó tudományos munka irányítását és ellenőrzését a Műszaki Tudományok Osztályának megfelelő profilú tanszékeken mi látjuk el. Az a törekvésünk, hogy a jelentősebb ipari kutatóintézetekben folyó alapkutatási vagy alkalmazott kutatások elvi problémáival foglalkozó témák ellenőrzése és irányítása is az Osztály hatáskörébe kerüljön. Ennek megvalósítását jelentősen segítené, ha olyan anyagi bázissal rendelkeznénk, amely lehetőséget nyújtana arra, hogy az *Akadémia* egyes kutatási irányokat az arra legmegfelelőbbnek mutatkozó ipari kutatóintézetekben finanszírozhasson.

A kutatómunka hatékonyságának növelését segítené, ha a kutatást közvetlenül irányító és ellenőrző szervek — a mi esetünkben az akadémiai bizottságok — szervezeti felépítésében is megfelelő változtatásokat eszközölnének. A jelenlegi szervezetben az irányítást és ellenőrzést végző bizottságok területi elhatárolásából következően előfordul az, hogy lényegileg ugyanabban a témakörben folynak olykor három-négy helyen is azonos jellegű kutatások (mint pl. az optikai feszültségvizsgálatok területén). A bizottságok a téma fontosságára való hivatkozással a párhuzamos kutatás fenntartását javasolják.

Úgy látjuk, megérett a helyzet arra, hogy megvizsgáljuk, nem kellene-e a jelenlegi, iparágak szerint szervezett bizottsági rendszerünket *tudományáganként* újjászervezni. A tudományáganként újjászervezendő bizottsági rendszer az eddiginél hatékonyabban tudna bekapcsolódni az országos kutatásirányítás rendszerébe. A jelenlegi, iparágak szerint megszervezett bizottsági

hálózatunk lényegében felöleli a műszaki tudományok összes tudományágát, függetlenül ezek népgazdasági jelentőségétől. Ezért a bizottságoknak tudományáganként szervezését, amely elsősorban az akadémikus szakcsoportok feladata, úgy kellene elvégezni, hogy a jelenlegi bizottságaink száma lényegesen ne növekedjék, és csak azokra a tudományágakra hozzunk létre bizottságokat, amelyek — meggyőződésünk szerint — mind tudományos, mind népgazdasági szempontból kiemelkedően fontosak.

Bizottságaink az elmúlt három éves időszakban — az Automatikai Bizottság és a Kohászati Bizottság kivételével — jó munkát végeztek. Meg kell azonban említeni, hogy az utóbbi hónapokban a Kohászati Bizottság munkájában jelentős javulás mutatkozik.

Az Osztály előtt álló feladatok megoldásában nyújtott hathatós segítségért az Osztályhoz tartozó valamennyi bizottság vezetőjének és tagjainak mind az osztályvezetőség, mind a magam nevében köszönetemet fejezem ki, és kérem, hogy a továbbiakban is nyújtsanak segítséget ahhoz, hogy bizottságainknak tudományágak szerint történő újjászervezése minél sikeresebben és eredményesebben valósuljon meg.

FÜGGELÉK

AZ OSZTÁLYTITKÁRI BESZÁMOLÓHOZ

Az osztályvezetőség munkája

Az osztályvezetőség tevékenységének általános jellemzése

Az osztályvezetőség beszámolója az előző — 1964. évi — akadémiai választások óta eltelt időszakot foglalja magába és képet kíván adni egyfelől az osztályvezetőség, a szakcsoportok és az osztályülés tevékenységéről, másfelől az Osztályhoz tartozó szakterületek tudományos eredményeiről, a kutatóhelyek munkájáról és az akadémiai bizottságok működéséről.

A beszámoló megkísérli, hogy az említett időszakot az MSZMP IX. kongresszusának a tudományos kutatással kapcsolatos megállapításai szellemében mutassa be. Az Osztály munkáját a Központi Bizottságnak különösen az a megállapítása érinti, amely szerint

„a kutatás rendelkezésére álló anyagi eszközök és szellemi erők még mindig szétaprozódnak, a kutatási eredmények gyakorlati felhasználása vontatottan halad és nem találtuk még meg a kutatások irányításának, szervezésének, valamint összehangolásának legcélszerűbb formáit."

Úgy gondoljuk, hogy akkor járunk el helyesen, ha a fentiek szellemében megvizsgáljuk az osztályvezetőség munkáját, azt, hogy az osztályvezetőség miként igyekezett eleget tenni az alapkutatások elvi-módszertani irányítása tekintetében az alapszabályokból reá háruló kötelezettségeknek és milyen előrehaladást ért el a kutatások fejlesztése, a hazai és nemzetközi tudományos helyzetképek kialakítása, a kutatómunka koncentrálása, a kutatási bázis erősítése, valamint a kutatás-irányítás továbbfejlesztése terén, nem hallgatva azokról a nehézségekről sem, amelyek a munka eredményességét csökkentették.

Az Osztály területén a legutóbbi három évben végzett vizsgálatok nagymértékben járultak hozzá azoknak a *fő kutatási irányoknak a kijelöléséhez*, amelyek köré anyagi és szellemi erőforrásainkat elsősorban kívánjuk csoportosítani. Ezek a *szilárdtestfizikai*, az *automatikai* és a *mechanikai* kutatások. Ezek közül az Akadémia a szilárdtestfizika és az automatika tudományterületén már korszerű, jól felszerelt intézettel rendelkezik. A műszaki mechanika területén ezidőszerint nem működik ilyen intézet, azonban ennek jogi megalakulása még ez évben megtörténik és remélhető, hogy létesítése is még — a jelenlegi — harmadik 5 éves terv idején elkezdődik.

Az *alapkutatások összefogásában és irányításában jelentős előrehaladás következett be*, amennyiben az Osztály kiterjesztette a tudományos irányítást az egyetemeken folyó összes és az ipari kutatóintézetekben folyó egyes műszaki alapkutatásokra is. Az osztályvezetőség tevékenységével kapcsolatban ki kell még emelni, hogy behatóan foglalkozott a *nemzetközi egyesületek és*

szervezetek munkájában való hatékonyabb közreműködés kérdésével, valamint a MTESZ egyesületek irányításában reáháruló feladatokkal.

A szakcsoportok tovább erősödve, teljes egészében átvették tudományterületük szakmai irányítását és ellenőrzését. A szakcsoportok működése jelentősen hozzájárult az osztályvezetőség munkájának tehermentesítéséhez, amely ilyen módon működését a tudományirányítás elvi kérdéseire összpontosította. A szakcsoportok létesítése az osztályvezetőségnél is lehetővé tett bizonyos szervezeti változásokat. Az osztályvezetőségnek a szakcsoportok vezetőire és az Osztály könyvfelelősére történt leszűkítése azzal az eredménnyel járt, hogy az osztályvezetőség munkájában az Osztályhoz tartozó kutatóhelyek napi problémáit jól ismerő tudósok vesznek részt és így az osztályvezetőség munkája hatékonyabb és operatívabb lett.

Az osztályvezetőség az elmúlt közgyűlés óta 5 ülést tartott.

Jelen beszámoló a továbbiakban azokat a főbb kérdéseket tárgyalja, amelyek az elmúlt időszakban az osztályvezetőség tevékenységének a gerincét képezték.

A kiemelkedő tudományterületeken elért eredmények

Az 1964. évi közgyűlés által kiemelt 8 országos fontosságú kutatási téma közül 2 a Műszaki Tudományok Osztálya tudományterületére esik. Ezek közül az egyik kiemelt területnek, a „Szilárdtestek kutatásá"-nak az összefogását az Akadémia elnöksége tudománypolitikai megfontolások alapján a Matematikai és Fizikai Tudományok Osztályához utalta azzal, hogy a tudományos tervek, beszámolójelentések és általában minden olyan kérdésben, amely a műszaki tudományok területét érinti minden esetben vegye figyelembe a VI. Osztály véleményét. A Szilárdtestfizikai Komplex Bizottság az elmúlt időben gondosan felmérte a kutatási területet és ennek alapján tett javaslatot a kiemelendő témacsoportokra és a hatékony művelésükhöz szükséges feltételek megteremtésére.

A műszaki tudományok körébe tartozó *szilárdtestfizikai kutatások* bázisa a Műszaki Fizikai Kutató Intézet, melynek teljes felépítése és felszerelése a beszámolási időszakban fejeződött be. Az intézet, amely ma a vákuumtechnikai ipar számára szükséges szilárdtestfizikai alapkutatásokkal foglalkozik, ismételten felülvizsgálta tudományos tevékenységét és ennek alapján a Szilárdtestfizikai Komplex Bizottsággal egyetértésben *döntő súllyal a félvezető kutatásokra koncentrálja* rendelkezésre álló erőit.

A régebben megkezdett félvezető kutatások eredményei ma már a gyakorlatban jelentkeznek. Így például az előző években az intézet mutatott rá a félvezetők felületén adszorbeált vízréteg szerepére a tranzisztorok és diódák instabilitásának keletkezése körül. E munkákat az ipar folytatta és ennek eredményeképpen a magyar félvezető-eszközök stabilitása eléri a világszínvonalat. Komoly külföldi elismerést nyertek az intézetnek a germániumkristályok mikroinhomogenitások terén elért régebbi, valamint a rekombinációs jelenségekkel kapcsolatos újabb megállapítások. Új eredmények születtek a félvezetők felületi jelenségeinek és hibahelyeinek vizsgálata terén is.

A *lumineszcencia* terén folyó kutatások három kiemelkedő eredménye, a cinkszulfid kristályokban mesterségesen deformációval létrehozott kristályhibák vizsgálata, az új cinkszulfid-galliumfoszfid elegykristály-rendszer megvalósítása, továbbá új kristálykészítési módszereknek, így pl. cinkszul-

fid egykristályoknak fémolvadékából való előállításának kifejlesztése nemzetközi elismerést nyert a múlt évben tartott budapesti Nemzetközi Lumineszcencia Konferencián. E kutatások jelentősek az ipar szempontjából, elsősorban a színes televíziós képernyőkhöz szükséges fényporok kifejlesztése, és a képernyők beégését előidéző okok felderítése vonatkozásában.

Elméleti és gyakorlati szempontból egyaránt jelentősek azok az eredmények, amelyeket a *volfrámmal kapcsolatos kutatás*ban értek el. A kutatások tisztázták, hogy a volfrámhoz adott adalékanyagok — a nemzetközi irodalomban eddig általánosan elterjedt nézettől eltérően — nem oxid formájában, hanem mint specifikus atomfajták fejtik ki hatásukat. Ez a felismerés vezetett olyan új adalékanyagok kipróbálására, amelyektől nagyobb drótminőség-egyenletesség és fonaltörékenység-csökkenés várható az izzólámpákban, fénycsövekben és jódlámpákban.

Az *oxidkatódok elektronemissziója terén végzett vizsgálatok* alapján egyrészt a katód hőmérséklete pontosabban mérhető, másrészt lehetőség kínálkozik a magyar gyártású fénycsövek élettartamának megnövelésére és az égés során mutatkozó fényáramcsökkenés leszállítására.

A következő hároméves időszakban a Műszaki Fizikai Kutató Intézetnek kiemelten a félvezető hibahelyek és a felületi jelenségek alapkutatására kell koncentrálni erőit, minthogy e területeken az Intézet fennállása óta sikeresen dolgozik és eredményeivel elősegíti a híradástechnikai ipar fejlődését.

A második kiemelt téma az „Automatikai kutatások, továbbá a kibernetika és alkalmazásának fejlesztése", amelynek Komplex Bizottsága tisztázta a célkitűzések értelmezése körül uralkodó bizonytalanságot, majd ennek alapján meghatározott három kiemelendő témacsoportot. A Komplex Bizottság munkája nyomán a számítógép-ellátás területén előrehaladás tapasztalható. Fontos feladata az automatikai és kibernetikai kutatások átfogó részletes tervének kidolgozása.

Ezen a szakterületen lényeges esemény volt az önálló akadémiai kutatóbázisnak, az Automatizálási Kutató Intézetnek a megteremtése. Ennek gyors lebonyolítása tudományszervezési szempontból is elismerésre méltó. Ennek tudható be, hogy máris érdemleges kezdeti eredményekről lehet beszámolni.

Az *automatizálás elmélete* területén kutatások folytak a többváltozós rendszerek szintézise, a nemlineáris és determinisztikus rendszerek vizsgálata terén. Az alak- és szituációfelismerési témában elkészült egy belső adaptivitással rendelkező alakfelismerési algoritmus.

Megkezdődött az első magyarországi *számítógépes folyamatirányítás*, a Péti Nitrogénművek termésirányításának kidolgozása nemzetközi együttműködés keretében. 1966 végéig az üzem optimális irányításához szükséges legfőbb programok elkészültek és megkezdődött azoknak számítógépes futtatása. Ez a munka európai viszonylatban is úttörő jelentőségű.

A *villamoshajtások automatizálása* területén új elméleti eredményekre támaszkodva kidolgoztak egy univerzális és a nemzetközi piacon is versenyképes egyenáramú félvezetős hajtássorozatot, amelynek ipari bevezetése rövidesen megindulhat.

A szerszámgépipart forradalmasító *számjegyes vezérlés* területén folyó hazai kutatási-fejlesztési együttműködésben az akadémiai intézet a legbonyolultabb feladatot, a pályavezérlés megvalósítását vállalta. Az első hazai numerikus vezérlésű pályavezérlő-berendezés elkészült és kipróbálása folyamatban van. A pályavezérlő berendezés a korábbi digitális differenciál-anali-

zátoros kutatások folytatása. Az elmúlt három év alatt több olyan hibrid (analóg és digitális) elven működő *elektronikus automatikaberendezés* készült, amelyeknek ipari bevezetése már folyamatban van, illetve előkészület alatt áll.

A következő hároméves időszakra nézve az „Automatikai kutatások" Komplex Bizottság megvizsgálja a kutatások tematikai kiszélesítésének lehetőségét, esetleg a kibernetika irányában.

A Műszaki Tudományok Osztályához tartozó harmadik alapvetően fontos tudományág a *műszaki mechanika*. Annak ellenére, hogy e területen ezidőszerint a kutatás szétszórtan, egyetemi tanszékeken elégtelen kutatási feltételek mellett folyik, már eddig is figyelemreméltó eredmények születtek. A *műszaki mechanika* területe a szokásos fogalmazásban sokkal szélesebb, mint a tervezett Mechanikai Kutató Intézet profilja és magában foglalja a szilárd testek, folyadékok és gázok mechanikájának teljes területét.

A méretezés fejlesztésére irányuló kutatások közül kiemelkedő jelentőségű a tartószerkezetek elmélete területén az az eredmény, hogy sikerült tisztázni a felületszerkezetek, különösképpen pedig a héjszerkezetek és függőtartók különféle újabb, fejlettebb alakjainak erőjátékát, továbbá a hajlítási és stabilitási — ezek között a peremtartók nélküli héjakkal kapcsolatos — problémákat. Jelentős előrehaladás történt a tartószerkezetek méretezésének elektronikus számítógépekkel történő megoldása és általában a korszerű méretezés terén is. Az anyagvizsgálat területén az eddig végzett munka alapján széles körben elterjedtek a kifáradás statisztikus értékelésére szolgáló módszerek. Sikerült olyan rövidített fárasztó módszereket kidolgozni, amelyek a statisztikus kísérletek idejét annak egyötödére csökkentik. A fáradás elméletére irányuló kutatások eredményeképpen a Smith-, illetve a Haigh-féle biztonsági diagramok egyszerű meghatározási módját lehetett kialakítani. Sikerült igazolni azt, hogy legalábbis húzás és nyomás, valamint ismétlődő húzás-nyomás esetén a repedés keletkezése a test által elnyelt fajlagos munkától függ. Ezen az alapon a hegesztett szerkezetek vizsgálatára sikerült olyan ridegtörési kritériumot kialakítani, amelyen a KGST most készülő szabványtervezetébe is be fognak illeszteni.

Az *elméleti mechanika* területén a rugalmasságtani kérdések közül a betontestek és szemcsés közegek belső feszültségállapotának tisztázásában történt előrehaladás, amit nagyban segítettek a feszültségoptikai kísérletek is. A feszültségoptika területén a hazai kutatók eredményeket értek el a térbeli feszültségállapot tanulmányozásában is. Ennek segítségével több géprészben (hajtókarok stb.) tanulmányozták a feszültségeloszlást. Jelentős előrehaladás történt a feszültséggradiensek számítással való meghatározására, továbbá a formatényezők számítására továbbfejlesztették és korrigálták Neuber klaszszikus módszerét. Az elméleti eredményeket feszültségoptikai úton ellenőrizték.

A *képlékenységtan* területén tovább folyt a határállapoton alapuló mérés fejlesztése lemezek, tartályok vonatkozásában és a tartók gazdaságos méreteinek megállapítása irányában is. Itt külön említést érdemel a biztonsági tényezőnek a valószínűségszámítás és bizonyos küszöbértékek alapulvételével való meghatározása, amely az anyagminőségben és más méretezési tényezőkben tapasztalt tényleges szórások figyelembevételét teszi lehetővé.

A *fémek képlékeny alakításának* területén kidolgozták az elongátoros és a Pilger-rendszerű csőgyártó eljárások tudományos alapjait. Ezek az elméleti összefüggések nagymértékben hozzájárulnak a hazai gyártású, exportra

kerülő csőgyári berendezések kialakításához. Eredményesen fejlesztették tovább az elmúlt években már jól megalapozott és nemzetközileg is ismert alakítási erőszükséglet-számításokat. A fémek képlékeny alakítása területén egész új irányzat a nagysebességű alakítás, amely egy nagyságrenddel nagyobb sebességet alkalmaz, mint a régebbi módszerek. Az ipari kutatóintézetekkel együttműködve megállapítást nyertek a nagysebességű gépek számításainak alapelvei és elkészült a számítógépes programozás. Folyamatban van a sebesség hatásának általános vizsgálata is.

A *kinetikus folyadékelmélet* és a fizika egyes alaptörvényeinek a talajokra, mint makrometrikus folyadékokra való alkalmazása lehetővé tette egy új, korszerűbb talajfizika alapjainak lerakását.

A *folyadékok mechanikája* területén végzett munkákat az jellemzi, hogy valamennyi kutatás az áramlásmechanikai gépek méretezésének korszerűsítésére irányul. A centrifugális átömlésű járókerekek számítására kidolgozott, nemzetközileg is új eljárások alkalmazása jelentősen megnövelte a hazai ventillátorok és szivattyúk hatásfokát. A munka kísérleti részében is több új módszert dolgoztak ki; ezek közül különösen jelentős a járókerékben fellépő leválások megfigyelésére szolgáló kísérleti berendezés és a határrétegvizsgálatok pontosságát fokozó igen nagy méretű járókerék. Sikerült kidolgozni a pneumatikus anyagszállítás és a vízsugár-légszivattyú méretezési eljárását. Ezáltal fokozni lehetett a készülékek gazdaságosságát és célszerűségét. Félautomatikus, gyors és pontos mérések végzésére alkalmas mérőállomást terveztek és építettek az örvényszivattyúk áramlási viszonyainak vizsgálatára. Nemzetközileg is új eredményeket értek el a kavitációs modellhatás-vizsgálatokban. A vizsgálatokhoz korszerű kavitációs csatornát terveztek és létesítettek. Jelentősen előbbrehaladtak a szivárgáshidraulikai kutatások, valamint a hordalékmozgás pontosabb mechanikai leírására és megfogalmazására vonatkozó kutatások is. Említésre méltó eredmények születtek továbbá a szivárgáshidraulika területén.

A jövőt illetően a fő célkitűzés a műszaki mechanika széles területét átfogó kutatói munkákon belül a rugalmasságtannak és a képlékenységtannak a hazai műszaki feladatokra alkalmazott továbbfejlesztése, ami az akadémiai Mechanikai Kutató Intézet döntő feladata.

A kiemelkedő tudományterületek hazai és nemzetközi helyzetképének értékelése és elemzése

Az osztályvezetőség az 1965. évi közgyűlés határozatainak megfelelően elsőként indította el az Osztályhoz tartozó kiemelkedő tudományterületek hazai és nemzetközi helyzetképeinek kidolgozását. Az osztályvezetőség részletes szempontjai, illetve irányelvei alapján a szakcsoportok kijelölték azokat a tudományterületeket, amelyekre célszerű és népgazdasági szempontból is fontos helyzetképet készíteni. A legfontosabb tudományterületekre a múlt évi közgyűlésig elkészültek a helyzetképek első tervezetei.

Az 1966. évi közgyűlés határozatai alapján az osztályvezetőség a szakcsoportok feladatává tette a helyzetképek további finomítását és egyeztetését egymás között, illetve a kapcsolódó tudományterületekkel. Ez a munka folyamatban van és rövidesen befejeződik.

Az *automatikai és energetikai tudományok* területén három helyzetkép készült, nevezetesen

az automatikai tudományok hazai és nemzetközi helyzete;
a villamosenergiaszolgáltatás kalorikus és elektrotechnikai területére eső kutatások hazai és nemzetközi helyzete;
a villamos gyártóipar területére eső kutatások hazai és nemzetközi helyzete.

A Szakcsoport az összesen közel 300 gépelt oldal terjedelmű, az osztályvezetőségi irányelveknek megfelelő szerkezeti felépítésben készült anyagot már letárgyalta. Ennek során megállapították, hogy az említett helyzetképek nem ölelik fel az erősáramú elektrotechnika egy tudományos és népgazdasági szempontból igen fontos területét: a nagy villamos gépek és készülékek fejlesztését. Az erre vonatkozó helyzetkép kidolgozása a Szakcsoport egyik lényeges, soron következő feladata.

A *gépészeti és kohászati tudományok* területén elkészült a gépészeti mechanika helyzetének első tervezete. A szakcsoport több ülésen foglalkozott a munka finomításával, majd a Gépészeti Bizottság és az Építéstudományi Bizottság együttes ülésén egyeztette a gépészet és az építészet tudományterületére eső mechanikai helyzetképet és úgy határozott, hogy az egyesített helyzetkép elsősorban azokat a tudományágakat elemezze, amelyekre a létesítendő Mechanikai Kutató Intézetben tudományos osztályokat szerveznek. Tekintettel azonban a tudományos káderutánpótlás igényeire, a helyzetképnek röviden a műszaki mechanika egyéb fejezeteire is ki kellett terjednie.

A végleges helyzetkép tervezetét a Gépészeti Bizottság és az Építéstudományi Bizottság kibővített intézőbizottsága, a Gépészeti és Kohászati Szakcsoport, valamint a Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Szakcsoport együttes ülésén már letárgyalta, amely rövidesen az Osztályközleményekben is megjelenik.

A *híradástechnikai tudományok* területén 1965-ben elkészült az *elektronika aktív eszközeiről* szóló helyzetkép, amely a félvezető eszközök, félvezető kapcsolóeszközök, félvezető triódák, adócsövek és integrált áramkörök témakörére terjed ki. Ezenkívül helyzetkép készült a *passzív áramköri elemek* kutatási eredményeiről is. Mindkét helyzetképet a Híradástechnikai Bizottság megvitatta, részletesen elemezve azok hazai eredményeit és kihatásait.

1966-ban további helyzetkép készült a *mágneses anyagok fejlődéséről*. A helyzetképet rendkívül alapos előkészítő munka előzte meg, amelynek keretében részletesen feldolgozták a hazai kutatóintézetek idevonatkozó eredményeit. A helyzetkép összehasonlítja ezeket a nemzetközi fejlődéssel és javaslatot tesz a hazai fejlesztés irányára. Ezeken kívül elkészült a *telefonközpontokkal kapcsolatos helyzetkép* is, amely a Híradástechnikai Bizottság véleményének megfelelően még ki fog egészülni a KGST és a hazai kutatások idevonatkozó eredményeivel. Előkészítés alatt áll a mikrohullámú technika, továbbá a rádió- és televíziótechnika helyzetképeinek kidolgozása.

A jövőt illetően a Szakcsoport azt az álláspontot foglalta el, hogy a helyzetképeket 2—3 évenként kell összeállítani, figyelembe véve a korábban készült munkákat is. A helyzetképet össze kell hangolni az ipari főhatóságoknál, elsősorban az OMFB-nél folyó hasonló munkákkal és közölni kell azokat a színvonalasabb műszaki-tudományos folyóiratokban is. A szakcsoport véleménye szerint a helyzetképek készítését ki kell terjeszteni azokra a területekre, amelyekben jelenleg sem kutatás nem folyik, sem bizottság nem működik, de nemzetközi viszonylatban jelentős fejlődés tapasztalható.

A *mérnöki, építészeti és közlekedési tudományok* területén a Szakcsoport kijelölése alapján elkészült az *építészeti műszaki mechanikai* helyzetkép, amelynek a gépészeti műszaki mechanikai helyzetképpel való egyeztetéséről a gépészeti és kohászati tudományoknál már részletesen beszámoltunk.

A Szakcsoport elkészítette a *közlekedési kibernetika* nemzetközi helyzetképét és folyamatos feladatának tekinti, hogy ezt az építészeti kibernetika területére is kiterjessze. Elkészült továbbá a *könnyűszerkezetek* helyzetképének tervezete.

A vízgazdálkodás területén helyzetkép készült az *öntözéssel* kapcsolatosan. A Közlekedéstudományi Bizottság pedig előirányozta a közlekedéstudomány átfogó hazai és nemzetközi helyzetképének kidolgozását.

A Szakcsoport javasolta a helyzetképek publikálását és vitaüléseken való értékelését.

A szakcsoportok a helyzetképek elkészítésével kapcsolatos feladatuknak eleget tettek. Meg kell azonban jegyezni, hogy a munkák elkészítése sem tartalmilag, sem a határidőket illetően nem követte mindenben az osztályvezetőség irányelveit és így azok meglehetősen eltérnek egymástól.

Az Osztály nagy jelentőséget tulajdonít e helyzetképeknek és a bennük felhalmozott szellemi munkának, amely egyre inkább alapját fogja képezni az Osztály keretében folyó jövőbeni tudományos munkának. Ezért szükséges, hogy a szakcsoportok a helyzetképekkel kapcsolatos munkálatokat tovább folytassák és újabb fontos tudományterületeken készítsenek helyzetképeket.

A tudományos kutatás koncentrálása és a kutatási bázis erősítése

Az 1963. évi közgyűlés határozata kimondja, hogy „az Akadémia koncentráljon kellő erőket a termeléshez viszonylag legszorosabban kapcsolódó alapkutatásokra, illetőleg az elvi jelentőségű alkalmazott kutatásokra". A határozat végrehajtásával kapcsolatban az osztályvezetőség, a szakcsoportok javaslata alapján 18 olyan konkrét kutatási célt jelölt meg, amelyek az Osztály rendelkezésére álló anyagi lehetőségek és kutatási kapacitások mellett 2—4 év alatt megoldhatók. Egyben felhívja az érdekelt kutatóhelyek figyelmét arra, hogy létszámbeli és anyagi erőket elsősorban ezekre a témákra összpontosítsák, valamint messzemenően részesítsék azokat előnyben a tervkészítésnél.

A témák kijelölése csak első lépésnek tekinthető. A koncentrálási javaslatok egy része ugyanis általános cím alatt felsorolja mindazokat a témákat, amelyekkel a kutatóhely már eddig is foglalkozott (mint pl. a kalorikus alapkutatások esetében), ami a koncentrálást csak formálisan oldja meg. Helyeselhető az építészeti és közlekedési tudományterületek ama kezdeményezése, hogy a koncentrálás keretében egy, mind a két tudományterületet érintő, komplex témát javasol kutatásra.

Kutatóhelyeink a 3 éves terv készítésénél figyelembe vették az osztályvezetőségnek a kutatások koncentrálására vonatkozó határozatát és az Osztályhoz tartozó két intézet rendelkezésére álló erőit döntő súllyal ezekre a témákra koncentrálta. A tanszéki kutatások területén az Építéstudományi Munkaközösségnél, valamint a Közlekedéstudományi Munkaközösségnél érvényesült a legkifejezettebben a koncentrálásra való törekvés.

A 3 éves kutatási terv tapasztalatai alapján az osztályvezetőség figyelemmel kíséri a kutatóhelyek éves terveit és a következő hároméves tervperiódus előtt a jelenleginél konkrétabb, végleges formába önti a kutatások koncentrálására vonatkozó témaajánlását.

A kutatások koncentrálása mellett az Osztály továbbra is lényeges feladatának tekinti a *kutatási bázis erősítését.* Az osztályvezetőség korábbi határozatának megfelelően megalakult a Híradástechnikai Munkaközösség, amely a három híradástechnikai kutatással foglalkozó tanszékből (Finommechanika-optika tanszék, Vezetékes Híradástechnikai tanszék, Vezetéknélküli Híradástechnikai tanszék) és a Művelődésügyi Minisztériumtól átvett Elméleti Villamosságtani tanszékből alakult meg.

Ezáltal egy tanszék — a Villamosművek tanszék — kivételével megvalósult az osztályvezetőség határozatában kimondott ama elv, hogy az osztályvezetőség felügyelete alatt csak munkaközösség keretében folytatható tanszéki kutatás. Ennek az elvnek maradéktalan érvényesítése érdekében az osztályvezetőség újra meg kívánja vizsgálni a korábban már felvetett Energetikai Munkaközösség létesítésének kérdését.

Az Osztályhoz tartozó két kiemelt tudományterületen ma már korszerű, jól felszerelt két intézet áll a kutatók rendelkezésére.

Az Osztályhoz tartozó harmadik alapvetően fontos szakterületen, a műszaki mechanika területén még nem sikerült a Mechanikai Kutató Intézet megvalósítását konkrét formába önteni, bár az Elnökség felvette ama intézetek sorába, amelyek létesítését a harmadik 5 éves tervben el kell kezdeni és a Tudományos és Felsőoktatási Tanács 208/1966. számú határozatával indokoltnak tartotta az intézet 1967. január 1-i hatállyal történő jogi megalakulását és budapesti telepítését.

A Tudományos és Felsőoktatási Tanács határozata alapján az Akadémia előterjesztést készített a Gazdasági Bizottság számára, hogy megszerezze hozzájárulását a budapesti telepítéshez. Az Osztály által összeállított nyomatékos tényadatok kizárják a vidéki telepítés indokoltságát. Várható, hogy a Gazdasági Bizottság rövidesen hozzájárul a budapesti telepítéshez és így szabad utat kap ennek a tudományos és népgazdasági szempontból egyaránt fontos intézetnek a megvalósítása.

Addig is, amíg az intézet új székháza elkészülhet, a *mechanikai kutatással foglalkozó akadémiai kutatás egy részét ideiglenesen a Budaörsi úton létesülő kutatótelep panel-épületében helyezzük el.* A kb. 3000 légköbméteres épület előreláthatólag az év végére elkészül és itt mintegy 50 főnyi akadémiai státusban levő kutató- és segédszemélyzet juthat megfelelő elhelyezéshez.

Az Osztály és az ipari főhatóságok, valamint egyéb szervek közötti kapcsolat

Az Osztály két évvel ezelőtt *létesített kapcsolatot több ipari főhatósággal* abból a célból, hogy az alapkutatások elvi-módszertani irányítása tekintetében eleget tegyen az Akadémia alapszabályaiból reá háruló feladatoknak. Az együttműködés kiépítése az ipari főhatóságok és az illetékes intézetek vezetőinek kedvező állásfoglalása alapján már megindult.

Az Osztály cirányú kezdeményezését elősegítette az Akadémia elnökségének, a műszaki és természettudományi osztályok, valamint az ipari kutatóintézetek közötti együttműködésre vonatkozó határozata. Az ipari főhatóságok kutatóintézményeivel létesített közvetlen együttműködés az alap-

kutatás kiszélesítésének egyik célszerű formája. Az együttműködés kiterjed a kutatási tervek véleményezésére, a kutatási és kísérleti munkák koordinálására, a kutatómunka során felvetődő elvi kérdések tisztázására, továbbá a tudományos kutatómunka és az elért eredmények ellenőrzésére.

A határozatnak megfelelően az Osztály felhívta a szakcsoportokat, hogy az Építésügyi, a Kohó- és Gépipari, a Közlekedés- és Postaügyi, valamint a Nehézipari Minisztérium egyetértésével a területileg illetékes kutatóintézetekkel vegyék fel a kapcsolatot azon kutatási témák kijelölése céljából, amelyekre az akadémiai tudományos irányítás és ellenőrzés kiterjesztése célszerű.

Az Osztály az így kiválasztott kutatási terveket, illetőleg a megjelölt témák területén elvégzett kutatómunkát az Osztályon kialakult gyakorlatnak megfelelően a témákhoz közelálló, de a kutatástól független, kislétszámú szakértőbizottságokkal vizsgáltatja felül, amelyekbe az Osztály az illetékes minisztérium által kijelölt megbízottat is bevonja.

A szakértőbizottságok a terveket, illetőleg az elvégzett kutatómunkát a kutatóintézetek által rendelkezésre bocsátott vagy onnan bekért írásos anyag alapján, lehetőleg a helyszínen a témafelelős jelenlétében, vizsgálják felül. A szakértőbizottságok a felülvizsgálat eredményéről írásos értékelő-véleményt készítenek, amelyet a szakterületileg illetékes bizottságokban és szakcsoportokban való megvitatás után a szakcsoport felterjeszt az Osztályhoz.

A szakértőbizottságok már megalakultak és az 1966. évi kutatómunka felülvizsgálata folyamatban van. Az együttműködésre kijelölt témacsoportok, illetve témák száma összesen 25. Tudományterületi megoszlásuk a következő:

Automatikai és Energetikai Tudományok:		4
Villamos Energiaipari Kutatóintézet	1	
Villamosipari Kutatóintézet	3	
Gépészeti és Kohászati Tudományok:		13
Fémipari Kutatóintézet	9	
Vasipari Kutatóintézet	4	
Híradástechnikai Tudományok:		3
Távközlési Kutatóintézet	3	
Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok:		5
Építéstudományi Intézet	1	
Szilikátipari Központi Kutatóintézet	3	
Útügyi Kutatóintézet	1	
Összesen		25

A folyamatban levő felülvizsgálat mellett az Osztály a kapcsolatok kiszélesítését is napirenden tartja. Ennek során rövidesen megvalósul az együttműködés az Országos Vízügyi Főigazgatósággal is.

Az ipari főhatóságokkal való együttműködés mellett az Osztály erősíteni kívánja kapcsolatait az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal, továbbá a Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetségével. Az utóbbival a kapcsolat még nem kielégítő.

Az *Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal* a jelenlegi személyi kapcsolatokon és véleményező tevékenységen túlmenően rendszeres együttműködést kell kiépíteni az Osztály társulati szervei és az OMFB szakértő bizottságai

között, elsősorban azokban a kutatási és tudományszervezési kérdésekben, amelyekben az Akadémia közvetlenül is érdekelt.

A *Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetségével* való kapcsolat megjavítására történt kezdeményező lépések nem folytatódtak abban az ütemben, ahogy az kívánatos lett volna. El kell érnünk, hogy a szakcsoportok rendszeresen foglalkozzanak az egyesületek munkájával, koordinálják az akadémiai és egyesületi rendezvények programját, valamint nyújtsanak tudományos segítséget az egyesületnek. Figyelemmel arra a lehetőségre, amelyet a MTESZ egyesületek nyújthatnak a legújabb tudományos eredmények széleskörű propagálásával, a kapcsolat szorosabbá tétele mind a MTESZ, mind az Akadémia szempontjából hasznos. Az osztályvezetőség egyik fontos feladatának tekinti, hogy fokozza erőfeszítéseit a kapcsolat továbbjavítására.

A kutatásirányítás jelenlegi módszerei és továbbfejlesztése

Az osztályvezetőség egyik legfontosabb tevékenységének változatlanul az Osztályhoz tartozó kutatóhelyek munkájának *hatékony irányítását tekinti.* Ezért kereste és támogatta azokat a módszereket, amelyek segítségével a kutató munka hatékonyabbá válhat. Úgy véljük, segíti a kutatást az Akadémián a közelmúltban bevezetett hároméves kutatási rendszer is.

Fokozta az intézeti igazgatók hatáskörét és felelősségét; az éves kutatóhelyi munkatervek készítésénél azonban még nehézségek mutatkoznak, elsősorban a konkrét feladatok előzetes kijelölésénél.

Az éves tervek még sok formai elemet tartalmaznak. Ezeknek a kiküszöbölése folyamatosan megtörténik mind az intézetekben, mind az Osztályhoz tartozó tanszéki kutatóhelyeken. A tervek felülvizsgálata során felvetődött az a gondolat, hogy helyes lenne a műszergazdálkodást és általában a pénzügyi tervezést a hároméves kutatási tervvel összekapcsolni, illetve összehangolni. Az Osztály javasolja, hogy a soron következő hároméves kutatási terv kidolgozása már az említett szempontok figyelembevételével történjék.

Az Osztályon a kollektív tudományirányítás elve érvényesül és a szakcsoportok működése révén az egyre inkább gyakorlattá is válik. A szakcsoportokon keresztül az akadémiai tagok közvetlenül bekapcsolódhatnak a tudományterületet érintő problémák megoldásába és ellenőrizhetik a bizottságok munkáját, továbbá érdemben irányíthatják a kutatóhelyek tudományos munkáját.

A szakcsoportok több mint 2 éves tevékenysége azt mutatja, hogy a tudomány-irányításnak ez a rendszere bevált és a szakcsoportok megfelelően látják el tudományterületük szakmai irányító és ellenőrző teendőit.

Az Osztály feladatát képező tudományirányítási munkákban hatékonyan segíti a szakcsoportokat az Osztályhoz tartozó 13 akadémiai bizottság, amelyek komoly részt vállaltak a kutatási bázis irányításával és ellenőrzésével, valamint az egyéb tudományszervezési tevékenységgel összefüggő feladatok elvégzésében.

Mind a szakcsoportok, mind a bizottságok éves munkaterv alapján folyamatosan végzik munkájukat.

A kutatások egyre fokozódó jelentősége és az ennek nyomán jelentkező *tudományirányítási feladatok, valamint koordinációs igények* — a szakcsoportok létrehozása előtt — már az Osztály viszonylatában is problémákat okoztak.

Országos méretben még inkább korszerűsítésre szorul a tudományos kutatás-irányítás mai rendszere. Az irányítás korszerűsítésével kapcsolatban a különböző államigazgatási szervek mellett a Magyar Tudományos Akadémiára is komoly szerep vár.

Az Akadémia elnöksége már ismételten foglalkozott ezzel a kérdéssel és teljes mértékben helyeseljük a tudományos kutatások irányítási rendszerének időszerű problémáival kapcsolatos állásfoglalását.

E kérdéssel kapcsolatban az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság is dolgozott ki javaslatot „A műszaki kutató munkák koordinációs rendszere" címmel, amelyet rendkívül értékes munkának tartunk. Véleményünk szerint azonban az anyag nem hangsúlyozza kellően az Akadémia feladatait az ipari kutatóintézetekben folyó alapkutatások irányításában, ellenőrzésében és általában a fő kutatási irányok kijelölésében. Úgyszintén indokoltnak tartjuk, hogy az akadémiai megrendelésre az ipari kutató intézetekben kidolgozandó alapkutatási feladatok finanszírozására a műszaki fejlesztési alapból az Akadémia is részesüljön.

Az osztályülés és a szakcsoportok munkája

Az osztályülés

Az elmúlt évben a szakcsoportok és az osztályülés munkája kiegyensúlyozottá vált. Azáltal, hogy az Osztály tagjai a megvitatott kérdések határozatait rendszeresen kézhez kapják, állandóan tájékozva vannak azokról a kérdésekről, amelyekkel az osztályvezetőség foglalkozik. A két alkalommal tartott osztályülés tárgyalta az osztályvezetőség éves munkatervét, az Osztályhoz tartozó tudományterületek képviseletét a nemzetközi tudományos szervezetekben, valamint a tudományágak hazai és nemzetközi helyzetképével kapcsolatos munkálatokat. A legutóbbi, már ez évben tartott osztályülés tárgya az új akadémiai tagok választása volt.

A szakcsoportok

Az *Automatikai és Energetikai Tudományok Szakcsoportja* az elmúlt évben 4 ülést tartott. Előterjesztést készített a tudományos irányító és ellenőrző tevékenység hatékonyságának fejlesztése tárgyában az Automatikai és Energetikai Tudományok Szakcsoportjának területén. Ismételten foglalkozott „A villamosenergia közvetlen termelésének új eljárásai" című témával és javasolta a kutatásoknak az Akadémia részéről való támogatását.

A *Gépészeti és Kohászati Tudományok Szakcsoportja* 4 ülést tartott. A Szakcsoport a folyó tudományszervezési feladatokon túlmenően megvizsgált több olyan elvi kérdést, amelyek hivatva vannak a Szakcsoport munkájának továbbjavítására. Egyik ilyen jellegű tevékenysége arra irányult, hogy megteremtse a szakcsoport munkáját támogató közvélemény kialakításának feltételeit. Foglalkozott egy olyan, elsősorban fiatal és tehetséges emberekre támaszkodó bizottsági rendszer létesítésének gondolatával, amely egy-egy téma országos gondozását vállalná el. Előkészítő munkát folytatott egyes, a tudományág fejlődése szempontjából fontos célbizottságok létrehozására, pl. a kifáradási jelenségek és a törésmechanika területén.

A *Híradástechnikai Tudományok Szakcsoportja* 4 ülést tartott. Ülésein megvitatta a hazai szilícium egykristály előállítása és a híradástechnika társadalmi jelentősége kérdését, amelyek eredménye konkrét segítséget jelentett a Szakcsoport által irányított tudományterületnek. A folyó tudományszervezési kérdésekkel kapcsolatban foglalkozott a disszertációk tartalmi kérdéseivel és megállapította, hogy az értékelés középpontjába a műszaki teljesítményt kell állítani, szemben a formai matematikai és fizikai fejtegetésekkel.

A *Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok Szakcsoportja* az elmúlt évben 5 ülést tartott. A szakcsoport erejét elsősorban arra koncentrálta, hogy az irányítása alá tartozó, egymástól eléggé eltérő szakterületek munkáját egységesebbé és összehangoltabbá tegye. Elvileg elhatározta, hogy bizonyos közös érdekkörű területeken a Gépészeti és Kohászati Szakcsoporttal együttesen közös célbizottságokat alakítanak.

Az Osztályhoz tartozó kutatóhelyek és bizottságok munkája

Automatikai és energetikai tudományok

Automatizálási Kutató Intézet

Az Automatizálási Kutató Intézet új székházában a rendszeres munka megindult. Az előkészítés éveiben kialakított belső szervezete, munkamódszere és a nagyszámú fiatal kutató munkába állítása kezdeti eredményekre vezetett. Ezeket a 260—261. oldalon már részletesen ismertettük.

Az automatizálási és kibernetikai komplex feladat keretében megkezdődött az Akadémia szegedi és budapesti matematikai kutató bázisainak, a Központi Fizikai Kutató Intézetnek és az intézetnek az együttműködése az optimális irányításokkal kapcsolatos digitális berendezések logikai és rendszertechnikai kérdései, valamint az identifikációs problémák vonatkozásaiban.

Kalorikus Gépészeti Munkaközösség

A léghűtésű kondenzációs berendezések továbbfejlesztését célzó kutatások új eredményekre vezettek az erőgéptervezés és a magyar gőzturbinagyártás területén. A kétközeges körfolyamat felépítésével kapcsolatos elvi kérdések tisztázása nemzetközi viszonylatban is figyelemre méltó. A nagy térfogati teljesítménysűrűséget lehetővé tevő, a hőerőművekben fontos szerepet betöltő, lemezbordás kompakt hőcserélőtípust fejlesztettek ki és elkészült egy kompakt olajhűtőberendezés. Az ipari energiagazdálkodással kapcsolatosan végzett tanulmányok eredményeként először kerülhet sor szorpciós hőtranszformátorral való fűtés megvalósítására. Az izotóp és erőművi laboratórium létrehozása a kísérleti kutatások lehetőségét teremtette meg. Előrehaladást értek el egyes erőművi folyamatok automatizálása terén; valamint kidolgozták a kevert előmelegítők erőművi alkalmazásának termikus és gazdasági előnyeit. Továbbfejlesztették a szén fűtőértékének meghatározását célzó rádióaktív izotópos módszereket. A belsőégésű motorok hőterhelésével, a kipufogógáz hasznosításával és mechanikai veszteségeivel kapcsolatos fizikai jelenségek vizsgálata során új, ipari alkalmazást is nyert, mérési módszereket dolgoztak ki.

Villamosművek tanszék

A tanszék a villamos hálózatok és elektromechanikus rendszerek jelenségeinek korszerű eszközökkel való vizsgálatához épített analóg számítógép továbbfejlesztése terén ért el új eredményeket. Ezeket előadásokon ismertették és publikációra előkészítették. A gázionizáció vizsgálata a magneto-hidrodinamikus generátorokban történő alkalmazás szempontjából elméleti kérdésekben eredményesen folyik.

*

Az *Automatizálási Bizottság* 1965-ben történt megalakulása óta az automatika területén folyó alapkutatások ellenőrzése és értékelése mellett mint az Automatizálási Kutató Intézet tudományos tanácsa is működött. Jelenlegi összetételében a bizottság feladatát képező tudományirányító és koordinációs munkára kevés lehetősége van. A bizottság 1 ülést tartott, működése nem tekinthető kielégítőnek.

Az *Erősáramú Villamos Bizottság* a Villamosművek tanszékén folyó akadémiai kutatásokat rendszeresen felülvizsgálta és tudományos irányító tevékenységét e kutatások körére összpontosította. A tudományos kutatások koncentrálására 3 témakört jelölt ki. Ezek egyikéről, a matematikai módszerek és elektronikus számológépek helyzetéről, valamint elterjedésének lehetőségéről a villamosenergiaiparban és az erősáramú gépgyártó iparban ipari szakemberek bevonásával alakított szakértőbizottsága tanulmányt készített. Rendezvényt, előadást nem szerveztek, de tagjai hazai és külföldi rendezvényeken előadásokat tartottak és kielégítő publikációs tevékenységet folytattak. A Bizottság tagjai egyénileg foglalkoztak a fiatal tudományos káderek nevelésével.

A bizottság 5 ülést tartott. Az ülések látogatottsága és a tagok aktivitása megfelelő volt. Jól bevált az egyes kiemelkedő feladatok előkészítésénél és a kidolgozásánál a szakértő bizottságok, illetve munkacsoportok létrehozása. Ezek munkájába az ipari kutató intézetek és gyárak szakértőit is bevonták.

A *Hőenergetikai Bizottság* figyelmét elsősorban a tanszékeken folyó akadémiai és a Művelődésügyi Minisztérium által támogatott kutatások vizsgálatára és irányítására összpontosította. Behatóan foglalkozott az energetikai gépgyártás problémái közül a nagyteljesítőképességű gőzkazán- és gőzturbinagyártással, valamint a Diesel-motor és ipari kazán gyártással. A bizottság tanácsaival segítette az iparvállalatok képviselőit gyártmányfejlesztési programjaik megvalósításában. Kiemelkedő rendezvénye volt az 1965-ben megtartott Diesel-motor konferencia.

A bizottság egyes tagjai tevékenyen közreműködtek a szakterület hazai és külföldi szervezetei közötti kapcsolatok létrehozásában és szorosan együttműködnek az Energia Világkonferencia magyar bizottságával. A tagok aktívan vettek részt az ülések munkájában. A bizottság 3 ülést tartott. Megvitatták a Láng Gépgyár, valamint a Magyar Hajó- és Darugyár műszaki fejlesztése során elért eredményeket, ill. terveket, és mélyrehatóan foglalkoztak az automatizálás helyzetével. Az Erősáramú Villamos Bizottsággal közösen kidolgozták „Az energetika területén a tudományos kutatómunka koncentrálásának eredményei és lehetőségei" c. javaslatot.

International Federation of Automatic Control (IFAC). Az automatikus irányítás nemzetközi egyesülete. A megalapítása óta (1957) fennálló tagság a hazai automatika tudomány számára nemzetközi elismerést szerzett. Jelen-

leg a bizottság az 1968-ban Budapesten megrendezendő IFAC-szimpózium előkészítésével foglalkozik.

World Power Conference (WPC). Energia Világkonferencia. Az 1924-ben alapított szervezetben viselt korábbi, évtizedes tagságát hazánk 1947-ben újította fel. A magyar bizottság az eddig tartott 6 teljes és 14 részülésen képviseltette magát, és a legtöbb ülésre tudományos dolgozatot is küldött.

Conférence International des Grands Réseaux Électriques (CIGRÉ). Nagy Villamos Hálózatok Nemzetközi Konferenciája. Az Akadémia 1954-ben újította meg hazánk korábbi, évtizedes múltú tagságát. Legutóbbi, 1966. évi párizsi ülésén a magyar delegáció két tagja tudományos előadást tartott.

Gépészeti és kohászati tudományok

Áramlástechnikai Munkaközösség

Az áramlástechnikai gépek területén folytatott kutatás irányairól és fontosabb eredményeiről a 262. oldalon már beszámoltunk. E kutatásokkal kapcsolatban ki kell emelni azokat az eredményes vizsgálatokat, amelyeket arra nézve folytattak, hogy miként befolyásolja a szivattyú belépő átmérője és belépési lekerekítése a szivattyú kavitációs tulajdonságait. Módszert dolgoztak ki a vízsugárszivattyúknak a hajók vízteleníto rendszerében való alkalmazására és tisztázták a hajó kismintakísérleteknél a sodor, valamint a szívástényező léptékhatását.

Gépszerkezettani Munkaközösség

Eredményeket értek el azoknál a kutatásoknál, amelyeknél a sebesség befolyását vizsgálták az anyag folyási és szilárdsági tulajdonságaira, továbbá sikeres kísérleteket folytattak a kisciklusú fáradás területén, valamint tárolt rugalmas energia hatásának az egyszerű szakító törés esetében való vizsgálata vonalán. Eljárást dolgoztak ki a kifáradási vizsgálatokhoz szükséges feszültséggradiensek és feszültségkoncentrációk számítására és gerjesztőgépet szerkesztettek a poliharmonikus lengések fárasztó hatásának vizsgálatára. Meghatározták különféle viszkoelasztikus anyagok rugalmassági modulusát az idő- és alakváltozási sebesség függvényében. A Munkaközösség magnetostrikciós berendezést készített és mérési módszert dolgozott ki a réz, valamint az alumínium próbatesteken mért eredmények összehasonlítására. A mérések alapján új összefüggéseket állapítottak meg. A lengéstani kutatások területén az eddig csak rezgésvizsgálatra szolgáló különleges módszer törvényszerűségét többtámaszú egyenes tartó megoldására is kiterjesztették. A fogaskerekek hajlító szilárdsági méretezéséhez szükséges fogalaktényezők megállapítására szolgáló eredményeket tovább fejlesztették az egyedi kapcsolópontban támadó erőre vonatkozóan. Gördülőcsapágyak progresszív vizsgálatára alkalmas vizsgálógépet terveztek és matematikai módszerek útján meghatározták a radiális hidrosztatikus csapágyak optimum-feltételeit.

Kohászati Munkaközösség

A húzóüregben fellépő feszültségeloszlás elméleti és kísérleti vizsgálata során nemzetközi viszonylatban is teljesen újszerű kísérleti módszereket, mérőberendezéseket és kísérleti eszközöket alakítottak ki. Az elvégzett kísér-

letek eredményei hozzájárultak a hazai gyártású húzógépek és huzalművek technológiájának továbbfejlesztéséhez. A süllyesztékes kovácsoláskor keletkező erők elméleti és kísérleti vizsgálata során elért eredmények, a süllyesztékszerkesztéshez és a kovácsolási technológiák továbbfejlesztéséhez szolgáltatnak elméleti alapadatokat. A nem-vas fémek melegedési viszonyainak szabatos meghatározására újszerű kísérleti méréseket végeztek. Az újrakristályosodással kapcsolatos vizsgálatok új törvényszerűségek feltárását eredményezték. A hazai szegény mangánércek feldolgozására szolgáló kutatások a mangánkihozatal növelésére, a legracionálisabb berendezés kialakítására szolgáltattak útmutatást. Az alumínium-elektrolízis gazdaságosságának fokozását célzó kutatások során meghatározták a minimális fajlagos energiafelhasználást, a hőegyensúlyt biztosító gazdaságos áramsűrűség értékét. Modellkísérletek eredményei alapján megállapítást nyert, hogy salakkezeléssel az acélok kéntartalma és ezzel együtt szulfidzárványossága mintegy 40%-kal csökkenthető. Az öntöttvasak zsugorodási tulajdonságainak értékelésére olyan elméleti összefüggést dolgoztak ki, amellyel el lehet dönteni azt, hogy egy öntvényben belső porozitás vagy hidegrepedés keletkezésére számíthatnak.

Nehézgépészeti Munkaközösség

A műanyag-gépelemek alkalmazhatóságára vonatkozó kutatások során a textilbakelit és metanid csapágyak, valamint a fogaskerék hajtóműben levő kettős kapcsolódású műanyag-fogaskerekek terhelhetőségének vizsgálata eredményekre vezetett. Elkészült egy olyan terhelőberendezés, amellyel többfajta gyenge képlékeny hullám állítható elő és a hullám egy-egy karakterisztikája vizsgálható. A géprészekben keletkező feszültségeloszlás feszültségoptika módszerével történő meghatározására alkalmas hitelesítő modell legyártása és hőkezelési feltételeinek kiszámítása megtörtént. Megterveztek és legyártottak egy olyan kézi és gépi üzemre alkalmazható plazmavágó egységet, amellyel a technológiai paraméterek laboratóriumi mérése lehetséges.

*

A *Gépészeti Bizottság* széles körű szakértőbizottsági hálózat közreműködésével közvetlen kapcsolatok felvételével ellenőrizte és irányította az akadémiai munkaközösség, valamint a Művelődésügyi Minisztérium által támogatott tanszékek kutató munkáját. 1965-ben két nagy konferenciát rendezett: *a II. Korszerű Méretezési Konferenciát* és a *Dieselmotor Konferenciát*. Vitaülést szervezett a „Légrugózás kifejlesztése nagysebességre tervezett vasúti személykocsik forgóvázaihoz" c. témáról, valamint a kavitációs kutatások helyzetéről. A bizottság rendezésében H. FORD professzor a műanyagok gépészmérnöki gyakorlatban való felhasználásáról tartott előadást.

A bizottság 4 ülést tartott. Tagjai aktívan vettek részt a munkában. Kidolgozta a műszaki mechanika tudományág nemzetközi helyzetképét, majd az Építéstudományi Bizottság hasonló tárgyú helyzetképével közös anyagban foglalta össze.

A *Kohászati Bizottság* az irányítása alá tartozó Munkaközösség és a Művelődésügyi Minisztérium által támogatott tanszékeken végzett kutató munkák felülvizsgálatát körültekintéssel végezte el. Javaslatokat tett egyes kutatómunkák koncentrálására, ipari kutatóintézetekben folyó alapkutatások irányítására. Tudományos rendezvényeket nem szervezett. A bizottság tagjai az ülésen részt vettek, szélesebbkörű viták azonban nem alakultak ki.

A bizottság munkájával kapcsolatban a múlt évi közgyűlésen elhangzott kritikák még kellő eredményt nem hoztak. A megtartott egyetlen bizottsági ülésen hozott határozatok végrehajtásához, a munka eredményesebbé tételéhez elsősorban személyi változások szükségesek.

A *Szál- és Rosttechnológiai Bizottság* az Elnökség 1966. április 26-i határozatával újra megalakult. Két vitaülést szervezett, amelyeken a szakterület egy-egy fontosabb kérdését előadás és hozzá kapcsolódó korreferátumok alapján szűkebbkörű szakmai meghívottak részvételével vitatták meg.

A bizottság kezdeti eredményei biztatóak. Minden lehetőség megvan arra, hogy a szakterületéhez tartozó tudományágazatokban vezető szerepet töltsön be.

Az *International Union of Theoretical and Applied Mechanics* (IUTAM). Nemzetközi Elméleti és Alkalmazott Mechanikai Unió. Magyarország 1948 óta tagja a szervezetnek. Az 1966-ban újjáalakított magyar bizottság rendezésében W. BOLOTIN, a moszkvai Energetikai Intézet szilárdságtani tanszékvezető professzora a széles sávban, térben, időben véletlenszerű erőkkel gerjesztett rugalmas rendszerek rezgéseiről; I. SNEDDON, a Glasgow-i egyetem matematika professzora a potenciálelmélet kerület-érték feladatairól és transzformációs módszerekről a rugalmasságtanban tartott előadást.

A *College International pour l'Étude Scientifique des Techniques de Production Mécanique* (CIRP). A szervezet munkájában egyéni tagként GELEJI SÁNDOR akadémikus vesz részt.

Híradástechnikai tudományok

Műszaki Fizikai Kutató Intézet

Az intézet főbb tudományos eredményeit a 259—260. oldalon ismertettük. E helyen kiegészítésképpen meg kell még jegyeznünk, hogy az intézet tudományos kutatóinak eredményes munkáját számos szabadalmi bejelentés és publikáció rögzíti.

Híradástechnikai Munkaközösség

Befejezték a nyelvstatisztikai automata-berendezés készítését és kidolgoztak egy magneto-elektronikus jelfogót, valamint differenciális fázismodulációval dolgozó modulátor-demodulátor egységet. A hálózat-elmélet területén a hírhálók szintézisére alkalmas tételt állapítottak meg. Tovább folytatták a plazmafizika, a mintavételező rendszerek, valamint a villamos hálózatok elmélete területén korábban elkezdett kutatásokat és elindították az elektronoptikai kutatásokat. Elkészült egy zárt, színes televíziós (rideg) lánc és ennek egyértelmű beállítását lehetővé tevő mérési módszer. Digitális utózengési időmérő berendezés, ultrahangkád, önműködő feljegyző berendezés készült. A spektroszkópiai gerjesztő berendezések továbbfejlesztése keretében elkészült a 200 frekvenciás szikragerjesztő laboratóriumi példánya. Időfelbontó optikai készüléket állítottak össze és megkezdték a nagy sebességű folyamatokat fényképező kamrák építését. A plazmahőmérséklet meghatározására számítási módszerek készültek. Folyamatosan végzik az időfelbontó optikák hiányosságainak vizsgálatát.

*

A *Híradástechnikai Bizottság* az Akadémia és a Művelődésügyi Minisztérium által támogatott tanszéki kutatómunkák terveinek és eredményeinek felülvizsgálatát alapos gondossággal végezte. Folyamatosan felméri a hazai híradástechnikai kutatás helyzetét és kitűzi a várható fejlődés irányát. Több főhatóság, illetve szakminisztérium felkérésére a bizottság állást foglalt a szilícium-kérdésben.

A bizottság 1966-ban 4 ülést tartott. Több tudományos nemzetközi helyzetképet készített, megtárgyalta a híradástechnikai berendezések kutatási és fejlesztési bázisának helyzetét. A Híradástechnikai Tudományos Egyesülettel karöltve 1966-ban megrendezte a *III. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokviumot*, amely a híradástechnikai tudományág eddig legnagyobb sikerű hazai nemzetközi rendezvénye volt.

Union Internationale pour la Science et la Technique du Vide (IUVSTA). Nemzetközi Vákuumtechnikai Unió. 1959 óta vagyunk tagok. A magyar bizottság rendszeresen foglalkozik a hazai munkák koordinálásával és a nemzetközi események áttekintésével.

Commission Internationale de l'Éclairage (CIE). Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság. Hazánk évtizedes múltra visszatekintő és igen aktív tagságát 1960-ban újította meg. 1966. évben a Bizottság részt vett a nemzetközi szervezet szakértő bizottságainak tudományos munkájában (körkérdések hazai vonatkozású kivizsgálásában és megválaszolásában, tanulmányok és tervezetek kritikai vizsgálatában stb., továbbá aktívan részt vesz a 4 évenként rendezett kongresszusok előkészítő munkáiban.

International Scientific Radio Union (URSI). Nemzetközi Tudományos Rádió Egyesület. A magyar bizottság 1966-ban alakult a tagok sorába való felvételkor. Fő feladatának a tevékenységi terület pontos körvonalazását és a leghatékonyabb munkamódszerek kialakítását tekintette. A szervezet hivatalos képviselője részt vett az 1966-ban rendezett II. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokviumon.

Mérnöki, építészeti és közlekedési tudományok

Építéstudományi Munkaközösség

A tartószerkezetek témakörben, a 261. oldalon említett eredmények mellett a cementek kötésmechanizmusának vizsgálatában, a betonok szilárdulási folyamatát befolyásoló tényezők feltárásában, a megszilárdult beton szilárdsági és alakváltozási jellemzőinek vizsgálatában, könnyűbetonok alapjellemzőinek és technológiájának kutatásában, a nagyszilárdságú betonacélok reológiai tulajdonságainak feltárásában, valamint vízépítési és különleges követelményeket szolgáló betonok kutatásában haladtak előre. Ezeket az eredményeket a KGST szabványajánlások kidolgozásában is felhasználták.

Az alapozási és talajmechanikai kutatómunkák keretében figyelemre méltó eredmények születtek a szemcsés közegek feszültségállapotának és alakváltozásának vizsgálata, valamint az alapozások teherbírásának elméleti és kísérleti kutatása, továbbá a cölöpök és cölöpcsoportok teherbírásának és igénybevételeinek vizsgálata során. Az eredmények mind az iparban, mind pedig a tervezésben hasznos segítséget jelentettek és a vonatkozó ajánlásokban, illetve szabványokban is felhasználásra kerültek.

Az építészettörténeti kutatások a műemléki topográfiák és építészmonográfiák mellett elsősorban a legújabb kor építészetével, továbbá a marxista építészettörténet és építészetelmélet általános elvi, valamint időszerű kérdéseivel foglalkoztak.

A településtervezés módszerének és irányelveinek tudományos kutatása mellett a korszerű városi települések építészeti, közlekedési és egészségügyi, valamint gazdasági vonatkozásainak feldolgozása és elemzése folyt. Az anyaggyűjtés mellett több tanulmány, jelentés és konferenciaanyag készült el.

A vízgazdálkodás körébe sorolt kutatómunkák eredményei alapján kidolgozásra került az esőztető öntözés csővezetékeinek méretezésére vonatkozó eljárás, javaslat készült a talajvízállás szabályozásának üzemszerű megoldására. Figyelemre méltó kísérleteket végeztek szemcsés anyagok hidraulikus szállításával és a szivárgás hidraulikájával kapcsolatban.

Az építőanyagok és szerkezeti elemek jellemzőinek kutatása során a különböző klinkerásványok hidratációs folyamatának eddig nem ismert jelenségeit tárták fel, továbbá megvizsgálták különböző aktivizáló szerek szilárdulásgyorsító, valamint a péptömörség szilárdságnövelő hatását.

A könnyűszerkezetekkel kapcsolatos kutatások során kiterjedt vizsgálatokat végeztek az építőanyagok és épülethatároló szerkezetek hő- és nedvességvándorlásának feltárására és kidolgoztak egy elvi megoldást azok számítására stacioner állapotban. A házi és ipari szennyvízszállító és tisztító berendezések hidraulikai kérdéseinek kutatása során különféle áramlási formák elméleti problémáit oldották meg és kidolgozták az esőztető berendezések — gyakorlati célokra is alkalmas — tervezési összefüggéseit. Értékes munkát végeztek a vízépítési műtárgyak alatti szivárgás dinamikai problémáinak feltárásában.

Több tanulmány készült a XX. század építészetelméleti eredményeiről és számos magyarországi műemléktopográfia is kidolgozásra került.

Közlekedéstudományi Munkaközösség

A közúti csomópontok jelzőlámpával történő forgalomirányításának kidolgozása során hazánkban először oldottak meg forgalomtechnikai problémát elektronikus számológép segítségével. Az aszfaltok kötőanyagát képező bitumenekkel folyó kutatások eredményeként hazánkban először sikerült kationaktív bitumenemulziót ipari méretekben előállítani. A betonburkolatok utókezelésére előállított védőfilmképző-anyag alkalmazására tett javaslatok alapján készült kísérleti betonokkal az útépítkezéseknél kedvező tapasztalatokat szereztek.

Meghatározták a nagysebességű vasúti pályák fenntartásának elveit. Eredményesen vizsgálták a vasúti vágány megengedhető túlemelésének eltéréseit, menetellenállásokat, valamint a korszerű hazai sínleerősítés alap-problémáit. A magyar vasúti forgalom eddig még ismeretlen térbeli és időbeli jellemzőinek felmérésével egy új, vasúti forgalmi rendszer objektív kialakításának lehetőségét teremtették meg. Konzisztens rendszerbe foglalták a vasúti kibernetikának a teljes ismerethalmazát.

A bolygóművek és bolygóműves sebességváltóművek analitikai vizsgálata során sikerült a bolygómű, főleg pedig a bolygóműves sebességváltómű elméletének eddig kidolgozatlan részeit felkutatni és egy összefüggő elméletet kidolgozni.

Az operációkutatás során kidolgozásra került az 5 puttonyos cementelosztó berendezés gazdaságilag optimális működtetésével kapcsolatos többcsatornás párhuzamos rendszerű „sorállási" probléma megoldása. Elkészült a népgazdasági programozás vasúti szektor modelljének megalapozása. A közlekedési ágazatok koordinációja elvi alapjainak további feltárása során elért eredmények a hazai közlekedéspolitika továbbfejlesztését alapozták meg.

*

Az *Építéstudományi Bizottság* az Építéstudományi Munkaközösség kutatási terveit és tudományos munkásságát esetről esetre szervezett szakmai bizottságok segítségével — a kutatókkal folytatott konzultációk felhasználásával — vizsgálta felül és jelentős munkát végzett az akadémiai Műszaki Mechanikai Kutató Intézet, valamint a műszaki egyetemen létesítendő épületfizikai laboratórium előkészítésével kapcsolatosan.

A szakértő bizottságok többek között kezdeményező lépéseket tettek az Építésügyi Minisztériumnál a bauxitcementtel készült épületek állapotának felülvizsgálatára, a Közlekedés- és Postaügyi Minisztériumnál pedig közúti hídszabályzat átdolgozására.

A bizottság ankétot rendezett, részt vett az IASS (Nemzetközi Héjszövetség) budapesti kongresszusának és a Közlekedéstudományi Egyesület *Feszítési Kongresszusának* megrendezésében. Egy felolvasó ülést rendezett geotechnikai témakörben. A bizottság tagjai nagyszámú előadást tartottak.

A bizottság 4 alkalommal tartott ülést, amelyeket kellő érdeklődés és a tagok aktív közreműködése jellemzett. Felmérte az ÉM és a KPM kutatóintézeteiben folyó — a tudományterülethez tartozó — alapkutatásokat, és ennek alapján a fontosabb témákat tudományos gondozásba vette.

A bizottság az ÉM felkérésére az ÉM kutatóintézeteinek 1966. évi ülésszaka elé terjesztett 1966—67. évi kutatási koncepcióját véleményezte.

Az *Építészettörténeti és Elméleti Bizottság* a hozzátartozó egyetlen tanszéki kutatócsoport munkáját rendszeresen felülvizsgálta és irányította. Tudományos munkáját a magyarországi építészet történetének kidolgozására, továbbá a legújabbkori építészet és művészet elméleti alapjainak vizsgálatára összpontosította. Ez utóbbi témával kapcsolatos az a szervezési munka, amelyet a bizottság a létesítendő Építészeti Múzeum gyűjtőmunkájának módszertanára kidolgozott. Foglalkozott a műemlékvédelem külföldi és hazai helyzetképének felmérésével, a kidolgozott tanulmány hasznos megállapításokat tesz a hazai műemlékvédelem helyzetéről. Több elvi és gyakorlati kérdésben konkrét segítséget nyújtott a műemléki hatóságoknak egy-egy intézkedés kidolgozásához, ill. probléma megoldásához. 1964-ben *Műemlékvédelmi Munkaértekezletet*, 1965-ben *Műemlékhelyreállítási Ankétot* és felolvasó üléseket szervezett. A bizottság munkájában a tagok aktívan vesznek részt.

A bizottság 7 ülést tartott, megvitatta az előző évben rendezett ankét eredményeként kidolgozott irányelveket, kialakította a műemlékek és műemléki együttesek irányelveit, javaslatokat dolgozott ki az 1967. évi Hild-centenárium megünneplésére. A helyszínen megtekintette a Fertőd—Nagycenk—Sopron, valamint a budai várnegyed műemlékhelyreállításait és megállapításait írásba foglalta. Behatóan foglalkozott a szakterületen megjelent — elsősorban akadémiai kiadású — könyvek és folyóiratok bírálatával.

A *Településtudományi Bizottság* az akadémiai kutatóhelyek tudományos kutatási terveit és munkáját szakértők bevonásával nagy körültekintéssel

vizsgálta felül. A 60. sz. főfeladat koordináló bizottságával egyetértésben mind nagyobb szerepet visz a településtudományi kutatások irányainak kijelölésében. Az Építésügyi Minisztérium Településfejlesztési Műszaki Fejlesztési Tanácsának felkérésére megvitatta a szakterület eddigi kutatómunkáját és állást foglalt a további kutatások irányára. Az ÉM felkérésére a Magyar Urbanisztikai Társasággal közösen tartott vitaülés keretében véleményt alakított ki azokról a munkákról, amelyek az ÉM irányítása alatt az országos település-hálózatfejlesztési terv kidolgozása érdekében történnek. A magyar Urbanisztikai Társasággal közösen 1966-ban konferenciát rendezett „A szocialista társadalom életformáinak hatása a települések fejlesztésére" címmel.

A bizottság 3 ülést tartott. A tagok aktívan vettek részt a munkában, a viták élénkek, eredményesek voltak.

A *Vízgazdálkodási, Vízépítési és Hidrológiai Bizottság* az Országos Vízügyi Főigazgatósággal egyetértésben szakértő bizottságot küldött ki a vízgazdálkodással kapcsolatos alapkutatások koordinálására. A bizottság rendszeresen megvizsgálja a VITUKI terveit és eredményeit. Az OVF felkérésére megvizsgálta az Országos Vízgazdálkodási Keretterv kormánybizottság elé terjesztett anyagát, a dunai vízerőművek szivárgási problémáival kapcsolatos tervdokumentációt, előterjesztést dolgozott ki a tiszavölgyi vízpótlások, a medrekben hagyandó legkisebb élővízmennyiség tárgyában. 1965-ben részt vett a *III. Hidrológiai Előrejelzési Konferencia* megszervezésében és a *Nemzetközi Hidrológiai Dunavölgyi* regionális kutatási feladatok összehangolására nemzetközi tanácskozást tartott. Több nyilvános vitaülést szervezett a folyami hidraulika és hordalékmozgás, valamint az öntözések témaköreiből. A teljes szakterület vonatkozásában foglalkozott a tudományos káderutánpótlás kérdésével és konkrét határozatokat hozott.

A bizottság 7 ülést tartott. A tagok aktív, eredményes munkát végeznek. A hazai öntözések helyzetéről tudományos és gyakorlati helyzetképet készített, megvitatta a tudósképzést, valamint az OVF felkérésére megvizsgálta a vízgazdálkodási kutatások 5 éves távlati tervét, kidolgozta a Nemzetközi Hidrológiai Decennium kutatásainak alapelveit. Nemzetközi szivárgási és kúthidraulikai ankétot szervezett, kibővített bizottsági ülést tartott a Hazafias Népfront titkárságának és az MTA Orvostudományi Osztályának illetékes bizottságával hazai gyógyvizeink gyógyító szerepéről.

A *Közlekedéstudományi Bizottság* a KPM felkérésére megvizsgálta az úthálózatfejlesztési terv készítésének helyzetét és több más problémakörben szakértő bizottságai útján dolgozott ki szakvéleményt. Rendezésében 1964-ben MAXIMILIAN SCHANTL, 1965. évben LOUIS ARMAND, a Francia Akadémia tagja és BRUNO KEPNIK tartott nagy érdeklődéssel kísért előadást.

A bizottság munkája az elmúlt évben tett bíráló megállapítások óta intenzívvé vált. A bizottság 5 ülést tartott a tagok aktív részvételével. Az akadémiai kutató munkák intenzív irányítása mellett behatóan foglalkozott a Közlekedési Múzeum tudományos problémáival, a koordináló bizottságok munkájával, értékelte a Közlekedéstudományi Egyesület munkáját. Megvitatta a kutatási eredményeket és gyakorlati hasznosításának helyzetét. Kidolgozta a közlekedési kibernetikai kutatások nemzetközi helyzetképét. A bizottság megállapította, hogy erőfeszítései ellenére a hazai közlekedéstudomány fejlődése nem tart lépést a baráti országokban tapasztalható előretöréssel.

A bizottság ezért a következő időszak egyik legfontosabb feladatának a lemaradás okainak megvizsgálását és megszüntetését tekinti.

Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau (IVBH). Nemzetközi Híd- és Magasépítési Egyesület. 1929 óta vagyunk tagok. A négyévenként megrendezésre kerülő kongresszusokon a magyar bizottság figyelemre méltó eredményeket ért el.

International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. Nemzetközi Talajmechanikai és Alapozási Társaság. A szervezetnek Magyarország 1957 óta tagja. 1966-ban RZSANICIN szovjet professzor talajszilárdításról tartott konzultációs előadást. A magyar bizottság titkára elkészítette a talajmechanika tudomány mai állásának helyzetképét, amely az Applied Mechanics Reviews c. folyóiratban jelenik meg.

International Commission of Irrigation and Drainage (ICID). Nemzetközi Öntözési és Belvízrendezési Szövetség. A magyar bizottság 1956 óta tagja a Szövetségnek. Az 1965-ben újjászervezett bizottság 3 tagja részt vett a Szövetség VI. újdelhi-i konferenciáján és az egyidejűleg rendezett végrehajtó tanácsi ülésen. 3 magyar tanulmány szerepelt a kongresszuson és egy magyar hozzászólás hangzott el.

Egyéb tudományterületek

A *Műszaki Tudománytörténeti Bizottság* 1965. évi újjászervezése óta tudományos irányító tevékenységét több tudományág történetének intenzív művelésére létrehozott 5 szakértőbizottság segítségével végzi. Legfontosabb feladatának a hazai tudománytörténet területén eddig végzett munka felmérését, publikálását és a modellanyag bemutatását tekintette. Szoros kapcsolatot tart fenn a műszaki szakmúzeumokkal. A káderutánpótlás érdekében többször foglalkozott a technikatörténeti oktatás kérdésével.

A bizottság múlt évi működésének — 5 ülést tartott — egyik kiemelkedő eseménye volt a technikatörténeti vitaülés. Javaslatot dolgozott ki a hazai technikatörténeti közlemények összefoglaló bibliográfiájának kidolgozására, állást foglalt a magyar technika nagyjainak monográfiájával kapcsolatos teendőket illetően.

A kutatóhelyek és bizottságok káderhelyzete

Amint a beszámolóból látható, az Osztály kutatóhelyei az elmúlt három évben jelentős tudományos eredményeket értek el. Ahhoz, hogy teljes képet kapjunk a kutatóhelyekről, elemeznünk kell azonban kutatóink felkészültségét is.

Az Osztály kutatási bázisa jelenleg két, 521 főt foglalkoztató intézetből és 8 akadémiai munkaközösségből, amelybe tudományágak szerinti csoportosításban 40 tanszéki kutatóhely tartozik, továbbá 1, az osztálytól közvetlenül támogatott tanszéki kutatóhelyből áll. Az Osztályhoz tartozó kutatóhelyeken foglalkoztatott 662 akadémiai státusú dolgozó megoszlása: 239 fő kutató, 320 fő kutatási segédszemélyzet és 103 fő egyéb (adminisztratív stb.) személyzet.

Az *Automatizálási Kutató Intézet* betöltött kutatói létszáma 99 fő, amiből 10 fő (10%) rendelkezik tudományos fokozattal, melyből 1 fő akadémikus, 1 fő tudományok doktora, 8 fő tudományok kandidátusa. Az 1959. január 1-e után végzett 60 kutató közül egyetlen egy személy sem rendelkezik tudományos fokozattal. A korábban végzettek 25%-a minősített.

A nyelvtudást illetően az intézetnél 22 fő (22%) rendelkezik állami nyelvvizsgával, akik közül 2 fő két nyelvből tett állami nyelvvizsgát. 1959. január 1-e után végzett kutatók közül 14 személynek van állami nyelvvizsgája, illetve ezzel egyenértékű képesítése. A nyelvvizsgák fele esik az orosz nyelvre, a többi 2:1 arányban az angol és a német nyelv között oszlik meg.

Az intézet káderhelyzetét létszámilag a gyors fejlődés jellemezte az elmúlt időszakban. A tudományos fokozatok és a nyelvtudás megszerzésének vonatkozásában az Intézet kutatóinak az elkövetkezendő időszakban jelentős feladatai vannak.

A *Műszaki Fizikai Kutató Intézet* betöltött kutatói létszáma 53 fő, amiből 13 fő (25%) rendelkezik tudományos fokozattal. Ebből 3 fő akadémikus, 1 fő tudományok doktora és 9 fő tudományok kandidátusa. Ez az arány nem mondható kielégítőnek, különösen akkor, ha figyelembe vesszük, hogy ezek a személyek mind 1959. január 1-e előtt végezték egyetemi tanulmányaikat.

A kutatómunka hatékonyabbá válását jelentősen segíti a kutatók nyelvtudása is, amely elsősorban a felsőfokú és középfokú állami nyelvvizsgákon mérhető le. A Műszaki Fizikai Kutató Intézetnél 21 fő (40%) rendelkezik állami nyelvvizsgával, akik közül 2 fő két nyelvből tett állami nyelvvizsgát. Az 1959. január 1-e után végzett kutatók közül 7 személynek van állami nyelvvizsgája, illetve ezzel egyenértékű képesítése. A nyelvvizsgák 2/3-a esik az orosz nyelvre, a többi közel egyenlő arányban az angol és a német nyelv között oszlik meg.

Az intézet káderhelyzetével kapcsolatban megállapítható, hogy a kitűzött célok a nyelvvizsgák vonatkozásában jó ütemben valósulnak meg, de a kutatók szakmai felfejlődését tükröző tudományos fokozatok megszerzésénél lemaradás tapasztalható.

A *támogatott tanszéki kutatóhelyek* betöltött kutatói létszáma 54 fő, amiből 10 fő (19%) rendelkezik tudományos fokozattal, melyből 2 fő tudományok doktora, 8 fő tudományok kandidátusa. Az 1959. január 1-e után végzett 10 kutató közül egy személy rendelkezik a tudományok kandidátusa fokozattal. A korábban végzettek 20%-a minősített.

A nyelvtudást illetően a tanszéki kutatóhelyeknél 9 fő (17%) rendelkezik állami nyelvvizsgával. A nyelvvizsgák egy negyede esik az orosz nyelvre, a többi fele-fele arányban az angol és német nyelv között oszlik meg.

A tanszéki kutatóhelyek tudományos dolgozóinak fejlődése általában kielégítő, ha figyelembe vesszük, hogy a tudományos fokozatot szerzett tanszéki kutatók egy része oktatói állományba ment át az elmúlt 3 éves időszakban.

Az Osztály továbbra is fontos feladatának tekinti a káderhelyzet figyelemmel kísérését a tudományos dolgozók minősítésének eddig bevált évenkénti felülvizsgálata útján. Az Osztály ez alkalommal is felhívja a kutatóhelyek vezetőinek figyelmét a tudományos fokozatok és a nyelvismeretek megszervezésénél ma még tapasztalható hiányosságok felszámolására.

*

Az Osztályhoz jelenleg 13 bizottság tartozik, amelyek az 1965-ben kiadott szervezeti és ügyrendi szabályzat szerint dolgoznak. Általában megállapíthatjuk, hogy a bizottságoknak nagy szerepük van a szakterületük tudományos irányításában.

Az elmúlt három évben a bizottságok munkájának súlypontja — amint az a beszámolókból is megállapítható — a kutatóhelyek kutatási terveinek és tudományos munkájának a felülvizsgálatával kapcsolatos teendőkre, valamint a hazai és nemzetközi helyzetképek kidolgozására összpontosult.

Munkájukban részt vesz az összes akadémiai rendes és levelező tag, továbbá a doktorok és kandidátusok nagy csoportja. A nem minősített tagok száma bizottságonként általában 1—2 személy. A tagok munkahely szerinti megoszlásánál egyes bizottságok esetében (pl. a Gépészeti Bizottságnál) az tapasztalható, hogy majdnem teljes egészében az egyetemi dolgozókra támaszkodik. Ez nem látszik helyesnek és a bizottságok újjászervezésénél nagyobb gondot kell fordítani a nem tudományos intézményeknél, tehát tervező vállalatoknál és az üzemekben dolgozó minősített szakemberek bevonására is.

A tagok életkorát tekintve általában a tagok 2/3-a esik 40 és 60 év közé. A 40 év alatti és a 60 év feletti korosztályok közötti megoszlás nagyjából azonos. Bár ez a megoszlás általában helyesnek mondható, mégis azt mutatja, hogy bizottságaink összeállításánál még sok a tennivaló a fiatal, tudományos fokozattal rendelkező szakemberek bevonása érdekében.

A bizottságok munkája általában aktív és a működésük egyik fokmérője az ülések száma. A bizottságok többsége évente 4—5 ülést tart. Ezt helyesnek kell minősítenünk, mert az Osztály nem lehet híve a formális havonkénti ülésezésnek, azonban ahhoz, hogy a bizottságok tagjai állandóan tájékozva legyenek az Osztály feladatairól és az ott folyó munkákról, szükséges a 2—3 havonkénti ülések tartása.

Az Automatikai Bizottság és a Kohászati Bizottság a múlt közgyűlés óta mindössze 1—1 ülést tartott. E bizottságok munkájával kapcsolatban már az elmúlt évi közgyűlésen is bíráló észrevételek hangzottak el. A rendszeres ülésezések elmaradásából és egyéb jelekből arra kell következtetnünk, hogy e bizottságoknál változatlanul nem kielégítő a helyzet. Az Osztályvezetőség álláspontja, hogy az eredményes munkát személyi változásokkal biztosítani kell.

Az Osztály rendezvényei

Az elmúlt 3 éves időszakban Osztályunk 7 nemzetközi és 4 hazai *tudományos tanácskozást* rendezett. Ezeken összesen 326 külföldi és 1692 belföldi szakember vett részt. Az 1966-ban rendezett tudományos tanácskozásaink közül kiemelkedett a II. Korszerű Méretezési Konferencia, a III. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium, valamint a „Szivárgás és kúthidraulika kérdései" szimpózium.

Megállapítható, hogy rendezvényeinken mind a külföldi, mind a belföldi résztvevők száma évről évre nő, annak ellenére, hogy 1965 óta minden nemzetközi rendezvényünkön részvételi díjat kérünk és tanácskozásainkra az Akadémia költségén külföldi tudósokat csak a legkivételesebb esetben hívunk meg. Mindez azt is bizonyítja, hogy tudományos eredményeink nemzetközi szinten is érdeklődést keltenek és vonzzák a hallgatóságot. Az egyes konferenciákra beérkező tanulmányok száma jóval meghaladja az előirányzott előadások számát, így mindig van lehetőség a szelektálásra olyan értelemben, hogy csak a színvonalas tanulmányok kerüljenek előadásra.

Az elmúlt 3 évben összesen *36 felolvasó ülést* rendeztünk és *4 székfoglaló előadás* hangzott el.

1965-ben az Osztály elhatározta, hogy a felolvasó ülések eddigi rendszerén változtat, hogy azokat hatékonyabbá tegye és megszüntesse az előadások protokolláris jellegét. Az 1966. év folyamán rendezett felolvasó ülések már az új alapokon kerültek megszervezésre. A hazánkba érkezett külföldi tudósok részéről 5 előadás hangzott el. Hazai részről egy felolvasó ülés és egy vitaülés került megrendezésre.

Az Osztály nemzetközi kapcsolatai

A Műszaki Tudományok Osztálya 11 nemzetközi tudományos szervezet tagja, amelyek az egyes tudományterületek között a következőképpen oszlanak meg: automatika-energetika 3, gépészet-kohászat 2, híradástechnika 3, mérnöki, építészeti és közlekedési tudományok 3.

A nemzetközi szervezetek magyar bizottságainak 1964—1966. évi működéséről az Osztályhoz tartozó bizottságok munkájánál számoltunk be.

Az Osztály nemzetközi kapcsolataiban nagy jelentősége van *a kutatók külföldi utazásainak.* Az elmúlt 3 év alatt 158 alkalommal biztosítottunk akadémikus, levelező tag és akadémiai állományú kutató, 35 alkalommal pedig nem akadémiai állományú dolgozó részére utazást a Műszaki Tudományok Osztálya keretéből, tehát kereteink 81,6%-át akadémikusok, levelező tagok és akadémiai állományú kutatók utaztatására használtuk fel. Az 1966. év folyamán 55 alkalommal utaztattunk akadémiai állományú, 12 alkalommal pedig nem akadémiai állományú dolgozót. A nem akadémiai állományú szakemberek közül azok a műszaki tudományok doktorai és kandidátusai részesültek akadémiai kiküldetésben, akik valamely bizottság munkájában aktívan tevékenykednek és egy-egy nemzetközi konferencián tartandó előadásukkal az Akadémiát képviselték.

Külföldi utazásban az elmúlt 3 év folyamán legnagyobb részt (40,9%) a Híradástechnikai Szakcsoport területén dolgozó kutatók részesültek. Ez azért volt lehetséges, mert az Automatizálási Kutató Intézet kutatóinak kiutazását nagyrészt az OMFB biztosította (pl. 1966-ban 68 kiutazás közül 38-at az OMFB finanszírozott). Ha kiküldetési kereteink az elkövetkező években nem bővülnek, az Automatizálási Kutató Intézetnek Osztályunkhoz való visszakerülése után a devizakeretek elosztásánál nagy nehézségeink lesznek.

Évről-évre lehetőség nyílik a 2—3 hetes rövid tanulmányutakon kívül 6 hónapos és 1 éves hosszú tanulmányutakra is. Az elmúlt 3 év folyamán összesen 16 fő részesült hosszú tanulmányutakban, ebből 3 személy 1 éves Ford-ösztöndíjban, 4 személy a kanadai National Research Council ösztöndíjában, 6 személy 6 hónapos devizafedezetes tanulmányúton vett részt, 3 személy pedig egyéb ösztöndíjat (NSZK, norvég) kapott.

Az elmúlt 3 év alatt az OMFB az Automatizálási Kutató Intézet dolgozóit 67 alkalommal utaztatta. Egyéb szervek a 3 év alatt 58 alkalommal utaztattak akadémiai állományú dolgozót. Az egyéb szerveket az egyes külkereskedelmi vállalatok és tudományos egyesületek alkotják. Szakminisztériumok kiküldetésében egyetlen akadémiai dolgozó sem részesült.

Összefoglalóan megállapíthatjuk, hogy Osztályunkhoz tartozó akadémikusok, levelező tagok és akadémiai állományú dolgozók az elmúlt 3 év folyamán (a meghívásokat is beleértve), összesen 365 alkalommal, az 1966. év folyamán pedig 142 alkalommal utaztak külföldre.

Az elmúlt év folyamán Osztályunk összesen 153 *külföldi vendéget fogadott.* A külföldi vendégek fogadása a szocialista országok tudományos akadé-

miáival kötött csereegyezmények keretében történik. Az 1966. évben egyezményes keretben 50 külföldi vendég utazott hazánkba. Ezenkívül minden évben lehetőségünk van néhány kiemelkedő külföldi tudós meghívására az Akadémia költségén. Az 1966. év folyamán 4 vezető tudóst láttunk vendégül.

Az elmúlt időszakban hazánkba érkező külföldi vendégek különösen nagy érdeklődést tanúsítottak az 1965. évben új székházba költözött Műszaki Fizikai Kutató Intézet iránt. Nemcsak e szakterület dolgozói, hanem egyéb szakterületek tudósai és kutatói is szívesen tekintették meg az intézetet, hogy megismerkedjenek egy korszerű magyar kutatóintézet munkájával, szervezetével és felszerelésével.

Az Osztály nemzetközi kapcsolatainak alapját a szocialista országok tudományos akadémiáival kötött egyezmény keretében kialakított együttműködés képezi. A közös *kutatási témák* kisebb része ténylegesen érdemi együttműködés. Ilyenkor közösen kidolgozott terv alapján kölcsönösen elküldik egymáshoz a kutatókat meghatározott kísérletsorozatok végrehajtására és ezekről közös publikációban vagy közös előadásban számolnak be. Másik része a közös kutatási témáknak csupán laza kapcsolat, amely főleg publikációk kicseréléséből áll.

Osztályunknak az alábbi országok tudományos akadémiáival van együttműködési szerződése közös témák művelésére: Bolgár Tudományos Akadémia (4 téma), Csehszlovák Tudományos Akadémia (5 téma), Lengyel Tudományos Akadémia (7 téma), Román Népköztársaság Tudományos Akadémiája (3 téma), Szovjet Tudományos Akadémia (7 téma).

Az Osztály könyv- és folyóiratkiadási tevékenysége

Az Osztály könyvkiadási tevékenysége kétirányú: rendelkezik osztálykerettel, ezenkívül az Akadémiai Kiadó is megjelentet a kiadói keret terhére idegen nyelven olyan könyveket, amelyek már magyar nyelven más kiadónál megjelentek és piackutatás után azok kiadása indokolt. A kiadói keretben megjelenő művek kiadása felől az Akadémiai Kiadó kikéri az Osztály véleményét.

Az *elmúlt hároméves időszakban* a Műszaki Tudományok Osztályának gondozásában összesen 40 mű jelent meg; ebből az osztálykeret terhére 23, a kiadói keret terhére 17 mű.

A könyvkiadás az egyes szakterületek között arányosan oszlott meg. Lemaradás egyedül a híradástechnikai tudományok területén van, jóllehet a szakkörökben az ilyen könyvek iránt az igény igen nagy. E szakterületen okoz legtöbb gondot a megfelelő kéziratok biztosítása. A könyvek lektorálása több esetben nehézséget okozott a szaklektorok hiánya miatt.

Az Osztály *saját könyvkiadási ívkerete 1966-ban* 290 ív volt, a kiadói kereten kívül. 1966-ban az Osztály gondozásában összesen 13 mű jelent meg, melyből 8 könyv az osztálykeret, 5 pedig a kiadói keretben került kiadásra. A megjelent könyvekből 7 monográfia, 6 pedig kézikönyv.

Értékelve a megjelent műveket, meg kell állapítanunk, hogy azok fontos és hasznos kiadványok mind tudományos, mind népgazdasági szempontból nézve. Bár a tervezésnél figyelembe vettük, hogy a könyvkiadási tervünkben valamennyi tudományág képviselve legyen, mégis az év folyamán a kéziratok

késedelmes leadása, a lektori vélemények késése és a szerzők javítási munkáinak elhúzódása miatt egyes művek nem készültek el, átcsúsztak a következő évi tervbe és így 1966. évi könyvkiadásunknál a szakterületek között aránytalanság mutatkozik. A lemaradás a múlt évben is változatlanul jelentős a híradástechnikai tudományok területén, ahol bár most a kéziratok rendelkezésre álltak, azonban az idegen nyelvre való fordítás elhúzódása, belső lektorok hiánya és szerkesztési munkák lemaradása miatt azok nem jelenhettek meg. Így az éves könyvkiadás bizonyos egyoldalúságot mutat és legalább hároméves periódus kell ahhoz, hogy objektív képet lehessen alkotni az Osztály könyvkiadási tevékenységéről.

Fékezőleg hatott könyvkiadási tevékenységünkre az a körülmény is, hogy az Akadémiai Kiadó pénzügyi keret hiánya miatt szerződést csak a már kész kéziratokra kötött. Ez a körülmény kedvezőtlenül befolyásolta a művek határidőre történő elkészülését. Ez a helyzet a közeljövőben változik és a kiadó a könyvkiadási tervbe felvett művekre hajlandó szerződést kötni. Reméljük, hogy a szerződéskötés segíteni fogja szerzőinket a kéziratok pontos leadására.

Sorozatkötetek közül idén megjelent az Architektúra sorozat egy kötete és a Magyar Műemlékvédelem 1961—1962. kötete. A sorozatban megjelent kiadványok témái jól tükrözik a sorozat jellegét.

Az osztályvezetőség 1965. novemberi ülésén elhatározta, hogy a jövőben az Osztály gondozásában megjelent új művekről félévenként az osztályvezetőség előtt ismertetést kell adni. Azóta az új művek ismertetése folyamatosan történik.

A Műszaki Tudományok Osztálya gondozásában 3 folyóirat jelenik meg. Egy idegen nyelvű: az Acta Technica és 2 magyar nyelvű: a Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei, valamint az Építési és Közlekedéstudományi Közlemények.

Az elmúlt három évben megjelent az *Acta Technicából* 11 kötet, 310 tanulmány, 330 ív terjedelemben. Ebbe az időszakba esett az Acta Technica 50. kötete is, amely mint jubileumi kötet került kiadásra. E kötetben felkérésre neves külföldi szerzőknek, magyar akadémikusoknak és levelező tagoknak, továbbá több műszaki tudományok doktorának tanulmánya jelent meg.

A szakmai megoszlást tekintve megállapítható, hogy valamennyi, az Osztályhoz tartozó egyes tudományterületek képviselve vannak az Acta Technica hasábjain, egyedül a híradástechnika területéről volt kevés a kézirat.

1966. január 1-től az Acta Technicá-nál az Osztály rátért a szakosítás megvalósítására és a következő megoszlás szerint jelennek meg az Acta Technica füzetei: általános mérnöki; energetika, automatika, híradástechnika; gépészet-kohászat.

A *Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei* tartalmazza az akadémiai székfoglalókat, az évi nagygyűlés anyagát, valamint azokat a magyar nyelvű tanulmányokat, amelyeket magas színvonaluk miatt más műszaki lap nem közöl le, ezenkívül az Acta Technica azon tanulmányai, melyeknek magyar nyelven való leközlése kívánatos. Továbbá tartalmazza az Akadémiai Kiadónál, más kiadóknál (köztük külföldieknél is) megjelent könyvek recenzióit. Ezeket mindenkor a szakterület legkiválóbb művelőivel készíttetjük el és azok nívója jó.

Az elmúlt három évben megjelent Osztályközleményekből 5,5 kötet, 165 tanulmány 159 ív terjedelemben.

Az *Építési és Közlekedéstudományi Közleményekből* az elmúlt három évben megjelent 5 kötet, 92 tanulmány, 115,5 ív terjedelemben.

1966. évben az Acta Technica, illetve Osztályközlemények részére összesen 94 tanulmány érkezett be.

Értékelve az Osztály folyóiratkiadási tevékenységét, meg kell állapítanunk, hogy az 53. kötettől megindított szakosítás beváltotta a hozzá fűzött reményeket. Míg éveken keresztül a tanulmányok átfutási ideje 1—2 év között mozgott, idén igen sok tanulmány 9—11 hónapos átfutási idővel jelent meg (az átfutási idő alatt itt a kézirat beérkezése és a megjelenése közötti időt értjük). Mint a szakterületenkénti megoszlásból kitűnik, lemaradás egyik tudományterületen sem mutatkozott, tehát az Acta Technica jól tükrözte célkitűzését, nevezetesen, hogy abban a műszaki tudományoknak minden területe képviselve legyen.

A megjelent tanulmányok legnagyobb része tudományos szempontból kiemelkedő munkának számít és új tudományos kutatási eredményeket tartalmaz. A könyvismertetések elkészítésére ugyanúgy, mint az előző években, a szakterület prominens művelőit kértük fel, s így azok színvonala jónak minősíthető.

1967. évre az Acta Technica és Osztályközlemények kéziratleadására ütemterv készült és azt a szakosítás kezdeti nehézségeinek leküzdése után jelentéktelen késedelemmel az Osztály teljesíteni is tudja.

A szakosítással kapcsolatos terjesztési adatok még nem állnak rendelkezésünkre. Remélhetőleg azok is a szakosítás mellett fognak szólni.

Az Osztály előtt álló további feladatok

Az Osztály tudományszervező és irányító tevékenysége ma a kialakított fő kérdések köré csoportosul. Az ezekből adódó feladatok végrehajtása évekre meghatározza az Osztály teendőit. Új lendületet adott e munkának a IX. Kongresszus, amely határozataiban éppen ezekre a kérdésekre irányította a figyelmet. A gazdaságtervezés új mechanizmusának a küszöbön álló bevezetése is újabb gondolatot ad az előttünk álló feladatok megvalósításához.

Mindezek a következőkben foglalhatók össze:

Meg kell javítani az Osztály három kiemelkedő tudományterületének irányítását, különös tekintettel a témáknak már elkezdett koncentrálására és a népgazdaság szempontjainak jobb érvényesítésére. El kell érnie az Osztálynak, hogy a műszaki alapkutatások, elsősorban az Osztályhoz tartozó két nagy beruházással létesült intézetében minél előbb hasznosítható eredményeket hozzanak a népgazdaság számára. A műszaki tudományok területén az alapkutatásoknak — hosszabb távon 5—10 éves viszonylatban — gazdaságilag is értékelhető eredményt kell adniok. A kutatóhelyek eredményességének legfőbb fokmérője a népgazdaság számára hasznosítható eredmények felmutatása.

Ennek megfelelően a rendelkezésre álló anyagi eszközöket és létszámbeli kereteket fokozottabban kell az olyan kutatásokra fordítani, amelyek a népgazdaság szempontjából különösen fontosak. Azokat a kutatásokat, amelyek évek óta nem mutatnak fel megfelelő tudományos eredményeket, le kell állítani, vagy legalábbis támogatásukat a minimálisra kell csökkenteni.

A kutatóhelyeken megfelelő tudományos eredményeket csak jól képzett tudományos káderektől lehet elvárni. Ezért az igazgatónak és a munkaközössé-

gek vezetőinek fokozottabb mértékben kell figyelemmel kísérni a hozzájuk tartozó kutatók szakmai fejlődését. A kutatók szakmai fejlődésének mind a tudományos eredményekben, mind a tudományos fokozatok szerzésében meg kell nyilvánulnia. Mindkét kutatóintézetünkben lényegesen javítani kell az ilyen jellegű munkát.

Az Osztálynak az akadémiai, illetve nemzeti bizottságok munkájával kapcsolatosan az elmúlt évi közgyűlésen tett észrevételei nyomán a bizottsági munka egészében tovább javult, de változatlanul nem kielégítő a Kohászati Bizottság és az Automatikai Bizottság tevékenysége. Itt megfelelő személyi változásokat kell eszközölni annak érdekében, hogy megteremtődjenek az eredményes munka feltételei.

Az akadémiai bizottságok ez évi újjászervezése előtt meg kell vizsgálni, hogy mely területeken vannak meg a feltételek a bizottságoknak a tudományág szerinti átszervezéséhez.

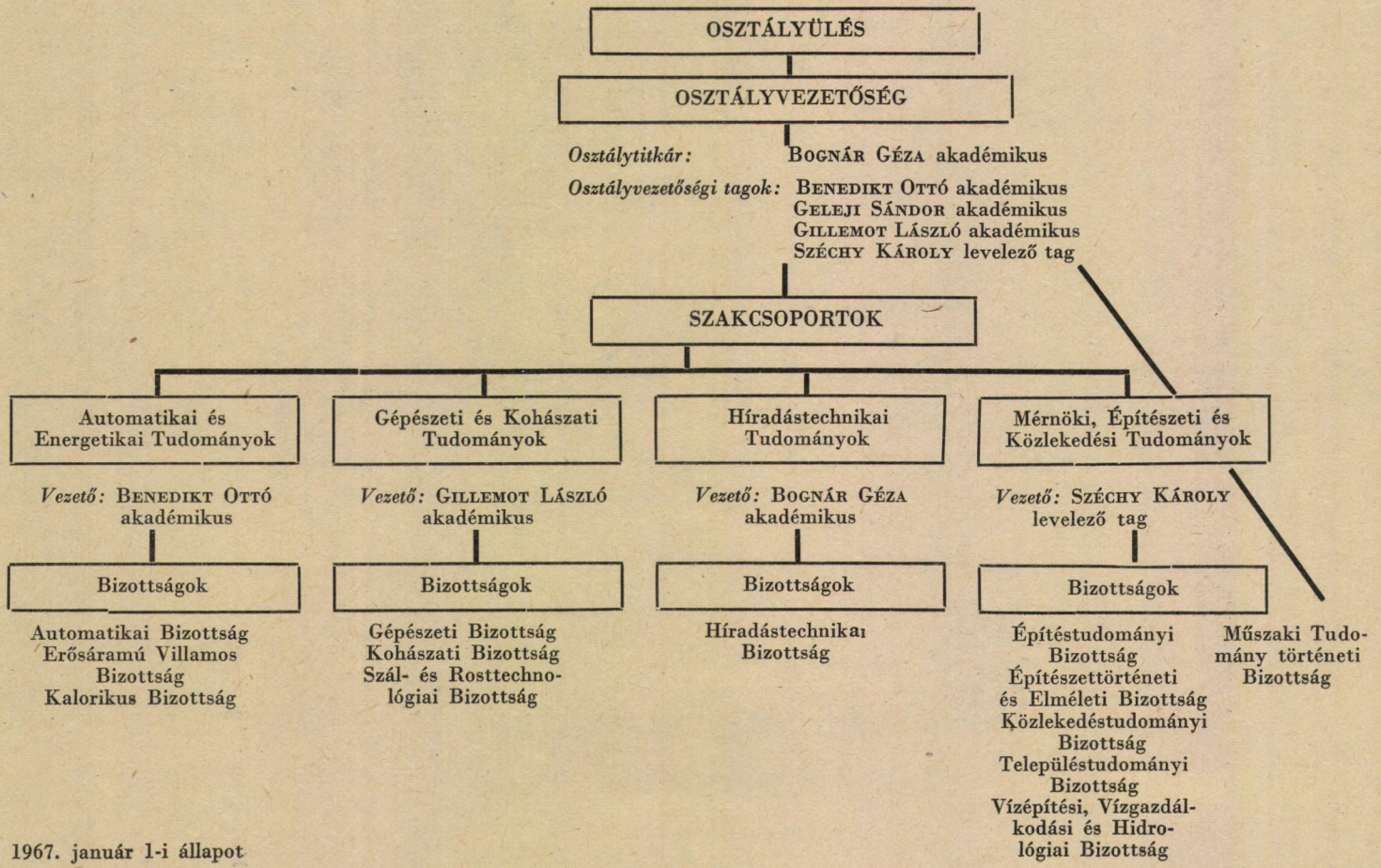
A nemzeti bizottságok tartsák elsőrendű kötelességüknek, hogy a szakterületükön tartott nemzetközi kongresszusok anyagát a hazai szakemberek megvitassák és ezek részére az anyagokat hozzáférhetővé tegyék. Ennek érdekében tartsanak konferenciákat, felolvasó üléseket és rendezzenek tudományos vitákat.

ADATOK

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA SZERVEZETÉRŐL ÉS MŰKÖDÉSÉRŐL

MTA VI. Osztály Közleményei 38, 1967

A Műszaki Tudományok Osztálya szervezeti tagozódása

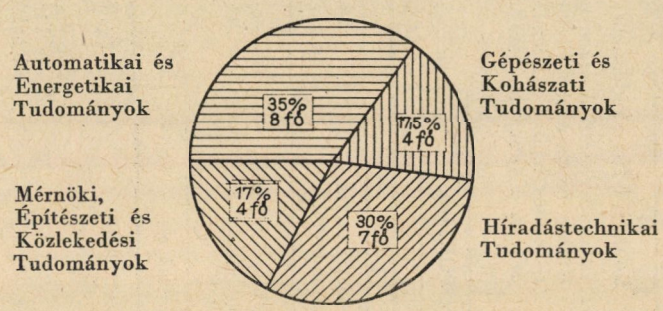


1967. január 1-i állapot

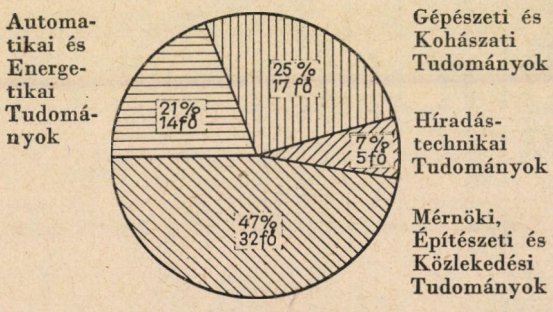
A Műszaki Tudományok Osztályához tartozó akadémiai tagok, doktorok és kandidátusok létszáma és megoszlása

Tudományterületek szerint

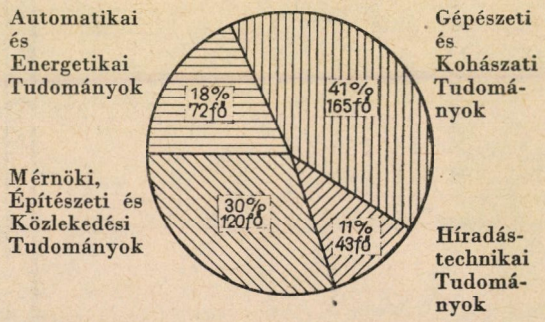
AKADÉMIAI TAGOK



DOKTOROK



KANDIDÁTUSOK

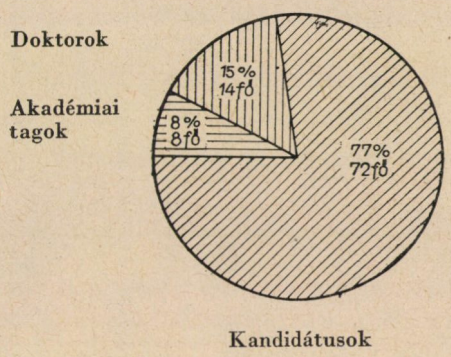


1967. január 1-i állapot

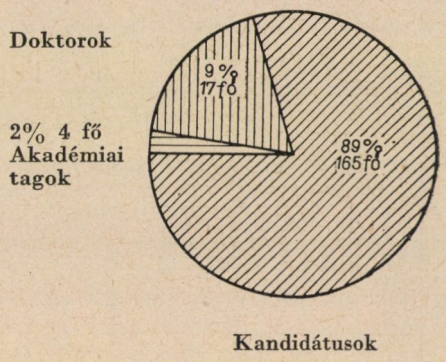
A Műszaki Tudományok Osztályához tartozó akadémiai tagok, doktorok és kandidátusok létszáma és megoszlása

Tudományterületeken belül

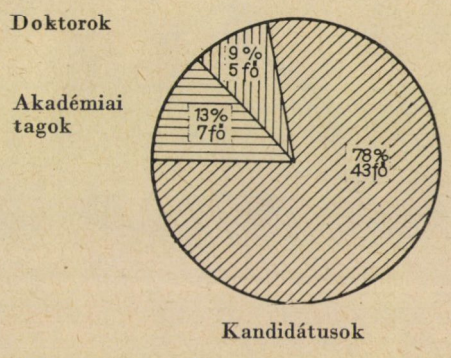
AUTOMATIKAI ÉS ENERGETIKAI TUDOMÁNYOK



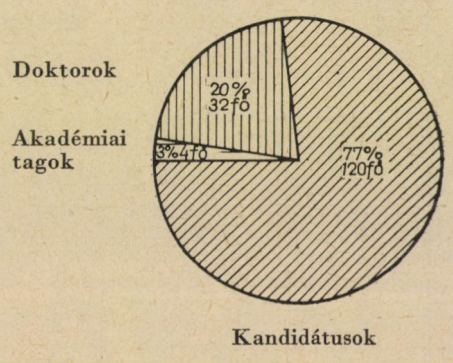
GÉPÉSZETI ÉS KOHÁSZATI TUDOMÁNYOK



HÍRADÁSTECHNIKAI TUDOMÁNYOK



MÉRNÖKI, ÉPÍTÉSZETI ÉS KÖZLEKEDÉSI TUDOMÁNYOK



1967. január 1-i állapot

A Műszaki Tudományok Osztályához tartozó bizottságok összetétele

Bizottság	Tagok száma	Akadémiai rendes és levelező tag	Műszaki tudományok		Nem minősített	Munkahely szerint						Kor szerinti megoszlás		
			doktora	kandidátusa		Egyetem	Kutatóintézet	Tervező vállalat	Üzem	Igazgatás	Egyéb, nyugdíjas	40 évig	40—60 év között	60 év felett
Energetikai és Automatikai Tudományok														
Automatikai Bizottság	18	2	2	9	5	4	7	1	2	3	1	9	6	3
Erősáramú Villamos Bizottság	18	2	9	7	—	4	7	2	3	1	1	2	11	5
Hőenergetikai Bizottság	18	4	2	11	1	3	7	2	2	3	1	4	10	4
Gépészeti és Kohászati Tudományok														
Gépészeti Bizottság	22	2	6	13	1	20	1	—	—	1	—	3	15	4
Kohászati Bizottság	20	3	3	12	2	7	6	2	1	4	—	4	13	3
Szál- és Rosttechnológiai Bizottság	16	1	—	13	2	2	10	—	—	4	—	—	14	2
Híradástechnikai Tudományok														
Híradástechnikai Bizottság	19	7	5	6	1	6	10	—	2	1	—	1	10	8
Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok														
Építéstudományi Bizottság	22	1	11	8	2	12	1	2	—	4	3	3	14	5
Építészettörténeti és Elméleti Bizottság	14	1	2	9	2	9	—	1	—	3	1	2	9	3
Közlekedéstudományi Bizottság	20	1	4	12	3	7	2	5	—	6	—	1	16	3
Településtudományi Bizottság	15	—	3	8	4	3	—	6	—	4	2	2	10	3
Vízgazdálkodási, Vízépítési és Hidrológiai Bizottság	16	1	5	8	2	7	4	—	—	4	1	—	12	4
Műszaki Tudománytörténeti Bizottság	11	4	2	3	2	5	3	—	—	—	3	1	6	4
Összesen:	229	29	54	119	27	89	58	21	10	38	13	32	146	51

1967. január 1-i állapot

Az Osztályhoz tartozó kutatóhelyek 1967. évi létszáma

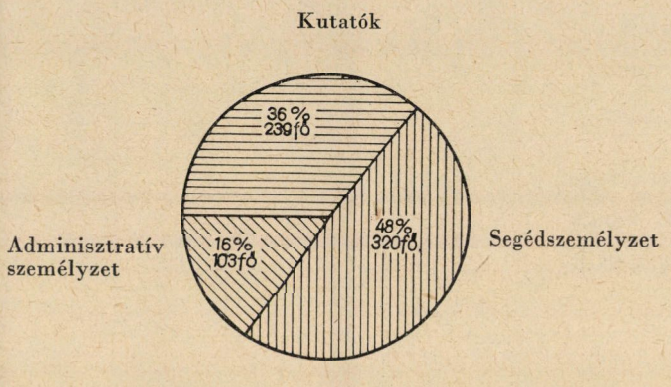
Intézet, kutatóhely megnevezése	Összes létszám	A kutatók megoszlása										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Energetikai és Automatikai Tudományok												
Automatizálási Kutató Intézet	293	1	1	6	9	83	21	—	121	1	1	8
Kalorikus Gépészeti Munkaközösség	9	—	—	—	1	3	—	—	4	—	1	—
Villamosművek Tanszék	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Gépészeti és Kohászati Tudományok												
Áramlástechnikai Munkaközösség	24	—	—	1	2	6	—	—	9	—	—	3
Gépszerkezettani Munkaközösség	22	—	—	—	1	4	1	—	6	—	—	—
Kohászati Munkaközösség	15	—	—	—	—	9	—	—	9	—	—	—
Nehézgépészeti Munkaközösség	4	—	—	—	—	2	—	—	2	—	—	—
Híradástechnikai Tudományok												
Műszaki Fizikai Kutató Intézet	228	1	2	3	7	37	8	—	58	3	1	9
Híradástechnikai Munkaközösség	14	—	—	—	1	6	—	—	7	—	—	2
Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok												
Építéstudományi Munkaközösség	43	—	—	—	3	11	5	—	19	—	1	2
Közlekedéstudományi Munkaközösség	5	—	—	—	—	3	—	—	3	—	—	1
Tanszéki osztálytartalék	2	1	—	—	—	—	—	—	1	—	—	—
Intézetek összesen	521	2	3	9	16	120	29	—	179	4	2	17
Tanszéki kutatóhelyek összesen	141	1	—	1	8	44	6	—	60	—	2	8
Osztály együtt:	662	3	3	10	24	164	35	—	239	4	4	25

Jelmagyarázat:
1. Intézeti igazgató
2. Intézeti igazgatóhelyettes
3. Tudományos osztályvezető
4. Tudományos főmunkatárs
5. Tudományos munkatárs
6. Tudományos segédmunkatárs
7. Tudományos gyakornok
8. Kutatói létszám összesen
9. Akadémiai rendes tag és levelező tag
10. Műszaki tudományok doktora
11. Műszaki tudományok kandidátusa

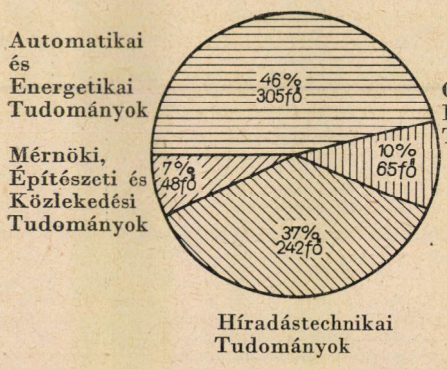
1967. március 1-i állapot

Az Osztályhoz tartozó kutatóhelyek 1967. évi létszáma

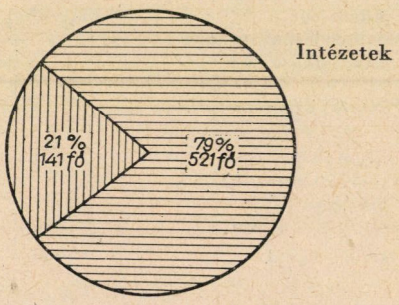
A kutató, segéd és adminisztratív személyzet megoszlása



A létszám megoszlása tudományterületek szerint



Az összlétszám megoszlása az intézetek és tanszéki kutatóhelyek között



1967. március 1-i állapot

Az Osztályhoz tartozó kutatóhelyeknek a jóváhagyott akadémiai témákkal kapcsolatos publikációs tevékenysége az elmúlt 3 évben

Intézet, kutatóhely megnevezése	Szakkönyvek	Szakcikkek			Jóváhagyott szabadalmak
		hazai		külföldi	
		folyóiratban			
		magyar nyelven	idegen nyelven		
Automatikai és Energetikai Tudományok					
Automatizálási Kutató Intézet	6	150	—	40	4
Kalorikus Gépészeti Munkaközösség	3	25	16	11	8
Villamosművek Tanszék	—	9	9	1	—
Gépészeti és Kohászati Tudományok					
Áramlástechnikai Munkaközösség	2	29	29	15	1
Gépszerkezettani Munkaközösség	2	58	17	55	8
Kohászati Munkaközösség	5	22	13	10	1
Nehézgépészeti Munkaközösség	1	8	6	1	2
Híradástechnikai Tudományok					
Műszaki Fizikai Kutató Intézet	2	27	19	43	7
Híradástechnikai Munkaközösség	10	40	5	27	2
Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok					
Építéstudományi Munkaközösség	12	69	—	19	—
Közlekedéstudományi Munkaközösség	8	25	1	13	4
Intézetek összesen	8	177	19	83	11
Tanszéki kutatóhelyek összesen	43	285	96	152	26
Osztály együtt	51	462	115	235	37

Az Osztályhoz tartozó kutatóhelyek anyagi ellátottsága

Költségvetés

Kutatóhely megnevezése	A tanszékek száma	Az 1967. évi támogatás, ezer Ft		
		Személyi	Dologi	Összesen
Energetikai és Automatikai Tudományok				
Automatizálási Kutató Intézet	—	—	—	24 790
Kalorikus Gépészeti Munkaközösség	4	140	150	290
Villamosművek Tanszék	1	87	185	272
Tanszéki támogatás összesen:	5	227	335	562
Tudományterület összesen:	5	—	—	25 352
Gépészeti és Kohászati Tudományok				
Áramlástechnikai Munkaközösség	2	65	215	280
Gépszerkezettani Munkaközösség	5	143	335	478
Kohászati Munkaközösség	5	190	230	420
Nehézgépészeti Munkaközösség	3	152	170	322
Tudományterület összesen:	15	550	950	1 500
Híradástechnikai Tudományok				
Műszaki Fizikai Kutató Intézet	—	—	—	15 868
Hiradástechnikai Munkaközösség	4	242	568	810
Tudományterület összesen:	4	—	—	16 678
Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok				
Építéstudományi Munkaközösség	12	650	780	1 430
Közlekedéstudományi Munkaközösség	5	200	130	330
Tudományterület összesen:	17	850	910	1 760
Az Osztály közvetlen felügyelete alatt				
Intézeti osztálytartalék	—	—	—	11
Tanszéki osztálytartalék	—	117	100	217
Osztálytartalék összesen:	—	117	100	228
Intézetek összesen:	—	—	—	40 669
Támogatott tanszékek összesen:	41	1986	2863	4 849
VI. Osztály együtt:	41	—	—	45 518

Megjegyzés: A táblázat az Automatizálási Kutató Intézet adatait is tartalmazza, amelyek azonban az Akadémia költségvetésében nem szerepelnek.

1967. március 1-i állapot

Beruházások

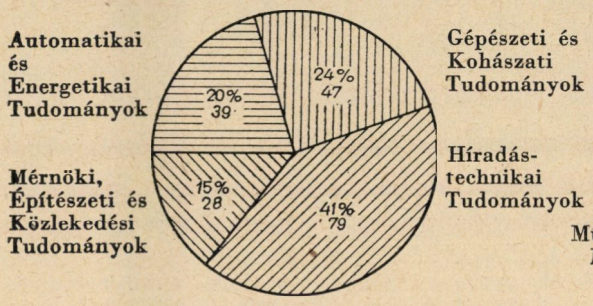
Megnevezés		Létszám	Gép, műszer	Építés	Egyéb	Összesen
1965. év						
Intézetek		360	13 381	18 702	2278	34 361
Tanszéki kutatóhelyek		128	5 313	—	91	5 404
	Együtt:	488	18 694	18 702	2369	39 765
1966. év						
Intézetek		438	14 178	12 658	4000	30 836
Tanszéki kutatóhelyek		129	9 661	—	119	9 780
	Együtt:	567	23 839	12 658	4119	40 616
1967. év						
Intézetek		521	31 760	768	325	32 853
Tanszéki kutatóhelyek		141	8 595	—	—	8 595
	Együtt:	662	40 355	768	325	41 448
1965—1967. év összesen						
Intézetek		—	59 319	32 128	6603	98 050
Tanszéki kutatóhelyek		—	23 569	—	210	23 779
	Együtt:	—	82 888	32 128	6813	121 829

Megjegyzés: A táblázat az Automatizálási Kutató Intézet adatait is tartalmazza, amely összegek az Akadémia beruházási keretében nem szerepelnek.

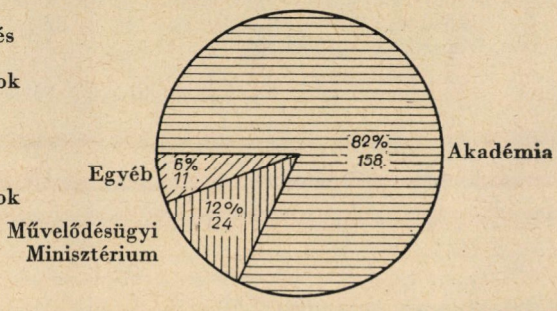
1967. március 1-i állapot

Utazások

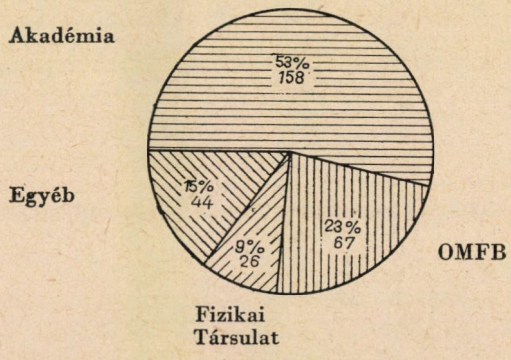
Az Akadémia által támogatott utazások megoszlása tudományterületek szerint (1964—1966)



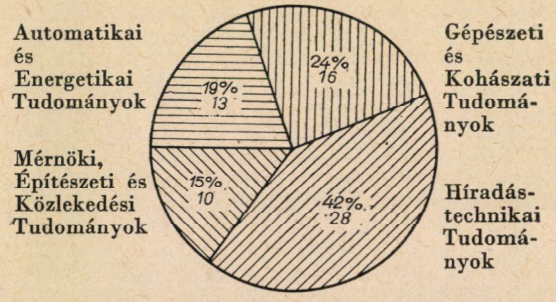
Az Akadémia által támogatott kiutazások megoszlása a kiutazók állománya szerint (1964—1966)



Az akadémiai állományúak kiutazásainak megoszlása a támogató főhatóság szerint (1964—1966)



Az Akadémia által támogatott utazások megoszlása tudományterületek szerint (1966)



Az Osztály által fogadott külföldi szakemberek tudományterületek szerint

	1964		1965		1966		Összesen	
	E	M	E	M	E	M	E	M
Automatikai és Energetikai Tudományok	11	1	4	—	12	1	27	2
Gépészeti és Kohászati Tudományok	13	1	3	2	8	1	24	4
Híradástechnikai Tudományok	24	3	18	1	26	1	68	5
Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok	9	1	7	1	4	1	20	3
Összesen:	57	6	32	4	50	4	139	14

Jelmagyarázat: E egyezményes keretben; M meghívásra

Tudományos rendezvények

Az Osztály által rendezett tudományos tanácskozások

A tudományos tanácskozás megnevezése	Résztvevők száma		
	külföldi		belföldi
	szocialista	tőkés	
	országokból		
1964			
Nemzetközi Műemlékvédelmi Munkaértekezlet	18	4	60
1965			
II. Korszerű Méretezési Konferencia	55	24	202
CIE Scope Committee ülése	—	14	1
Nemzetközi Hidrológiai Tudományos Tanácskozás	5	4	6
Dieselmotor Konferencia	—	—	180
Műemlékhelyreállítási Ankét	—	—	160
1966			
III. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium	90	54	233
„A szivárgás és kúthidraulika kérdései" Szimpózium	35	3	200
III. Automatizálási Kollokvium	20	—	350
„A szocialista társadalom életformáinak a települések fejlesztésére" című tanácskozás	—	—	150
„A képlékenységtan alkalmazása az építőmérnöki gyakorlatban" című ankét	—	—	150
Összesen:	223	103	1692

Az Osztály által 1966-ban rendezett tudományos tanácskozások értékelése

Az 1966-ban rendezett tudományos tanácskozásaink közül legnagyobb a *III. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium* volt, amelyen — a 233 hazai résztvevőn kívül — összesen 19 ország 144 képviselője vett részt. A kollokvium a mikrohullámú hírközléssel kapcsolatos kérdéseket tárgyalta. Programjában részletesen a hírközlés és rendszerelmélet, a hálózatelmélet, az elektromágneses térelmélet, a mikrohullámú áramkörök, mikrohullámú elektronika, mikrohullámú mérések és műszerek szerepeltek. A tanácskozás lehetőséget adott az alapkutatásokkal és a közvetlen gyakorlati tervezéssel foglalkozó szakemberek tapasztalatcseréjére. Ez a tény meggyorsítja az új tudományos eredmények gyakorlati alkalmazását.

„*A szivárgás és kúthidraulika kérdései*" szimpóziumon ugyancsak az elméleti és gyakorlati kérdések szoros kapcsolata nyert hangsúlyozást. Tudományos szempontból a szimpózium témaköre a következő 4 csoportra oszlott; a szivárgás dinamikai vizsgálata; a szivárgás kinematikai vizsgálata; a kutakkal és vízszintsüllyesztő berendezésekkel kapcsolatos vizsgálatok; a műtárgyakkal kapcsolatos vizsgálatok. A kérdések zömmel konkrét problémák voltak.

A III. Automatizálási Kollokvium témakörei az Országos Távlati Tudományos Kutatási Tervben szereplő főtémák köré csoportosultak. Ilyen módon a figyelem néhány alapvető és a kutatásban döntő súllyal szereplő területre irányult. Jó alkalmat jelentett a tanácskozás arra, hogy automatizálással foglalkozó és az ez iránt érdeklődő szakemberek széles köre megismerkedhetett az elmúlt 2—3 év hazai tudományos eredményeivel. Ez a tanácskozás egyúttal megfelelő tudományos propagandát és színvonalas vitafórumot biztosított az automatizálás számára.

„*A szocialista társadalom életformáinak hatása a települések fejlesztésére*" tanácskozásnak a tudományterület fejlesztése szempontjából nagyon komoly jelentősége volt. Összegezte a problémakörben eddig végzett kutatások eredményeit és számos szempontot adott a további munkához. Örvendetes volt, hogy nemcsak a szorosan településtudománnyal foglalkozók, hanem más szakterületek képviselői is hozzászóltak az előadásokhoz.

„*A képlékenységtan alkalmazása az építőmérnök gyakorlatban*" ankét célja a képlékenységtan elméletének áttekintése és alkalmazási feltételeinek kritikai ismertetése volt. Nagy jelentősége volt annak a hangsúlyozása, hogy a képlékenységtan módszereinek alkalmazása sok esetben nagy mértékben megkönnyíti a tervezést és maga a képlékenységtan magyarázatot nyújt jelenségekre, amelyek a rugalmasságtan feltevései keretében nem voltak kellőképpen magyarázhatók.

Az Osztály által rendezett felolvasó ülések száma és megoszlása tudományterületek szerint

Év	Automatikai és Energetikai Tudományok		Gépészeti és Kohászati Tudományok		Híradástechnikai Tudományok		Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok	
	hazai	külföldi	hazai	külföldi	hazai	külföldi	hazai	külföldi
	tudósok előadásai		tudósok előadásai		tudósok előadásai		tudósok előadásai	
1964	1	5	1	2	—	5	1	5
1965	1	—	—	2	2	—	1	2
1966	—	2	—	2	1	—	1	2
Összesen	2	7	1	6	3	5	3	9

Székfoglaló előadások

1964

LÉVAI ANDRÁS levelző tag: „Konvencionális és atomerőművek összehasonlítása a legnagyobb hőmérséklet mint gazdasági tényező szempontjából".

1965

HELLER LÁSZLÓ akadémikus: „Új erőműrendszer 1000 MW nagyságrendű egységteljesítményekre".

1966

GILLEMOT LÁSZLÓ akadémikus: „A fémek tulajdonságainak jellemzése a fajlagos alakváltozás munkájával";

CSÁKI FRIGYES levelező tag: „Egy- és többváltozós szabályozási rendszerek statisztikus szintézisének módszerei".

Az 1966. év folyamán rendezett felolvasó ülések és a hazánkba érkezett külföldi tudósok előadásai

IAN N. SNEDDON professzor (Anglia): „A potenciálelmélet kerület-érték feladatai" és „Transzformációs módszerek alkalmazása a rugalmasságtanban";

V. V. BOLOTIN professzor (Szovjetunió): „Széles sávban, térben, időben véletlenszerű erőkkel gerjesztett rugalmas rendszerek rezgése";

V. A. RZSANICIN professzor (Szovjetunió): „Újabb eredmények a talajszilárdításban";

M. A. ROZENBLAT professzor (Szovjetunió): „Mágneses elemek az automatizálásban";

E. WIEDEMANN professzor (Svájc): „A villamosgépek hűtésének jelenlegi állása és jövőbeni kifejlesztése, különös tekintettel a vízhűtésre";

DR. KOZMA LÁSZLÓ levelező tag: „A híradástechnika társadalmi jelentősége";

„Technikatörténeti vitaülés" 7 felkért előadóval és 4 felkért hozzászólóval;

DR. BONTA JÁNOS: „Az építészet és tömeges építés néhány elméleti kérdése".

A közös kutatási témák megoszlása tudományterületek szerint

Tudományterület	1964	1965	1966
Automatikai és Energetikai Tudományok	3	3	5
Gépészeti és Kohászati Tudományok	5	7	6
Híradástechnikai Tudományok	12	12	11
Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok	3	5	4
Összesen:	23	27	26

Automatikai és Energetikai Tudományok

E szakterületen belül az 1966. évben a következő együttműködési témákban vesz részt az Automatizálási Kutató Intézet:

Csehszlovákia

„Automatikus vezérlés" és „A számítástechnika tudományos kérdése". Az együttműködő csehszlovák fél: CSTA Információelméleti és Automatizálási Intézete, SZTA Mechanikai és Automatizálási Intézete.

Mindkét témában eddig csak információcsere folyt. A téma folytatódik a következő évben és a közös munka elmélyítése, konkretizálása várható.

Szovjetunió

Két témában folyik közös munka a Szovjetunió Tudományos Akadémiájával. Az egyik „Automatikus irányítás". Együttműködő szovjet fél: SZUTA Automatizálási és Távmechanikai Intézete. A másik „Az elektronikus számítás technikai alkalmazása gazdasági objektumok irányításánál." Együttműködő szovjet fél: SZUTA Központi Gazdasági, Matematikai Intézete.

A felek egymással a kapcsolatot 1966-ban létesítették.

Lengyelország

„Oktató reaktorok tervezése." Együttműködés még nem alakult ki a Kalorikus Gépészeti Munkaközösség és a Lengyel Atomfizikai Kutató Intézet (SWIERK) között.

Gépészeti és Kohászati Tudományok

Lengyelország

„Axiális és radiális ventillátorokra, szivattyúkra és hidrodinamikus tengelykapcsolókra vonatkozó áramlástani kutatások." Együttműködő felek: az Áramlástechnikai Munkaközösség és az LTA Áramlástani Gépek Intézete.

Mindkét oldalon folynak a mérések és az eredményeket közösen publikálják az Acta Technica vagy egy lengyel szaklap hasábjain.

„A fémek plasztikus feldolgozási technológiájának elmélete és kísérletei." Együttműködő felek: a Kohászati Munkaközösség és az LTA Műszaki Alaptudományok Kutató Intézete.

A kísérleti eredmények kölcsönös cseréjét biztosítják.

Románia

„Szivattyúk és vízturbinák kutatása." Együttműködő felek: az Áramlástechnikai Munkaközösség és az RNK Műszaki Kutatási Központ, Timisoara.

„Fémek mechanikai sajátosságainak tanulmányozása" és „Fémek fáradásának vizsgálata." Együttműködő felek: a Mechanikai Technológiai Intézet és az RNK Műszaki Kutatási Központ, Timisoara.

Az utóbbi két témában több éve folynak kölcsönösen kísérletek.

Szovjetunió

„Nem rugalmas közegek dinamikája." Együttműködő felek: a Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc és a SZUTA Mechanikai Problémák Intézete.

„Áramlástani kutatások." (A kavitációs erózió mérethatásának kutatása.) Együttműködő felek: az Áramlástechnikai Munkaközösség és a SZUTA Mechanikai Problémák Intézete.

Évek óta folyó, igen eredményes együttműködés, amelyből mind a szovjet szaklapok, mind az Acta Technica hasábjain számos tanulmányt publikáltak.

Híradástechnikai Tudományok

Bulgária

„Rekombinációs jelenségek a félvezetőkben." „Félvezetők reális felülete" és „Nemegyensúlyi folyamatok a félvezetők felületén és transzportjelenségek". Együttműködő felek: a Műszaki Fizikai Kutató Intézet és a BTA Fizikai Intézete.

Évekig e három téma kétoldalú téma volt, most a többoldalú együttműködés keretében folyik tovább.

Csehszlovákia

„Széles tiltottsávú A^{III} és B^{V} kristályok, valamint az A^{II} és B^{VI} kristályok lumineszcens tulajdonságaira vonatkozó kutatások." Közös kísérletek folytak és az 1966-ban megrendezett Lumineszcencia konferencián az eredményeket kölcsönösen kicserélték a hazánkban tartózkodó külföldi partnerrel.

„Hálózatszintézis." Együttműködő felek: Vezetékes Híradástechnikai Tanszék és a CSTA Rádióelektronikai Intézete.

A partnerintézettől látogatást tettek a tanszéken, úgyszintén a tanszék egyik munkatársa 14 napot tartózkodott Prágában és megismerkedett a partnerintézet szervezetével, munkamódszerével és új ismeretekre tett szert a gépi módszerek gyakorlati alkalmazásában.

Lengyelország

„Félvezető egykristályok szerkezeti tulajdonságainak vizsgálata" és „Félvezető rétegek vizsgálata". Mindkét témában együttműködő felek: a Műszaki Fizikai Kutató Intézet és a LTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete.

A partnerek az eredmények megbeszélésére találkoztak és a látogatások alapján közös kísérleti munkák végzését és közös publikációk kiadását határozták el.

Románia

„Félvezetők komplex tanulmányozása." Együttműködő felek: a Műszaki Fizikai Kutató Intézet és az RNK Fizikai Intézete.

1966. folyamán egy magyar kutató tartózkodott 2 hetes tanulmányúton a román félnél és eredményeiről részletesen beszámolt. A román féllel együtt 1967. évben tartandó konferencián számolnak be a Vékonyréteg Kollokviumon.

Szovjetunió

„Elektronoptika." Együttműködő felek: a Híradástechnikai Munkaközösség és a SZUTA Műszaki Fizikai Kutató Intézete.

„Lumineszcencia." Együttműködő felek: a Műszaki Fizikai Kutató Intézet és a SZUTA Fizikai Intézete.

1966-ban három irányban folytak a közös munkák: a kisfeszültségnél fellépő elektrolumineszcens fényhullámok tanulmányozása; különböző alapanyagokkal és különböző módszerekkel készült ZnS egykristályok morfológiájának tanulmányozása; a ZnS-ban levő második fázis hatása annak elektrolumineszcenciájára. Az első és a harmadik pontokban a témák 1966 folyamán eredményesen lezárultak. Továbbfolytatás csak a harmadik pontnál kívánatos.

„Információelmélet és alkalmazásai." Együttműködő felek: a Vezetékes Híradástechnikai tanszék és a SZUTA Információközlési Problémák Intézete.

A szovjet fél kiküldötte 1966. évi látogatása során megismerkedett a tanszék munkájával és a tudományos közlemények cseréje megtörtént.

Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok

Bulgária

„Az öntözési rendszerek hatékonysági koefficiensének megjavítását célzó intézkedések." Együttműködő felek: az I. Vízépítési Tanszék és a BTA Vízügyi Kutató Intézete.

Az eddig végzett munkák összesítése folyik és közös publikáció előkészítése van folyamatban.

Csehszlovákia

„Az altalaj teherbíróképessége és deformációja." Együttműködő felek: az Építéstudományi Munkaközösség és a CSTA Kísérleti és Alkalmazott Mechanikai Intézete.

Az 1965. évi kísérleteket tartalmazó jelentést átadták a csehszlovák fél kiküldöttjének.

Lengyelország

„Plasztikusan képlékeny deformációk az építési szerkezetekben." Együttműködő felek: az Építéstudományi Munkaközösség és az LTA Műszaki Alaptudományok Kutató Intézete.

A magyar fél kutatási eredményeit megküldte a lengyel félnek. Együttműködés még nem jött létre.

„Cölöpteherbírási problémák kutatása." Együttműködő felek: az Építéstudományi Munkaközösség és az LTA Vízépítési Kutató Intézete.

Mindkét fél kölcsönösen tudományos dolgozatokat küldött egymásnak a kutatások tanulmányozására. A lengyel fél felkérésére a cölöpözési kísérletekről tanulmány készül egy lengyel lap számára.

Könyvkiadás

Az Osztály által az elmúlt 3 évben kiadott művek tudományterületenkénti megoszlása

Szakterület	Osztály-keretből	Kiadói keretből	Összesen
Automatikai és Energetikai Tudományok	6	2	8
Gépészeti és Kohászati Tudományok	6	1	7
Híradástechnikai Tudományok	—	1	1
Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok	9	13	22
Egyéb (Műszaki tudománytörténet)	2	—	2
Összesen:	23	17	40

Az Osztály gondozásában 1966-ban megjelent művek

Csáki Frigyes: Szabályozások dinamikája	51,0 ív
Entz Géza szerkesztésében: Magyar műemlékvédelem 1961—1962	43,0 ív
Major Máté: Pier Luigi Nervi (Architektura sorozat)	7,7 ív
Mihailich-Haviár: A vasbetonépítés kezdete és első építményei Magyarországon	26,3 ív
Perczel—Gerle: Regionális tervezés	39,7 ív
Rados Kornél: Ipartelepek építészete, III	64,3 ív
Széchy Károly: The Art of Tunneling	74,5 ív
Knapp Oszkár: Die Glasfasern	18,0 ív
Összesen:	324,5 ív

Folyóiratkiadás

Az Osztály folyóiratkiadási tevékenysége az elmúlt 3 évben

	A megjelent		
	kötetek száma	tanulmányok száma	ív keret
Acta Technica	11,0	310	330
Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei	5,5	165	159
Építés és Közlekedéstudományi Közlemények	5,0	92	115,5
Összesen:	21,5	567	604,5

Acta Technica

Év	Kötet	Tanulmány	Ív terjedelem
1964-ben	5	136	150
1965-ben	3	91	90
1966-ban	3	83	90
Összesen:	11	310	330

A megjelent tanulmányok tudományterületenkénti megoszlása

Tudományterület	1964	1965	1966	Összesen
Automatikai és Energetikai Tudományok	23	12	10	45
Gépészeti és Kohászati Tudományok	18	16	41	75
Híradástechnikai Tudományok	7	6	7	20
Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok	30	17	25	72
Egyéb tudományok (geo-tudományok)	58	40	—	98
Összesen:	136	91	83	310

A tanulmányok megoszlása nyelvek szerint

Nyelv	1964	1965	1966	Összesen
Angol nyelven	66	42	44	152
Német nyelven	62	44	30	136
Francia nyelven	3	2	4	9
Orosz nyelven	5	3	5	13
Összesen:	136	91	83	310

A tanulmányok megoszlása a szerzők tudományos fokozata szerint

Tudományos fokozat	1964	1965	1966	Összesen
Akadémikus	6	10	—	16
Levelező tag	8	11	2	21
Műszaki tudományok doktora	30	8	12	50
Műszaki tudományok kandidátusa	37	12	23	72
Külföldi szerzők	15	32	20	67
Fokozat nélküli szerzők	40	18	26	84
Összesen:	136	91	83	310

Acta Technica
(1966)

	A megjelent tanulmányok	
	száma	ív terjedelme
53/1—2 füzet Gépészet-Kohászat	15	30
3—4 füzet Általános mérnöki	12	
54/1—2 füzet Gépészet-Kohászat	13	
3—4 füzet Energetika, automatika, híradástechnika	17	30
55/1—2 füzet Általános mérnöki	13	30
3—4 füzet Gépészet-Kohászat	13	
Összesen: 3 kötet 6 füzet	83	90

A megjelent tanulmányok megoszlása tudományterületek szerint

Tudományterület	Tanulmány
Automatikai és Energetikai Tudományok	10
Gépészeti és Kohászati Tudományok	41
Híradástechnikai Tudományok	7
Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok	25
Összesen:	83

A megjelent tanulmányok megoszlása nyelvek szerint

Nyelv	A tanulmányok száma
Angol nyelven	44
Német nyelven	30
Francia nyelven	4
Orosz nyelven	5
Összesen:	83

A megjelent tanulmányok megoszlása a szerzők tudományos fokozata szerint

Tudományos fokozat	A tanulmányok száma
Akadémikus	—
Levelező tag	2
Műszaki tudományok doktora	12
Műszaki tudományok kandidátusa	23
Fokozat nélküli	26
Külföldi	20
Összesen:	83

Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei

Év	Kötet	Füzet	Tanulmány	Ív
1964	2,0	4	60	60
1965	2,5	5	65	70
1966	1,0	2	40	30
Összesen:	5,5	11	165	160

Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények

Év	A megjelent		
	kötetek száma	tanulmányok száma	ívterjedelme
1964	1	19	40
1965	2	30	35,5
1966	2	43	40
Összesen:	5	92	115,5

HOZZÁSZÓLÁSOK

AZ OSZTÁLYTITKÁRI BESZÁMOLÓHOZ

GRUBER JÓZSEF

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

A Gépészeti Bizottság néhány, az elmúlt időszakban szerzett olyan tapasztalatáról számol be, amelyek nem csupán a gépészeti bizottságra, hanem általánosságban is jellemzők. A Bizottság ülésein már második éve, hogy az adminisztratív és szervezési jellegű kérdések tárgyalása mellett vitaülések formájában egy-egy tudományos kérdést — rendszerint egy kutatási témának bizonyos időszakra eső fejlődését vagy egy kutatási munka lezárását jelző zárójelentést — is megvitat. Ezek az ülések eddig úgy zajlottak le, hogy az előadó ismertette a kitűzött témát, az előre felkért referensek hozzáfűzték megjegyzéseiket, majd sor került a vitára.

A vitaülések bevezetése a Bizottság működésében nyilvánvaló javulást hozott létre. Aktívabbá lettek az ülések. A vitaülések eddigi formája azonban még tovább javítható. Az aktivitás fokozásának a jelenlegi konstrukcióban legfőbb akadálya az, hogy a Gépészeti Bizottság szakterülete igen széles. A vítaülésen ugyanis a bizottsági tagoknak az a része, amelynek az ismertetett téma szűkebb szakterületétől távol esik, szükségképpen passzív marad. Ez gátolja az aktív vita kialakulását, mert a tagok egy részét feszélyezi az a körülmény, hogy a kérdések vagy hozzászólások a bizottsági tagok egy részénél nem találnak érdeklődésre. Ezért kell örömmel üdvözölni a bizottságok tudományáganként való differenciálódását, mert az így létrejövő új bizottságok már csupán egy-egy szűkebb szakterületen munkálkodó tagokat fognak magukban foglalni, ami várhatóan azt eredményezi, hogy a vitaülések a jövőben lényegesen élénkebbek lesznek.

Az új szervezés más szempontból is szerencsésnek mondható. Mód nyílik majd ugyanis számos fiatal kutató bekapcsolására, akiknek a munkáját az új szervezés aktivizálhatja. Összefoglalva tehát megállapítható, hogy a tudományáganként új szervezés minden szempontból kedvezőnek ígérkezik.

VÁMOS TIBOR

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

A főtitkári beszámoló megemlítette, hogy feladatunk a kutatásokat közelebb hozni a gyakorlati hasznosításhoz. Ez a feladat a műszaki tudományok területén más, konkrétabb formában vetődik fel, mint a többi tudomány területén.

A műszaki tudományok lényegükben véve a természettudományok és más tudományok felől nézve applikációs tudománynak tűnnek, hiszen a matematika, a fizika, a kémia és a közgazdaságtan eredményeit használják fel.

Önálló tudománnyá azzal válnak, hogy a technológiával való kapcsolatba lépés során szintézisbe hozzák ezeknek a tudományoknak az eredményeit. Ennek révén az automatika területén a tudományos kutatás konkrét célkitűzései is másképpen vetődnek fel, és azok a problémák, amelyeket a főtitkári beszámoló a tudomány belső törvényszerűségeinek kutatásaként vetett fel, a többi tudomány területén önállóbb formában jelentkeznek. Így például esetünkben az automatika területén a számológépes tervezési feladatok megoldása veti fel azokat az elvi, általános összefüggésű kérdéseket, amelyek a legmélyebb, általános elvi kutatási problémákhoz vezetnek.

Ezért hasznos az a meghatározás, ami itt az osztálytitkári beszámolóban is szerepelt, miszerint úgy nézzük a dolgokat, hogy hasznosítható eredmények szülessenek. Figyelembe véve azt a korlátozó körülményt is, hogy a műszaki tudományok területén világméretű szinten úttörőt alkotni a mi hazánkban sokszor lehetetlen célkitűzés, azért az alapkutatóknak is sokszor újra meg kell küzdeniök azokkal a problémákkal, amelyek máshol, a leghaladottabb szinten vetődtek fel és részben megoldódtak, de számunkra vagy hozzáférhetetlenek, vagy a továbblépéshez újra feldolgozandók.

Az elmondottakhoz csatlakozik az a kérdéskomplexum is, hogyan lehet a szakember-nevelés és a tudományos minősítés területén az eredmények gyakorlati hasznosítása irányában előrehaladni.

A Műszaki Tudományok Osztályának beszámolója szerint a VI. Osztályhoz tartozó tudományterületeken 380 kandidátus van; az I. Osztályon ez a létszám 207, tehát körülbelül kétharmada. A Műszaki Tudományok Osztályának az Akadémia állományában 592 kutatója van, az I. Osztálynál ez a létszám 148; az akadémiai állományon kívüli kutatóintézeti kutatóállomány pedig ennél az 592-nél egy nagyságrenddel nagyobb. Ez mutatja azt, hogy a VI. Osztálynál a minősítettek aránya a többi osztály kutatóihoz képest sokkal kisebb. Vajon ez azt jelentené, hogy a műszaki tudományok területén a tudományos szakemberek gyengébb színvonalúak lennének?

Tudományos minősítési rendszerünket olyan irányban is javítani kellene, hogy az azoknak a céloknak az irányába hasson, amelyek jobban szolgálják a konkrét kutatást. Ebben az irányban az elnökség helyes határozatot hozott a kollektív eredmények minősítéséről. Ennél a határozatnál megfontoltan tovább kellene lépni, például olyan irányban, hogy egy színvonalas és úttörő műszaki produktumot hogyan lehet tudományos minősítéssel is honorálni. Ez nyilvánvalóan nagy óvatosságot és gondos vizsgálatot igényel, mert az ilyen kezdeményezésekkel vissza lehet élni, és jogos a TMB aggálya, hogy az ilyen fellazítási lépések a minősítés színvonalát rontják.

Az itt felmerült problémákkal kapcsolatban szólni kell az Akadémia és az OMFB kapcsolatáról is. Az OMFB, mint nyilvánvalóan látható, fokozottabb szerepet kap az új gazdaságirányítási rendszerben a műszaki fejlesztés területén. Ez azonban nem jelenti azt, hogy az Akadémia szerepe csökkenne. Részvételünk az új feladatok megoldásában attól függ az új gazdaságirányítási mechanizmus sikerre vitelében és az új kutatás-irányítási rendszer sikerében, hogy aktív kapcsolatba lépünk-e ezekkel a konkrét kezdeményezésekkel. Ezért célszerű feladat lenne, ha az Akadémia és az OMFB kidolgozná aktív, élő kapcsolatainak módszereit.

E tekintetben valamennyi feltétel adva van, és a tapasztalatok szerint az OMFB várja azokat a kezdeményezéseket, amelyeknek az a célja, hogy az Akadémia vegyen részt a mindenképpen országos összefogást igénylő fela-

datokban. Az Automatizálási Kutató Intézet felépítésénél ez az aktív kapcsolat mind az Akadémia, mind az OMFB szempontjából — visszatekintve az elmúlt három évre — indokolt és sikeres volt.

A Műszaki Tudományok Osztályának további megerősödése és az Akadémián belüli helyzetének erősítése szempontjából fontos kérdés az, hogy miként tudjuk a jövőben ezeket az aktív kapcsolatokat tovább mélyíteni és erősíteni.

TARNÓCZY TAMÁS
A FIZIKAI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

Ha az Osztályhoz tartozó kutatóhelyek elmúlt három évi publikációs tevékenységének adatait összevetjük a kutatóhelyek létszámával, érdekes adatokhoz juthatunk egy-egy témakör vagy tudományág produktivitását illetően. A Híradástechnikai Munkaközösség a rendelkezésre álló adatok szerint ebből a szempontból jelentős helyen áll. 1967-ben a közösség kutatói létszáma 7 fő volt; e kutatók az elmúlt három évben tíz könyvet írtak és 72 tudományos publikációt jelentettek meg. Bizonyos véletlen koincidenciákat figyelembe véve is azt kell mondanunk, hogy ilyen termelékenységi arányt más munkaterületeken nehezen találhatunk. Ez a számadat utal e tudományszak fontosságára.

A híradástechnikán belül olyan önálló tudományos szakterület működik, amely mind a fontossága, mind pedig az elért eredmények ellenére nem kapott eddig jelentőségének megfelelő helyet a magyar műszaki tudományok területén. Ez a tudományszak az *akusztika*. Műszaki és gazdasági jelentősége természetesen nem vethető össze sem a félvezető-kutatás, sem más hasonló, iparilag nagyjelentőségű, bár tematikailag sokkal szűkebb területű tudományszakokkal. Jelentősége azonban mégis sokkal nagyobb annál a helynél, mint amelyet pillanatnyilag támogatás szempontjából a magyar tudományos munkaterületek között elfoglal. Ennek ellenére a Híradástechnikai Munkaközösségen belül az akusztikára eső két tudományos kutató munkássági adatai nem maradnak el az egész szakterületre kimutatott átlagértéktől, ami szinte kötelességünkké teszi, hogy a tudományos szakterület helyzetével külön is foglalkozzunk.

Az ipari fejlődés rohamos haladása háromféle világméretű, az emberiség jövőjét veszélyeztető problémát rejt magában. Ezek a problémák sokkal általánosabbak, mint a termelés vagy az ipari fejlesztés egyes részletkérdései. Ez a három világméretű probléma, ami minden ipari részletkérdésen túlmenően, nem is nagyon távlati jelleggel a világ minden fejlett ipari államát foglalkoztatja: a levegő szennyezése, az ivóvíz szennyezése és a mindenütt jelenlevő zaj.

Ezek közül talán nem a legsúlyosabb, de feltétlenül a legalattomosabb veszedelmet a zaj jelenti. Felmérések állnak rendelkezésünkre arról, hogy a halálozási statisztika első helyén álló szív- és érmegbetegedések túlnyomó többségét az állandó zajterhelésre lehet visszavezetni. A zaj halláskárosodást okoz, súlyosan terheli, sőt rongálja az idegeket és közvetett oka az előbb említett betegségeknek. Az, hogy az emberiség tíz százaléka zaj-okozta halláskárosodásban szenved, nem fejezi ki hűen a viszonyokat. Hozzá kell tennünk, hogy ma körülbelül minden negyedik-ötödik ember halála visszavezethető a zaj közvetett hatására.

Így ismerve a dolgokat, valóban katasztrofális általános ipari problémával állunk szemben, amelynek jelentősége messze felülmúlja az ipari fejlesztés

minden részletkérdését, akár emberi, akár társadalmi, akár termelési szempontból. A zajproblémának összes részterületével együtt a tudományos alapkutatási területe az akusztika.

Nem helyes az a szemlélet, hogy a zaj elleni küzdelem csak mérőműszerekből, méréstechnikából és védekezésből áll, hanem a hallásmechanizmus kutatásától kezdve felöleli a beszédközlés vizsgálatán, a fizikai akusztika minden területén, a teremakusztikai jelenségeken és a hangsugárzás problémáin keresztül az elektroakusztikai és műszertechnikai feladatokig a teljes óriási kutatási területet. Elegendő arra utalnunk, hogy kizárólag a hallás mechanizmusának tudományos vizsgálatával világszerte legalább negyven tudományos kutatóintézet foglalkozik, évente mintegy ezer tudományos cikk jelenik meg és a téma már Nobel-díjat is kiérdemelt. Hasonló jelentőségű kutatási munka folyik az összes többi említett részterületen, sőt továbbiakon is, amelyeket itt nem említettünk.

A hazai akusztikai kutatás eredményeinek nemzetközi összejöveteleken elért tekintélye igen nagy. Ennek egyik megnyilvánulása, hogy az 1971. évi *VII. Nemzetközi Akusztikai Kongresszus* megrendezésére Magyarországot kérték fel. Az Akadémia a kongresszus rendezését magára vállalta. Ez azonban azt jelenti, hogy akkor 1500 külföldi akusztikus fog érdeklődni a magyar akusztikai alapkutatás intézményének megtekintése iránt.

Majdnem elképzelhetetlen, hogy ilyen körülmények között a Magyar Tudományos Akadémia összesen két fő tudományos kutató munkásságával járuljon hozzá a szakterületen világszerte folyó tudományos erőfeszítésekhez. Reméljük, hogy a zajjal kapcsolatos probléma felvázolása, valamint az eddig elért hazai tudományos eredmények segítséget fognak nyújtani ahhoz, hogy a Magyar Tudományos Akadémia és ezen belül a Műszaki Tudományok Osztálya, sőt esetleg a Matematikai és Fizikai Tudományok Osztálya is nagyobb figyelmet szenteljen az akusztikai kutatások fejlesztésének.

GILLEMOT LÁSZLÓ
AKADÉMIKUS

A műszaki tudományok, ezen belül pedig az Akadémia gondjaira bízott műszaki alaptudományok helyzetét és tennivalóit analizálva, induljunk ki néhány számadatból. Többé-kevésbé hivatalos statisztikák szerint a világon alkalmazott kutatók száma körülbelül úgy oszlik meg, hogy azok 77 százaléka a Szovjetunió, Anglia és az Amerikai Egyesült Államok alkalmazásában áll. Azon, hogy a statisztikában egy-két százalék tévedés esetleg előfordul, lehet vitázni, de az kétségtelen, hogy a világban alkalmazott összes kutatóknak több mint háromnegyed része az angol és orosz nyelvterületen tevékenykedik. Természetesen lehet olyan ellenvetést tenni, hogy a kutatás fejlettsége nem mindig arányos a kutatók számával, de azért a nagy számok törvénye szerint mégis bázisadatként ki lehet ebből indulni.

Ha ezek után elképzeljük, hogy a világ összes többi országára, amelyek közé pl. Németország, Franciaország, Olaszország stb. is tartozik, a tudományos kapacitás 23 százaléka esik, akkor nem túlzott az az állítás, hogy Magyarország ezen belül mindössze egy százalékot tesz ki. Ebből arra a következtetésre juthatunk, hogy a magyar tudományos élet egyik alapvető feladata a villám-

gyors információszerzés a külföldi tudományos eredményekről, továbbá ezeknek az információknak lehetőleg gyors feldolgozása és realizálása.

A műszaki tudományok körén belül az Akadémiának elsősorban a műszaki alaptudományok művelése lehet a feladata. Egy olyan méretű ipart, mint aminő ma már Magyarországon kifejlődött, az Akadémia szellemileg nem irányíthat, de ez nem is szükséges. Ezzel szemben teremteni kellene olyan alaptudományi bázist, amely a külföldi szakirodalom információján túlmenően lehetőséget adna az ipar rendkívül gyors fejlesztésére. KISS ÁRPÁD, az OMFB elnöke szögezte le egyszer, hogy általában a termékek fejlesztése azokon a területeken rendkívül gyors, ahol az alaptudományok is rendkívüli mértékben fejlődnek.

Nem analizálva részleteiben e megállapítást, leszögezhetjük, hogy ha a külföldről kapott információkon túl akarjuk a magyar ipart fejleszteni, akkor azt az alaptudományt kell művelni, amely meghatározott célokat szolgál. A műszaki alaptudomány — nem diszkutálva most ennek a megállapításnak a helyességét — egy dologban mégis különbözik a többi alaptudománytól. Ez utóbbiak ugyanis *csak* a természet törvényeinek megismerésére irányulnak, a műszaki alaptudomány viszont a természet törvényeinek megismerésére irányul, de *gyakorlati cél érdekében*. Ennek folytán a műszaki területen ritkán van jogosultsága a pusztán önmagáért művelt tudománynak. Az Akadémiának — feladatát helyesen fogva fel — arra kell törekednie, hogy az alaptudományi célkitűzés a közeli vagy távolabbi jövőben valóban az ipari célkitűzéseket szolgálja.

Ez korántsem jelenti azt, hogy az ipar diktálja alaptudományi célkitűzéscinket, hanem pontosan fordítva: olyan célokat tűzünk magunk elé, amelyek segítségével az ipar szellemi vezetését át tudja venni a Magyar Tudományos Akadémia. Nézzük meg, hogy ehhez milyen eszközök állnak rendelkezésre. Az egyik tényező a meglevő kutatóhelyek és a kutatók; a másik ilyen tényező lehet az Akadémia bizottsági rendszere; a harmadik tényező lehet a szaksajtó; a negyedik pedig — meglepő módon — a műszaki közvélemény.

Ha ezt a kérdést analizáljuk, úgy megállapíthatjuk, hogy az Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya e pillanatban két intézettel rendelkezik és egy harmadiknak a megalapítását tervezi. Ha ennek a három intézménynek az összlétszámát vesszük alapul, akkor derül ki, hogy az alaptudományi kutatás súlypontját még mindig a műegyetemek képezik, vagy legalábbis a három műszaki intézmény mellett rendkívül nagy súllyal kell az egyetemek létezését és munkáját számításba venni.

Nyers számokban beszélve és pillanatnyilag figyelmen kívül hagyva a Veszprémi Vegyipari Egyetemet, amely csak kis részben foglalkozik műszaki tudománnyal, a két budapesti, vagy pontosabban a közeljövőben már a Budapesti Műszaki Egyetemet és a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemet tekintve, valamint figyelembe véve a Veszprémi Vegyipari Egyetemnek azt a részét, amely műszaki tudományokkal foglalkozik, körülbelül kétezer egyetemi végzettségű alkalmazottal rendelkezünk.

A meglevő két, valamint az alapítandó harmadik alaptudományi intézet mellett a jövőben döntő súllyal kellene figyelembe vennünk azt a kapacitást, amelyet az egyetemi személyzet képvisel, és amely — rendkívül egyszerűen és röviden fogalmazva — elmarad attól a teljesítménytől, amit az egyetemi kutatóktól várni lehetne. Rendkívül érdekes, hogy egy átlag egyetemi évet

véve alapul, aránylag kevés szervezett kutatómunka folyik az egyetemeken, és ha folyik is, akkor inkább egyes emberek kísérletsorozatairól beszélhetünk. E kutatások értékétől függetlenül nagyon kevés helyen alakult ki valamiféle tudományos iskola. Ennek ellenére a kikerülő publikációk száma meglehetősen nagy.

Az akadémiai tudományos bizottságok kérdését illetően a szervezés tekintetében tökéletesen egyet kell érteni BOGNÁR GÉZA osztálytitkárral abban, hogy bizottságainkat át kell alakítani az alaptudományoknak megfelelően, intenzív szellemi élet biztosítása érdekében, de ugyanezzel a bizottsági hálózattal kellene megvizsgáltatni nemcsak a témák helyességét vagy helytelenségét, hanem célkitűzésüknek és irányuknak a helyességét is. Az a körülmény, hogy egy-egy kutató kisebb résztémát dolgoz-e fel vagy sem, nem túlságosan lényeges, de általánosan meg kell vizsgálni, hogy helyesen van-e *súlyozva* az alaptudományok kapacitása, helyes *irányban* folynak-e ezek az alaptudományi kutatások, és egyeznek-e az ország későbbi *ipari célkitűzéseivel*. Sőt, fel lehet vetni olyan merész kérdést is, hogy *korszerűen* folynak-e ezek a kutatások.

Éppen ezért az újonnan megalakítandó bizottságokat meg kellene szabadítanunk mindennemű adminisztratív tevékenységtől és tisztán tudományos vitafórummá kellene tenni azokat. A tudományos viták hatására a fiatalság is könnyebben találja meg a helyes irányt, mintha mechanikusan a téma-jóváhagyás irányában dolgoznak.

Egy további kérdés a közvélemény kérdése. Azt, hogy tudományos kutatásunk korszerű legyen minden téren, a közvéleményen keresztül kell elérnünk és e tekintetben retrográdnak tekinthető, bármilyen nagyszámú publikációt ír is valaki, ha annak megírásában elavult tudományos iskolát követett. Éppen ezért a bizottságok feladatává kellene tenni például időnként a magyar szaksajtó és könyvkiadás ügyének megvitatását. Sajnálatos, hogy nagyon sok olyan cikk jelenik meg a magyar sajtóban igen jóhiszeműen, amely elavult irányzat rögzítésére törekszik anélkül, hogy ez ellen az Akadémia felemelte volna szavát.

Mindezeket összefoglalva a fő tennivalók a következőkben fogalmazhatók meg: Célszerű átszervezni bizottsági hálózatunkat; a szigorúan tudományos szerveknek feladatukká kell tenni azokat a tudományos vitákat, amelyek révén kialakul az a helyes kutatási irány, amely képes aktivizálni a fiatalságot a tudományos munkában való részvételre; feltárandók azok az intézkedések és azok a tennivalók, amelyekkel a műszaki egyetemeket erőteljesebben be lehet kapcsolni a tudományos kutatómunkába; az első megtett lépések után, amelyeket osztálytitkárunk már kezdeményezett, és amelyek eredményesek voltak, szorosabbra kell fűznünk a kooperációt az ipari kutatóintézetekkel is; bizottságainknak figyelemmel kellene kísérniük a szaksajtót és a könyvkiadást, sőt néha nem volna szabad visszariadniok a már megjelent publikációk bírálatától sem, mégpedig elriasztó, vagy esetleg dicsérő, példaadó jelleggel. Ezekkel az eszközökkel és a szaksajtóval lehetne megteremteni az Akadémia körül csoportosuló tudományos közvéleményt, és csak egy ilyen közvélemény van hivatva kialakítani a tudományos fejlődés irányát, nem pedig az ipari részről pillanatnyilag megrendelt apró feladatok megoldása.

SZIGETI GYÖRGY
AKADÉMIKUS

Teljes mértékben egyetértek az akadémiai bizottságoknak tudományágak szerinti átszervezésével és nagyon megfontolandónak tartom GILLEMOT professzor konkrét javaslatát is. Előre meg kell jelölnünk, hogy a bizottságok tennivalói a jövőben milyen módon alakuljanak. Ezt természetesen részletesebben ki kell majd dolgozni. Az ilyen irányú fejlődés nagyon célszerűnek és hasznosnak látszik.

A kutatóintézeteink munkájával kapcsolatban is csatlakoznom kell ahhoz, amit GILLEMOT professzor mondott: vagyis, hogy főfeladat gyanánt az alapkutatást kell művelni és nem egyes részletkérdések megoldásával foglalkozni. Ha kutatóintézeteink egy-egy önálló tudományág területén dolgoznak — az Osztály keretében ez idő szerint csak két kutatóintézet működik — akkor fel kell mérnünk, hogy e területeken milyen irányban halad a tudomány és milyen fejlődés megy végbe a világban. Az ilyen irányú kezdeményezés helyes és nagyon fontos. Rendszeres megbeszélések folynak abban az irányban, hogy a kutatóintézetek tájékoztassák erről az ipar vezetőit, jelöljék meg az ipar teendőit.

Nyilvánvaló, hogy hazai viszonylatban minden területen alapkutatást folytatni nem lehet. Ki kell azonban választani egy-egy olyan témát, ahol várható, hogy a rendelkezésre álló kapacitás kihasználásával a kutatóintézet előre tudja vinni az ipari termelést. Ilyen területen alapkutatást kell végezni, és ennek az alapkutatásnak az eredményeit az ipari kutatóintézeten keresztül át kell adni a gyakorlat számára. A célkitűzést tehát mindkét félnek közösen kell megválasztania: az iparvállalat vegye figyelembe azt, amit a kutatóintézet kidolgoz, a kutatóintézet pedig vegye figyelembe azt, hogy mire van szüksége az iparnak. Nem annyira a feladatok konkrét, részletes felsorolásáról, hanem inkább arról van szó, hogy összhangba kell hozni a kutatóintézetek célkitűzéseit az iparral. Az ilyen irányú együttműködés rendkívül hasznos lenne mindkét fél számára.

Az egyetemi kutatással kapcsolatban érdekes az a számadat, amit GILLEMOT professzor mondott, vagyis hogy körülbelül kétezer tudományos dolgozó áll műszaki vonatkozásban az egyetemek szolgálatában. Ezzel szemben a Műszaki Tudományok Osztályának jelenlegi intézeteiben nagyságrendileg 100, vagy az új intézetet is figyelembe véve körülbelül 200-250 kutatóra lehet számítani.

Összefoglalva az elmondottakat, a kutatóintézet a saját területén végezzen nagyon intenzív kutatómunkát és tájékoztassa az elért haladásról az ipar vezetőit. Ez más szóval azt jelenti, hogy a két fél közösen egyeztesse célkitűzéseit.

HEVESI GYULA
AKADÉMIKUS

Nagyon érdekes és fontos az a kérdés, amelyet BOGNÁR GÉZA osztálytitkár vetett fel a bizottsági rendszer munkájával kapcsolatban. Ez a kérdés a Műszaki Tudományok Osztályán túlmenően az Akadémia többi osztályát is érintő általános kérdés, hiszen a bizottsági rendszer tulajdonképpen leg-

fontosabb tudományos operatív szerve az Akadémiának, amelyen keresztül kihatással lehet az ország egész tudományos életére, az országban folyó tudományos kutatómunkára, és ilyen módon kiterjesztheti, sőt megerősítheti egy-egy bizottság a befolyását az Akadémián kívül is.

Helyes tehát, hogy BOGNÁR GÉZA ezt a kérdést tette a kibővített osztályülés munkájának központjává, és az is természetes, hogy éppen az akadémiai nagygyűlés idején, mert nyilvánvaló, hogy ebből a vitából tanulságot lehet levonni más osztályok munkája tekintetében is.

Ami a műszaki tudomány sajátos alapkérdését illeti, tehát azt, hogy iparági vagy tudományági legyen-e a bizottságok szervezeti alapja, feltétlenül helyes az a gondolat, hogy tudományos szakterületekre épüljön a bizottságok tagozódása is. Minden iparágnak megvan az a sajátossága, hogy alapvetően egy vagy két tudományos területre kell támaszkodnia és ezt a bizottságok tudományági szervezeténél sem szabad elhanyagolni. Mindenesetre a tudományági bizottság sokkal homogénebb összetételű, mint egy iparági bizottság és kompetensebb egy-egy tudományos terület megfelelő befolyásolására vagy az ott folyó tudományos munka megítélésére.

Ez a homogenitás is azonban erősen viszonylagos. Az egyes tudományágak ugyanis annyira differenciálódtak, és egyre jobban differenciálódnak, hogy csakhamar az ilyen bizottságokban is egy-egy tárgy vagy probléma legfeljebb néhány tényleges szakemberrel lesz képviselve, és a bizottsági tagok többsége csak kisebb illetékességgel tud állást foglalni egy-egy kérdésben. Ez természetesen elkerülhetetlen, viszont elképzelhető, hogy az általános szakterületi bizottságok mellett egy-egy témára nagyobb számú szakbizottságot létesítünk, amelyek munkájába bekapcsolódhatnak a fiatalabb kutatók és az ipari üzemek szakemberei is. Bekapcsolódhatnak azonban más osztályok vezető tudósai is, akik egy adott kérdésben illetékesek. Az ilyen szakbizottság összetétel tekintetében természetesen igen széleskörű volna.

Néhány évvel ezelőtt egy-egy szakterületen igen nagyszámú szakbizottság működött, és akkor az az állásfoglalás alakult ki, hogy ez a felosztódás túlságosan messze megy, ami azzal a veszéllyel fenyegethet, hogy a tudományos munka színvonala elsekélyesedik. Most azonban már egyrészt sokkal világosabban állnak előttünk a fő fejlesztési és kutatási feladatok, tehát ez az elaprózódás nem vezethet oda, hogy a bizottságok jelentéktelen, másodrendű kérdésekkel foglalkozzanak, másrészt az Akadémia ma sokkal magasabb tudományos színvonalat képvisel, mint egy évtizeddel ezelőtt.

A kutatóintézetekben, a tanszékeken és más olyan helyeken, ahol tudományos problémákkal foglalkoznak, viszonylag magasabb színvonalú munkával számolhatunk, és magasabb színvonalú munkát is találhatunk. Ez biztosítja azt, hogy ha a témák és a tudományterületek differenciálódásának megfelelően, valamint tudományos és népgazdasági fontosságuk kellő mérlegelésével választjuk ki azokat a területeket, amelyeket művelni akarunk az Osztály keretén belül, úgy nyugodtan szaporíthatjuk a tematikai szakbizottságok számát a tudományos munka színvonalának veszélyeztetése nélkül, sőt ellenkezőleg, e munka színvonalának emelése mellett és a gyakorlati felhasználáshoz közelebb álló módon.

EISLER JÁNOS,
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Néhány gondolatot kívánok erőteljesebben hangsúlyozni az alapkutatási témák megválasztásával kapcsolatban. Az alapkutatásnak hosszabb távon külön fejlődéstörvényei vannak: külön életet él. Az előttünk álló legközelebbi időszakra azonban célszerű lenne azt a koncessziót tenni, hogy az alapkutatás konkrétan azokra a célokra irányuljon, amelyeket a műszaki fejlesztés előír. Más szóval, helyes lenne, ha az alaptudományokkal foglalkozó osztályok és intézetek azokon a területeken, amelyeken a műszaki tudományokkal összefüggésbe kerülnek, a Műszaki Tudományok Osztályával való megbeszélés alapján jelölnék ki témáikat. Az első három-öt évben feltétlenül ez lenne a célszerű.

Teljesen egyetértek a bizottsági szervezetre vonatkozó osztálytitkári javaslattal, de hangsúlyozom, hogy a bizottságok ne elszigetelve működjenek, hanem tájékozva legyenek egymás munkájáról.

SZABÓ JÁNOS
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Az elvi alapon elképzelt koordinálás helyett konkrét feladatok feldolgozása — mint például a Gépészeti Bizottság és az Építéstudományi Bizottság közös tevékenysége — igen jól biztosítja a bizottságok területén folyó tevékenység összehangolását. Nemcsak azt tárja fel az ilyen közös tevékenység, hogy milyen párhuzamos munkák folynak, hanem arra is rámutat, hogy bizonyos területeken egy-egy bizottság által kevéssé ismert szakemberekből össze lehet hozni olyan közös tevékenységet folytató csoportot, együttes, vagy legalábbis egymás munkáját ismerő kutató gárdát, amellyel meg lehet oldani egyes feladatokat.

Szorosan csatlakozva BOGNÁR GÉZA akadémikus elképzeléséhez, nyomatékosan hangúlyozni kell minden olyan eszköz igénybevételét, amely az egymástól eltérő területeken folyó közös tevékenység lehetőségét aknázza ki. A nemzetközi tevékenységgel kapcsolatos hazai bázis megteremtésében is megvan a lehetőség a koordinációs szellemű együttműködés kidolgozására. Már most tapasztalható, hogy a közös tevékenység sok olyan szakembert hoz közelebb, akik egymás munkájáról nagyon keveset tudtak. A közös tevékenység hazai előkészítéséhez meg kell teremteni a szükséges előfeltételeket. E közös tevékenység szükségességét hangsúlyozva javasolom, hogy az Osztály, illetve a bizottságok a jövőben fokozottabban aknázzák ki azokat a lehetőségeket, amelyeket az egy-egy szakterülethez tartozó, de más-más bizottságban dolgozó szakemberek összehangolt formában értékessé tehető tevékenysége jelent.

SZÉCHY KÁROLY
LEVELEZŐ TAG

Az osztálytitkári beszámolónak két témájához kívánok hozzászólni a Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok Szakcsoportja részéről. Az egyik egy kisebb jelentőségű, bár nem elhanyagolható kérdés a *külföldi*

tanulmányutakkal és kiutazásokkal kapcsolatos. Ezek hatékonysága érdekében javasolom, hogy a jövőben az Akadémia ne elégedjék meg a szokásos és sokszor sablonos útibeszámolóval, amely jellegénél fogva sem tartalmazza azokat a szakmai és tudományos részleteket, illetve eredményeket, emelyek a kiküldetés vagy kiutazás tulajdonképpeni célját képezték. A külföldön látottak és tapasztaltak széles körű itthoni hasznosítása érdekében javasolom, hogy az Akadémia a kiküldetésében külföldre utazókat kötelezze arra, hogy az előírásos útijelentéseken kívül fél éven vagy egy éven belül előadáson vagy közleményben számoljanak be útjuk szakmai és tudományos eredményeiről akár a szakterületileg illetékes MTESZ-egyesületben vagy annak folyóiratában, akár pedig az Akadémia valamelyik folyóiratában. Ennek megtörténtét a megszabott határidőn belül az Osztály tudomására kellene hozni.

A másik, ennél fontosabb kérdés az Osztályhoz tartozó *bizottságok újjászervezésének* nagyjelentőségű ügye. Jelenlegi bizottsági rendszerünkben ugyanis megnyilatkozik az a törekvés, hogy korábban az Akadémia elsősorban az iparnak szándékozott tudományos segítséget nyújtani legfontosabb elméleti problémáinak megoldásában és a műszaki fejlődés irányának kijelölésében. Ez a bizottsági rendszer — felállításának időpontjában, mintegy 15 évvel ezelőtt — vitathatatlanul helyes is volt és az Akadémia akkori feladatkörébe is beleilleszkedett. Azóta azonban az ipari tárcák erősen kifejlesztették saját ipari kutatóbázisukat és az Akadémia feladatköre is elsősorban az alapkutatások irányítására korlátozódott. Indokolt tehát annak felvetése, hogy a bizottsági rendszert felül kell vizsgálni és esetleg a mai követelményeknek megfelelően át kell alakítani.

A Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok Szakcsoportja legutóbbi ülése óta úgy látja, hogy szakterületén a tudományos bizottságok jelenlegi beosztása továbbra is megfelelő és lényegében nem szorul módosításra. Meg lehet jegyezni még azt is, hogy ennek a szakcsoportnak a bizottságai a tudományos vitákat saját szakértő albizottságainak keretén belül bonyolították le négy-öt, kizárólag ezen a területen tevékenykedő szakértő tag jelenlétében. Bizottságainkban tehát már eddig is megvolt az a törekvés, hogy a tudományos vita szakértőbizottságok keretén belül folyjék.

A Szakcsoport úgy látja, hogy a bizottságok munkájának *tartalmát* célszerű módosítani, mégpedig olyan formában, hogy azok alapvetően az alapkutatás jellegű, elméleti, távlati tudományos témákkal foglalkozzanak, és az ipari jellegű témákat legfeljebb csak konzultálás formájában érintsék.

A tudományos bizottság mint testület, természetesen csak témák megvitatására alkalmas, kidolgozására nem. Ez egyének, sőt még inkább kutatóintézetek feladata. Ilyen tekintetben eddig az Akadémia a Szakcsoport területén csak a rendkívül szerényen dotált egyetemi munkaközösségekre és a bizottsági tagok egyéni tudományos munkásságára, továbbá a szakértői albizottságokra támaszkodhatott. A Mechanikai Kutató Intézet felállításával várható csak ezen a területen komoly előrehaladás.

Egyelőre tehát a Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok Szakcsoportja területén a bizottságok felosztását meg kell tartani, munkájuk tartalmát pedig az adott szakterületre kell koncentrálni, és az akadémiai alaptudományi kutatóhelyek esedékes megerősítésével alapvetően módosítani.

KOVÁCS KÁROLY PÁL
LEVELEZŐ TAG

Az új gazdaságirányítási mechanizmus keretében az ipari kutatóintézetek szerződéses viszonyba kerülnek azokkal az intézményekkel, gyárakkal és hivatalokkal, amelyek kutatást várnak a kutatóintézettől. Ezek a szerződések fogják szabályozni a kutatás kereteit. Ebből a szempontból a Magyar Tudományos Akadémiát is olyan szervezetnek tekinthetjük, amelynek meg kell adni a lehetőséget, hogy az ipari kutatóintézetekkel kutatási szerződéseket köthessen.

Ez idő szerint, sajnos, az a helyzet, hogy csak kerülő utakon lehet elérni, hogy a Magyar Tudományos Akadémia alapkutatási jellegű munkákat az ipari kutatóintézetekben finanszírozhasson. Tarthatatlan az az állapot, hogy a magyar tudomány legfőbb fórumának, a Magyar Tudományos Akadémiának olyan kötöttségei legyenek adminisztratív vonalon, amelyekkel képtelen egy kifejezetten ipari alapkutatást valamelyik ipari kutatóintézetben finanszírozni. A megoldás módja az lenne, hogy a Magyar Tudományos Akadémia költségvetése keretében módot kapna arra, hogy szerződést köthessen az ipari kutatóintézettel.

A Magyar Tudományos Akadémia elsősorban az úgynevezett ipari alapkutatásokra akarja koncentrálni erejét. VÁMOS TIBOR rendkívül plasztikusan és világosan definiálta, hogy mit kell érteni műszaki alapkutatáson. Van egy általános ipari vagy tudományos színvonal, amelyet a világszint határoz meg és — minthogy kis ország vagyunk — nagyon kell örülnünk akkor, ha egy tűhegynyit ki tudunk jutni az általános színvonal fölé. Mindig voltak és most is vannak olyan tudományos kutatóink, akik egy-egy szakterületen a világszínvonalhoz képest tudnának valamit nyújtani, de eszközeink és lehetőségeink nem elegendők ehhez. Nagyon helyesnek tartom azt az alapgondolatot, hogy a tudományos kutatónak jól kell ismernie a világszínvonalat, különböző publikációkból vagy folyóiratokból, hogy ha kell, a magyar tudományos műszaki alapkutatás számára reprodukálhassa a világszinten elért eredményeket. Ezzel segíti a hazai technológiát, hogy az ne késsen el túlságosan a világszínvonalhoz képest, és hogy kiküszöbölje azoknak a költséges és valutaigényes berendezéseknek a beszerzését, amelyeknél a szellemi befektetés jóval nagyobb a ráfordított munkamennyiségnél. Ilyen tekintetben az akadémiai kutatóintézetek jó irányban haladnak.

A bizottságok munkájával kapcsolatban egyet kell érteni azzal a felfogással, hogy tudományágak szerint kellene differenciálni a bizottságokat. Ne merevítsük azonban meg ezt a bizottsági rendszert hosszú időre szóló, több éves megbizatásokkal, hanem e bizottságok mindenkor egy-egy éppen aktuális, fontos tudományos kérdéssel foglalkozó szakembereket fogjanak össze. Példaként említem a főtitkári beszámoló által is kiemelt, a villamoshajtásokkal és a villamoshajtások automatizálásával kapcsolatos problémát. Ez ma szét van választva az Automatizálási Bizottság és az Erősáramú Villamos Bizottság területére, holott e kérdés szempontjából a két bizottságnak együttesen kellene állást foglalnia. Ilyen egyesített bizottságnak azonban csak addig kell működnie, amíg tisztázza a problémákat. Az említett két problémakörrel igen magas szinten foglalkozott a Villamosipari Kutató Intézet, valamint a Villamos Automatika Intézet és több más intézmény is. Ezeknek az intézeteknek az együttese olyan csoportot alkot, amely valóban eredményesen tudja megoldani az Akadémia vezetésével a szükséges alapkutatási feladatokat.

További kérdés az, hogy számos olyan tudományos módszer van, amelyek iránt igen nagy érdeklődést tanúsítanak a fiatal szakemberek. Nagyon kívánatos volna, ha a fiatalok egy-egy akadémiai bizottság ülésére eljönnének és referálnának egy-egy kérdésről, illetve hozzászólnának az ülésen tárgyalt problémákhoz. Ezáltal sokkal hamarább sikerülne a kezdő tudósokat egy-egy területen bevonni a bizottsági munkába.

Végül hozzá kívánok szólni a tudományos minősítéssel kapcsolatban a kollektív tudományos munka szervezésének honorálásához. Kétségtelenül nagyjelentőségű kérdés annak a rendezése, hogy az olyan ipari vagy tudományos vezető emberek, akiknek egyéb kötelezettségei nagyok, és nem tudnak mindenben eleget tenni a disszertációk benyújtásával járó szokásos előírásoknak, de emellett alapos tudományos képzettségük van, szintén kaphassanak tudományos fokozatot.

Ami pedig valamely műszaki alkotásnak tudományos fokozattal való honorálását illeti, emlékeztetni kell az egykori műegyetemi doktori szabályzatra, amely elismerten a legszigorúbb szabályzat volt az első világháború előtt és a két világháború között. Ez a szabályzat szintén tartalmazta azt, hogy nemcsak disszertációért, hanem a műalkotásért, kivitelezett épületért, vagy gép megtervezéséért is lehetett tudományos fokozatot adni.

BENEDIKT OTTÓ
AKADÉMIKUS

Azzal a kérdéssel kapcsolatban kívánom elmondani véleményemet, hogy milyen irányban kellene az alapkutatásokat terveznünk. EISLER JÁNOS professzor nagyon helyesen mutatott rá arra, hogy az alaptudományi kutatások során olyan témákat kell választanunk, amelyek a műszaki fejlesztést szolgálják, és ne féljünk attól, hogy egy ilyen támát alapkutatási témaként választva, az munkánk tudományos szintjét süllyesztené.

Sajnos igen elterjedt az a nézet, hogy ilyen esetekben a műszaki tudományokkal foglalkozó kutató kellemetlen alternatíva elé kerülne olyan értelemben, hogy vagy a műszaki fejlesztés, vagy pedig a magasabb színvonal között kellene választania. Ez káros nézet, és nincs fontosabb feladat, mint az ilyen nézetek ellen küzdeni. Nemcsak hogy egyáltalán nem kell félnünk attól, hogy ilyen esetben a tudományos szint csökkenni fog, hanem éppen ellenkezőleg, attól kell óvakodnunk, hogy bármilyen magas szinten dolgozzunk is, munkánk el ne szakadjon a műszaki fejlesztéstől.

A tudományos minősítési rendszerünket illetően semminemű ellentmondást sem látok abban, hogy a jelölt a disszertációk céljául nemcsak azt tűzi ki, hogy az magas színvonalon új dolgokat nyújtson, hanem azt is, hogy ezek az új dolgok a népgazdaság szempontjából valamilyen tekintetben hasznosak legyenek. A célkitűzés ugyanis az, hogy minél közelebb hozzuk a kutatást a fejlesztéshez, nem a szint csökkenése által, hanem azáltal, hogy a magas szinten művelt kutatás részeredményeit minél előbb át lehessen vinni a fejlesztés állapotába. A perspektívák szerint kiválasztott témák ezt a célt szolgálják. Lehet, hogy nem minden esetben fog sikerülni ezt a célt elérni, de mindenkor abban az irányban kell haladnunk, hogy végeredményben ezek a munkák megvalósíthatók legyenek az iparban és a népgazdaságban. Teljesen helyes BOGNÁR GÉZA osztálytitkár ama megállapítása, hogy az alapkutatás ered-

ményességét bizonyos távlaton keresztül abból a szempontból kell értékelni, hogy mennyire sikerül azt a valóságba átültetni.

A kérdést tehát nem úgy kell feltennünk, hogy magas szint vagy fejlesztés, hanem úgy, hogy a Műszaki Tudományok Osztályának mindent meg kell tennie annak érdekében, hogy a műszaki fejlesztés irányában dolgozzon. Ebben a tekintetben rendkívül fontos az a kérdés, amelyet VÁMOS TIBOR vetett fel, amikor egyik legfontosabb és legaktuálisabb konkrét feladatként jelölte meg azt, hogy a Műszaki Tudományok Osztálya az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal együtt művelje ki a kooperáció és a koordináció megfelelő formáját. Ezt a koncepciót minden tekintetben alaposan át kell gondolni, hogy az Akadémia által képviselt magasszintű alapkutatás és az OMFB által képviselt fejlesztés között sikeres kapcsolat jöhessen létre. Ennek egyik sikeres példája volt az Automatizálási Kutató Intézet tekintetében kötött szerződés. Ennek a kapcsolatnak első, de remélhetőleg nem utolsó eredménye az Automatizálási Kutató Intézet.

ERDEY-GRÚZ TIBOR
AKADÉMIKUS

A rendkívül tartalmas és érdekes vitában, valamint hozzászólások sorában engedtessék meg, hogy csak két kérdést érintsek mint olyanokat, amelyekhez némileg hozzá tudok szólni.

A mai ülésen igen nagy helyet kapott az alapkutatás és a Műszaki Tudományok Osztályának feladata közötti kapcsolat. Azok a nézetek, amelyek itt e tekintetben kialakultak, valóban helyesek és nagymértékben előmozdítják a fejlődést. Az Akadémia elnöksége és különböző szervei, illetve más osztályai sokszor leszögezték már, hogy a műszaki kutatás és az alapkutatás között semmiféle ellentét vagy ellentmondás nincs. Ezek szoros kapcsolatban állnak egymással még akkor is, ha hangsúlyozzuk, hogy a fő cél a kutatás gyakorlati felhasználása.

A természettudományok számos területén az a helyzet, hogy a tudomány belső fejlődési törvényeiből eredő kutatások konkrét témáinak kiválasztásában meglehetősen nagy a szabadság.

A Műszaki Tudományok Osztálya és a természettudományokkal foglalkozó többi osztályok közötti együttműködésnek egyik területe az is lehet, hogy a Műszaki Tudományok Osztálya segítse a többi — fizikai, kémiai, esetleg biologiai, geológiai stb. — osztályok figyelmét felhívni azokra a területekre, amelyeken ahol a fejlődés jelenlegi szakaszában az eddiginél nagyobb alaptudományi ismeretekre volna szükség, hogy ilyen irányban történjék a témaválasztás.

Talán legyen szabad itt saját szakterületemről példát felhozni. Nálunk körülbelül négy-öt évvel ezelőtt hívták fel az Osztály figyelmét arra, hogy milyen fontos lesz a jövőben a szénhidrogénekkel kapcsolatos kémiai technológia és milyen fontos e téren a kutatási eredmények gyakorlatba vételéhez szükséges átfutási idő megrövidítése. Ennek következtében azoknak az elvi kutatásoknak a révén, amelyek a kémiai reakciók mechanizmusáról folytak a kutatóintézetben, számos fontos eredmény született. Az ilyen irányban folytatandó együttműködés azért is fontos, mert a tudomány belső fejlődési törvényeiből adódó feladatok széles körűek, és sok esetben lehet ezek tematikáját

úgy megválasztani, hogy kapcsolatban legyenek a gyakorlat időszerű igényeivel. Így valóban helyes az alapkutatások területén bevezetni a konkrét célra irányuló alapkutatás fogalmát.

A másik kérdés, amiről tájékoztatást kívánok adni, az új gazdasági mechanizmussal kapcsolatban merült fel. Az új gazdasági mechanizmus a tudományra is és az Akadémiára is igen nagy feladatokat fog róni, mert hiszen mindnyájan meg vagyunk győződve róla, hogy további fejlődésünk igen lényeges momentumáról van szó. Az új gazdasági mechanizmussal kapcsolatban úgy látszik — legalábbis eddig semmi ellenvéleményt nem hallottam —, hogy az akadémiai kutatóintézetek továbbra is költségvetési keretből fognak dolgozni.

Az Akadémia elnöksége többször foglalkozott azzal a kérdéssel, hogy az új gazdasági mechanizmus milyen feladatokat és milyen intézkedéseket tesz majd szükségessé, és egyértelműen arra az álláspontra helyezkedett, hogy helyes, szükséges, sőt nélkülözhetetlen a további fejlődés érdekében az, hogy az akadémiai kutatóintézetek költségvetésből gazdálkodjanak. Természetesen ugyanilyen szükséges a további fejlődés biztosításához az is, hogy az akadémiai kutatóintézetek megfelelő körülmények között szerződéses kutatást vállalhassanak egyrészt ipari üzemektől, másrészt az ilyen üzemekkel kapcsolatban álló szervektől. Ezenkívül tervbe vettük az anyagi érdekeltség biztosítását az akadémiai kutatóintézetekben dolgozók számára.

A másik dolog, amit az elnökség fontosnak tart az, hogy az akadémiai intézetek kapjanak jogot arra, hogy szerződéses megbízást adhassanak más intézményeknek akár az ipari kutatóintézeteknek, akár egy másik akadémiai kutatóintézetnek, sőt — horribile dictu — esetleg egy ipari fejlesztési intézetnek is.

Arról van tehát szó, hogy minél rugalmasabb legyen az a kapcsolat, amely az akadémiai kutatóintézetek és egy más kutatóintézetek között létrejön. Az most már az Akadémia tudománypolitikájának a feladata, hogy ez el ne torzuljon. Úgy gondolom, hogy minden helyes célkitűzést rossz végrehajtással el lehet torzítani.

Hangsúlyozom, hogy mindez egyelőre az Akadémia véleménye, amelyet az illetékes gazdasági és politikai vezetőkkel közölt, és azt hiszem, hogy ha ez megvalósul, lényegesen hozzá fog járulni ahhoz, hogy minden ott történjék, ahol a legkedvezőbb módon történhetik. Bízom benne, hogy ez lehetővé válik. Ez azért is fontos, mert az új mechanizmussal kapcsolatban nyilván nemcsak itt, de más körökben és tudományos körökben is van olyanszerű vélemény, hogy ez majd valami kánaáni bőséget fog azonnal jelenteni. Egyelőre ez nem valószínű, de bízom benne, hogy majd az új mechanizmus működése évek során létre hozza a kívánt eredményeket, közöttük a bőséget is.

Nyilvánvaló, hogy a kezdő évben a fejlesztés aligha lesz lényegesen jobb, mint eddig volt, de nagyobb lesz a mozgási szabadság, jobb és racionálisabb lesz a rendelkezésre álló eszközök felhasználása. Mindez azonban sokkal nagyobb felelősséget is fog róni az akadémiai intézetekre, az akadémiai osztályokra és azok tagjaira, mert számos olyan kérdésben, amelyben eddig a felsőbb szervek voltak hivatottak dönteni, az ellenőrzés meg fog lazulni. Ezért is fontos, hogy fokozott felelősségünk tudatában fokozottabban ügyeljünk majd a gyakorlati élettel való kapcsolatok helyes kialakítására.

TARJÁN REZSŐ
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Felszólalásom tárgya a bizottságok tudományágak szerinti átszervezésének kérdése. Az automatizálási bizottságot HEVESI GYULA akadémikus kezdeményezésére 1951-ben szervezték. Ez idő alatt nagyon sok oly változás következett be, ami elengedhetetlenné teszi, hogy az automatizálási bizottságban ott legyenek a matematikusok és a fizikusok is. Ha ilyen módon komplexre szervezzük az automatizálási bizottságot, akkor meggyőződésem, hogy maguktól fognak előtérbe kerülni a mind korszerűbb problémák, és elérhető lesz, hogy az akadémiai bizottságok valóban tudományos fórumokká legyenek.

STRIKER GYÖRGY
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

A *tudományos területek ágazatai* szerint átrendezendő akadémiai bizottsági rendszer és az *ipari ágazatok* szerint jelentkező kutatás-fejlesztési *igény* között valamilyen átkódolásra lesz szükség. Úgy vélem, hogy az ipari kutatóintézetek, amelyek az új iparirányítási rendszerben is kétségtelenül az *ipar* szerkezetéhez fognak idomulni, igen alkalmasak arra, hogy a nemzetközi tudomány területén kidolgozás alatt álló, valamint az itthon művelt műszaki-tudományos problémákat a gyakorlat irányában továbbfejlesztve és megfelelően átrendezve az iparhoz átvezessék.

Az alapkutatás, a műszaki kutatás, az alkalmazott kutatás és az itt viszonylag kevessé érintett *fejlesztés* kérdéséhez hozzászólva javasolom, hogy akkor, amikor kutatásról beszélünk, Magyarországon is igyekezzünk meghonosítani a "research and development" (R&D) vagy "Forschung und Entwicklung (F&E) külföldön elfogadott, sokkal szorosabb egységét. Igen sok félreértés keletkezik abból, hogy ki-ki saját területén egészen mást ért kutatáson és fejlesztésen. E két tevékenység állandóan egymásba fonódik és egymástól való elhatárolásuk nem szerencsés.

Úgy érzem, hogy a fentiek szellemében nagymértékben hozzá lehetne járulni ahhoz, hogy az akadémiai tudományos kutatás az iparfejlesztési tevékenység ne egymástól elkülönítve, hanem szoros és gyümölcsöző kapcsolatban bontakozzék ki.

VÁLASZ

AZ ELHANGZOTT HOZZÁSZÓLÁSOKRA

BOGNÁR GÉZA
AKADÉMIKUS

Az értékes hozzászólásokat néhány fő kérdés köré csoportosítva fogom összefoglalni.

A kibővített osztályülés vitájában résztvevők, azt hiszem, egységesen egyetértenek abban, hogy az akadémiai kutatások célkitűzéseit közelebb kell hozni a népgazdasági érdekekhez. Lehetséges konkrét célokra irányított alapkutatást, illetve elvi kutatást végezni.

Többé-kevésbé egyetértés volt tapasztalható az eddig iparágak szerint szervezett bizottságainknak tudományágak szerinti szervezését illetően is. Az eddigi iparági szervezést úgyszólván történelmi szükségszerűség indokolta. Az újjáépítés időszakában a konkrét mérnöki szakterületek voltak azok a kiinduló bázisok, amelyekre alapozva a Műszaki Tudományok Osztálya munkáját megkezdhette.

Ma már világosan állnak előttünk azok a konkrét tudományos célkitűzések, amelyekre erőt kell fordítanunk és amelyek köré kell akadémiai tevékenységünket csoportosítanunk. A bizottságok tudományáganként szervezése az adott helyzetben tulajdonképpen kettős szervezést jelent. Jelenlegi szakcsoportjaink iparági szervezésnek felelnek meg, és a jelenlegi szakcsoportjainkon belül működő munkabizottságok pedig a tudományáganként szervezést képviselik.

Az akadémiai kutatásnak a népgazdasági célokhoz való közelebb hozásával kapcsolatban merült fel a Műszaki Tudományok Osztályának transzmissziós szerepe olyan értelemben, hogy más akadémiai osztályok a Műszaki Tudományok Osztályán keresztül kerülnének kapcsolatba a népgazdasági problémákkal, a népgazdasági célkitűzésekkel. Én azt hiszem, hogy a Műszaki Tudományok Osztályának ezt a szerepkört valóban vállalnia kell.

A további hozzászólások a Műszaki Tudományok Osztályának kutatási bázisával foglalkoztak. Mint ismeretes, jelenlegi két intézetünk után létre óhajtjuk hozni a *Műszaki Mechanikai Intézetet*, de továbbra is támaszkodni kívánunk arra az egyetemet végzett kétezer oktatóra, akik jelentős kutatási kapacitást képviselnek. További tudományos bázisunk kiterjesztése azon az úton lenne lehetséges, hogy a kutatóhelyek számára az ipari kutatóintézeteken belül is legyen módunk kutatási feladatokat kiadni, a kutatási irányokat finanszírozni. Az új gazdaságirányítás rendszerében minden valószínűség szerint erre meglesz a lehetőség.

Bizottságaink újjászervezésénél a tudományáganként szervezés mellett tekintetbe kell vennünk jelenleg működő bizottságaink szervezeteit is. Azok a hozzászólások, amelyek konkréten érintették ezt a három területet, gondolom, hogy hasznos útmutatást adtak további munkánkhoz, amit itt köszönök meg.

AZ AUTOMATIZÁLÁSI — MŰSZAKI-KIBERNETIKAI KUTATÁSOK HAZAI EREDMÉNYEI ÉS FEJLŐDÉSI IRÁNYAI*

BENEDIKT OTTÓ
AKADÉMIKUS

I. Bevezetés

Két évvel ezelőtt, amikor az a megtiszteltetés ért, hogy ugyanezen fórum előtt mint ma, a közgyűlés keretén belül előadást tartsak, az automatizálás helyzetéről, az Automatizálási Kutató Intézet addigi munkájáról és az Intézet által tervbe vett további munkaprogram vázlatáról volt szó.

Mai előadásomnak — habár néhány tekintetben megint az intézet munkáját is kell érintenie — más síkon, — más vonatkozásban és más vetületben kell szemlélnie a dolgokat. Arról van ugyanis szó, hogy az akadémia 1964. évi közgyűlése 8 tudományos főfeladatot tűzött ki az akadémiai kutatás területén, és ezek között, a szocialista fejlődésünk számára legfontosabbnak ítélt feladatok között szerepel az automatika és vele együtt a kibernetika azon ágainak művelése, amelyek segíthetik az automatizálás fejlődését.

Feladatom — mint ezen munkák irányítására létrejött akadémiai komplex bizottság elnöke — hogy beszámoljak: mi a helyzet jelenleg e területen.

A határozatot követő egy év lényegében azzal telt el, hogy megpróbáltuk pontosítani elképzeléseinket, körvonalazni azokat a szűkebb területeket, amelyeket Magyarországon sikerrel művelhetünk a jelenlegi időszakban. A kibernetika hallatlanul széles tudományterületét természetesen a Magyar Tudományos Akadémia jelenlegi lehetőségei mellett egyszerűen felelőtlenség lenne átfogni, bármilyen csábítók is mindazok a témák, amelyeket a világon szerte művelnek. Megállapodtunk abban, hogy első indításra azokat a kibernetikai problémákat próbáljuk összefogni, amelyek a műszaki haladáshoz, az automatizáláshoz legszorosabban kapcsolódnak, és ezen belül is három olyan témakört választunk ki, amelyek a legközvetlenebb feladatokat tartalmazhatják próba, felfutási lehetőségek és egy további kiszélesített munkához. Természetesen ez a döntés nem jelenti azt, hogy a kibernetika többi területét a Magyar Tudományos Akadémia teljesen mellőzni akarja; hogy nincs szükségünk arra, miszerint a nemzetközi fejlődéssel valamilyen módon információs, esetleg kísérletreprodukációs alapon lépést tartsunk; hogy olyan kisebb egye-

* Elhangzott a Műszaki Tudományok Osztályának a Magyar Tudományos Akadémia 1967. évi közgyűlése alkalmából, 1967. május hó 3-án tartott tudományos előadásán.

temi vagy egyéb kutatócsoportokat tartsunk fenn, amelyek egy későbbi fejlődési periódusban nagyobb aktivitással tudnak majd bizonyos irányzatokba bekapcsolódni. Semmiesetre sem mondhatjuk azt, hogy el kell hanyagolnunk a kibernetika biológiai, nyelvészeti vagy igazgatási vonatkozásait, hiszen ezek a területek a maguk vonatkozásaiban forradalmi módon befolyásolják az adott tudományág további fejlődését, sokszor jelenleg még nem is látható formában. Ha nem lesznek Magyarországon olyan egyedi kutatók, vagy kisebb csoportok, amelyek valamilyen módon nem tájékozódnak rendszeresen az általános fejlődésről, nem ismerik meg saját gyakorlatukban ezeket a problémákat, akkor az országos fejlődés számára sem fogják felismerni azokat a pillanatokat, amikor esetleg nagyobb intenzitással kezdhetünk bizonyos más témákhoz.

Mindezt azért kellett elöljáróban hangsúlyozni, hogy akkor, amikor a következőkben kizárólag a kibernetika műszaki vonatkozásaival és azon belül néhány témával fogunk foglalkozni, ne érezzék úgy, hogy valamiféle szűk látókörű elképzelésekből kiindulva próbálta az Akadémia elnöksége és a komplex tudományterület művelésére kijelölt bizottság feladatait behatárolni, hanem egyszerűen az adott valóság figyelembevételével, nem feledkezve meg azért mindazokról a dolgokról, amelyek a jelenlegi szükség által diktált szűkebb érdeklődési körünkön valamikor túl fognak nőni.

A feladat ilyen módon történő meghatározása és korlátozása után azonban a következő lépés még mindig nem lehetett a konkrét témák teljes felfutással való művelése. Jó 10—15 éves elmaradás behozásáról van szó, amikor területünkön lényegében véve a kutatóbázisok és kutatóeszközök megteremtése volt az elsőrendű feladat. Erre az időszakra esett az Akadémia Automatizálási Kutató Intézetének felépítése, amely távolról sem csak építési és műszerezési beruházás volt, hanem renkívül bonyolult tudományszervezési, káderkiválasztási, kádernevelési feladat, ami ugyan beruházás és létszámfelfutás szempontjából most már lezárulóban van, de nem zárult le az intézet végleges állományának, muukamódszereinek, valamint a káderek összeforrottságának szempontjából. Mindenki, aki tudományos szervezetek kérdéseivel foglalkozik, jól tudja, hogy egy ilyen intézet a megindulása után éveken keresztül — természetesen konkrét munkák kapcsán — saját maga izzadja ki lehető legjobb formáit, és amíg az intézetté-válás valóban megvalósul, 5—8 évre van szükség. Ez természetesen egyáltalán nem jelentheti azt, hogy csak ezen idő után szabad tőle a népgazdaság számára fontos eredményeket követelni. Ehhez járult az a körülmény, hogy a kibernetika korszerű automatika-művelésének legfontosabb tárgyi feltételei, a számológépek nem voltak biztosítva. Az automatizálási intézet digitális gépét most helyeztük üzembe. Az Akadémia központi nagy gépe remélhetőleg jövő évben kerül leszállításra. Az Akadémia területén a múlt év végén jelent meg az első korszerűnek mondható és valóban használható gép, a Központi Fizikai Kutató Intézetnek az Országos Terv-

hivatallal közösen használt nagy gépe, ennek orientáltsága azonban egyelőre még nem szolgálta az automatizálás, a műszaki kibernetika feladatait, mert természetszerűleg elsősorban azokra a feladatokra igyekeznek igénybe venni és szolgáltatásait kiterjeszteni, amelyekre a beszerzés vonatkozott, tehát az Országos Tervhivatal közgazdasági, és a Központi Fizikai Kutató Intézet fizikai jellegű szolgáltatásaira.

Mindezeket el kellett mondanom ahhoz, hogy világosan láthassuk, miszerint egy 3 évvel ezelőtt hozott határozat pozitív hatása számos intézkedésben máris megnyilvánult, de ugyanakkor a megvalósulási idők hosszúak és valójában csak most állunk ott, hogy intenzívebb tevékenységünket megindíthassuk. Erre utal az Akadémia elnökségének az a helyes határozata is, hogy felülvizsgálva a tudományterület eddigi előkészítő munkáit és azoknak irányát jóváhagyva, ez év nyarára jelölte meg a bizottságunk számára azt a határidőt, amikor véglegesebb munkaterveinket rögzítenünk kell.

Ugyanakkor, amikor most már ismételten hangsúlyozzuk, hogy még nagyon elején tartunk egy már kialakulóban levő irányvonalú munkának, mégis örülünk annak, hogy módunk van erről az állapotról már ma is beszámolni. Egy induló állapotban levő téma és elképzelés tudományos közvélemény elé bocsátása, ismertetése a jelenlegi helyzetnek, kezdeti tapasztalatoknak, sokat segíthet a menetközbeni kritika kialakításához és a kapcsolatok bővítéséhez, ami annál is inkább fontos, mert területünkön az anyagi, tárgyi feltételeken túl ez a legfontosabb probléma. Azzal kapcsolatban, hogy egy igen széles, több tudományágat felölelő komplex tudomány műveléséről van szó, sok irányból jövő különböző érdeklődési kört, különböző nézőpontú szakembercsoportokat kell ebben a munkában összehoznunk. Teljesen nyilvánvaló, hogy ugyanazt a kérdést egész más szempontból nézi az elméleti orientációjú matematikus, a gyakorlati ipari bevezetést szem előtt tartó mérnök, a gazdaságosságot vizsgáló közgazdász vagy az elvi összefüggéseket kereső fizikus. Amikor először összejönnek egy témával kapcsolatban, a kölcsönös jóindulat és összedolgozás vágyának szelleme hatja át őket. A második összejövetel rendszerint kínosabb szokott lenni. Ilyenkor felismerik azt, hogy különböző nyelven beszélnek, más választ adnak a kérdésekre, mint amiket várnak, és hogy a fokozatos, kölcsönös megértés sokszor kínos, sok figyelmet igénylő folyamatát kell megvalósítani. Éppen arra van szükség, hogy türelmesen, hosszan megmagyarázva, jóindulattal és kísérletezéssel kell ezeket a csoportokat egymáshoz közelebb hoznunk. Tudjuk a nemzetközi tapasztalatokból, hogy az ilyen, különböző diszciplínájú csoportok együttműködése szokta végeredményben a legszínvonalasabb eredményeket hozni, és az a megoldás, hogy egy-egy csoport ragaszkodva saját szűkebb elképzeléseihez, igyekszik átvenni a mások munkáját is, menthetetlenül amatőrizmusba vezet. Így a mérnök nem lesz matematikus, a matematikus nem lesz gyakorlati mérnök és energiájuk sokszorosan elfecsérlődik.

Úgy látjuk az eddigi tapasztalatok alapján, hogy a teljes szintézishez — és itt gondolok az emberek és csoportok valódi tudományos szintézisére — még sok éves együttműködésre van szükségünk, és nem szabad sajnálni a fáradságot ennek kialakításától. Ugyanakkor azonban örömmel lehet megállapítani, hogy eddigi tapasztalataink szerint e tekintetben jó úton haladunk.

II. A három fontos problémakör állása

E bevezető szavak után, amelyek érzékeltetni akarják a komplex tudományos munkával járó néhány — azt mondanám a téma kiválasztásától eléggé független — problémát, rá szeretnék térni arra a kérdésre, hogy melyik az a három — a műszaki gyakorlat számára érdekes és fontos — problémakör, amely köré lényegében csoportosíthatók az induló periódus feladatai. Ezek: az optimális irányú algoritmusok készítése, az irányításnál felmerülő különböző identifikációs problémák megoldása és, harmadszor, a digitális technikának és az automatizáláshoz szükséges logikai rendszertechnikai és közelítő módszereknek a kutatása.

1. Az optimális irányú algoritmusok készítése

Térjünk rá az első kérdésre. Az optimális irányítási problémák nálunk elsősorban a folytonos ipari folyamatok számológépes irányításához kapcsolódnak. Nem jelenti ez a szűkítés azt, hogy az optimális irányítás számos más kérdése nem válik fontossá számunkra, de valahol — mint az elején is mondtam — konkréten meg kell vetni lábunkat és el kell kezdenünk. Ez a konkrét indulás pedig a *Péti Nitrogénművek* számítógépes irányítása volt, melyet egy dán céggel együttműködésben most már két éve készítünk, és reméljük, hogy a jövő év folyamán üzembe is tudunk helyezni. Ez a munka európai viszonylatban is úttörő, egyelőre az egész európai kontinensen nem működik olyan nitrogéngyár, amelynek számológépes optimális irányítása lenne. Az amerikai gyárak algoritmusait nem lehet megkapni. Ezért nemcsak számunkra, hanem az európai cégek számára is felmerült az a szükséglet, hogy egy kísérleti üzemben megpróbáljuk ezt a munkát elvégezni. Összesen kb. 20—25 főnyi, dánokból és magyarokból álló, jól összehangolt munkacsoport végzi ezt a feladatot, kiindulva a tervezés számítási algoritmusaiból. A koncepció keretében elkészült egy olyan speciális, erre az üzemre készített programnyelv, amely alkalmas az üzem különböző részegységeinek önműködő számítógépes szervezésére olyan módon, mintha az üzemi folyamatábrát önműködően átvinnénk egy számítógép számítási mechanizmusára. Az egyes részberendezések stacionárius viselkedésére kiszámított egyenletek képezik ezen programnyelv szubrutinjait. Az egész üzem működését szimulálja egy komplex program, melynek nagyobbik része már többször futott számológépen. Ezen modellező, szimulációs

program eredményeképpen előre megkapjuk a létesítendő üzem különböző állapotainak számszerű értékeit. Rendkívül nagyszámú, sok ezer állapotot jelentő pontot határozunk meg ahhoz, hogy tisztában legyünk az üzem várható viselkedésével és az optimális tartomány várható helyzetével.

Ehhez a feladatkörhöz csatlakozik az optimális irányítás célfüggvényének meghatározása is, ami közgazdasági-kibernetikai feladat. Természetesen egyelőre csak feltételezésekből indulhatunk ki, de erős reményünk van arra, hogy a jövő évben beinduló üzem valóban úgy fog viselkedni, ahogyan azt nagy erőfeszítésekkel, kétéves munkával felépített számológép-programjaink előírják. Valószínű, hogy kisebb-nagyobb mértékben ezeket a programokat a valódi üzem mérési tapasztalatai alapján módosítani kell. Ez a jövő év feladata lesz, egyben számos tanulságot fog szolgáltatni arra vonatkozólag, hogy milyen mélységben, milyen módon, milyen elhanyagolásokkal lehet ilyen problémát jól megközelíteni. Az egyszerűsítéseknek, az optimális irányítás elvi módszereinek itt rendkívüli jelentőségük van. Egy-egy pont futtatása a gépen sok órát vesz igénybe és — mint mondom — több ezer pontra van szükségünk. Világos dolog, hogy az egyszerűbb, jobb modellek a kevésbé redundáns számológép-programok gépi időben, a probléma megközelítésében hatalmas előrelépést fognak jelenteni.

Tisztában vagyunk azzal, hogy a jelenlegi munkánk ebből a szempontból még nagyon sok hibát, később revideálandó feltevést tartalmaz, de ezen az úton végig kell mennünk ahhoz, hogy később nagyobb biztonsággal tudjunk előrehaladni. Azzal, hogy a ráfordítást, tehát kb. összesen 50—80 szakemberévi munkát érzékeltettem, talán láthatóvá válik az, hogy egy-egy ilyen konkrét feladat megoldása milyen hallatlanul sok aprólékos erőfeszítést tesz szükségessé. Egy-egy elméleti feltevés akár a reaktor működésével kapcsolatban, akár egy folyamatirányítás optimalizálására alkalmas programnyelv megfogalmazásával kapcsolatban, akár az optimum keresésének módszerére vonatkozólag, nagyon szép és esetleg néhány hónapos szellemes munkával összeállított dolgozat lehet. De a verifikáció sok ember sokéves munkája, ezt legalább annyira meg kell becsülnünk, és fontossága pedig még sokkal nagyobb. Nálunk éveken keresztül folytak viták a különböző optimalizációs módszerek előnyeiről, hátrányairól, elvi alkalmazhatóságáról. Most jutunk először oda, hogy ezeket valóban az élő valóságban megvizsgálhassuk, és az eddigi sokszor csak szubjektív szempontokat tartalmazható viták a gyakorlat próbáján keresztül eldönthetők legyenek.

Az optimális irányítással foglalkozó munkacsoport talán legjobban volt képes arra, hogy azokat a különböző specialitású szakembereket, akikről az előbb szóltam, összefogja. Vegyészek, matematikusok, automatizőrök és közgazdászok kitűnő együttműködésére került itt sor, és a példa azt mutatta, hogy egy konkrét feladat közös munkával való megoldása a legjobb eszköz ilyenfajta kollektívák összeforrasztására.

A *Péti Nitrogénműveknél* végzendő első kísérlet természetesen csak tanulómunka. Párhuzamosan előkészítve a többi feladatokat, máris foglalkozunk egy sokkal szélesebb programmal; egy olyan szimulációs metodikával, mely a Magyarországon üzembe helyezendő nagy vegyipari művek széles skálájára általánosan és konkréten alkalmazható optimális irányítási programok kidolgozását teszi lehetővé. Ez a széles körű együttműködés igen nagyszámú szervezet máris produktív munkájában nyilvánul meg, egy sereg részprogram születik, és nagyon érdekes, hogy a péti mű munkánál szerzett eddigi konkrét tapasztalatokat, akár az általános szervező programra, akár az optimalizálás módszereire, akár az egyes műveleti egységek számítására vonatkozólag milyen jól tudjuk általánosítani a következő lépések felé.

Az optimális irányítás kibontakozó feladatkörének másik csoportja a dinamikus optimalizálás. Azok után, hogy első feladatként egy olyan üzemet választottunk, mint a *Péti Nitrogénművek*, ahol feltételezhetően a stacionárius állapotok az uralkodók és ennek következtében a probléma stacionárius módon kezelhető, megindult az idén a vegyipari folyamatok dinamikus elemzésének munkája is, és néhány éven belül valószínűleg éppen olyan általános fegyverzettel fogunk rendelkezni a rendszeresen változó folyamatok irányítására, mint amivel egy éven belül a stacionárius folyamatokra. Ezzel kapcsolatosan meg kell jegyeznem, hogy a dinamikus állapot vizsgálata azért is jelentős, mert számos üzem megbízható szabályozás nélkül statikus állapotban sokszor lényegesen kedvezőtlenebb körülmények között működtethető, mint egy eddig üzembizonytalannak ítélt dinamikus állapotban, amelyet azonban ha kellőképpen tanulmányoztunk, úgy tudunk majd szabályozni, hogy üzembiztos maradjon.

Természetesen a dinamikus folyamatok optimalizálása, a nagyszámú bonyolult parciális differenciálegyenletek kezelése fokozottan nagymértékű matematikai apparátust, intuitív tevékenységet és ugyanakkor indokoltabb konkrét munkát igényel, mint a stacionárius állapotok optimalizálása. A feladatok nagyságrendjére jellemző, hogy az első ilyen üzemmel, egy kénsavgyárral kapcsolatos problémák kb. 100-as nagyságrendű, részben nem lineáris differenciálegyenlet megoldását követelik.

Felvethető a kérdés, hogy miért koncentráljuk tevékenységünket elsősorban vegyipari folyamatokra. Azt hiszem világos az elmondottakból, hogy egy vegyipari komplexum megoldásának problémája is milyen erőfeszítéseket igényel. Egy olyan csoport számára, amely Magyarország részére ezt az új technológiai és automatizálási megközelítést ki akarja dolgozni, szükségszerű, hogy konkrét feladatokon keresztül folytassa le ezt a nagyszabású bevezető programot. A felépítésből is látható, hogy kiindultunk egy üzemből stacionárius állapotra, ezt általánosítjuk nagyszámú üzemre stacionárius állapotra, majd hasonló módon járunk el a dinamikus viszonyokra is. Ez maga sokéves program. Nem lenne helyes tovább szélesíteni. A számológépes irányítás jelenlegi

perspektívái azok, hogy elsősorban a nagyvolumenű folytonos termelésű jellegű vegyipari folyamatoknál kerülnek alkalmazásra. Más ipari területen történő alkalmazás — úgy néz ki — csak a 70-es évek közepe táján érik meg Magyarországon. Addigra kellő fegyverzettel fogunk rendelkezni ahhoz, hogy bármely hasonló területnek is megadjuk a szükséges szellemi segítséget.

Még ezzel a programmal kapcsolatban néhány szót szeretnék szólni, hogy milyen jellegű problémák merülhetnek fel egy ilyen munka során, amelyet első látásra esetleg a kérdéssel nem kellőképpen tisztában levő szemlélő valamiféle gyakorlati mérnöki tervezési feladatnak tekinthet. Közismert, hogy egy-egy új problémára orientált programnyelv alkotása milyen bonyolult matematikai feladat. A programnyelvek készítése a legszigorúbb matematikai diszciplínákat követeli meg, és különleges jelentőségük abban van, hogy míg egy-egy programnyelv a programozási időket sokszorosan megrövidíti, tizedére, századára, és ezzel a programozásban elkövethető hibákat is nagymértékben csökkenti, ugyanakkor a gépi futtatások idejét néha ötvenszeresére is növeli, mivel nem egyedi, hanem általános megoldásokat alkalmaz. Ebben az alternatívában megfelelő megoldást találni nagyon nehéz dolog, és még a legnagyobb számológépes kutatócsoportok is állandóan tökéletesítik programkönyvtáraikat, állandóan dolgoznak újabb és újabb különleges és általános programnyelvek kidolgozásán.

A másik ilyen elvi jelentőségű feladat a különböző közelítő optimalizáló, optimumkereső matematikai módszerek kidolgozása az adott feladathoz. Elképzelhető pl., hogy milyen problémák merülnek fel egy olyan rendszerben, amelyet első közelítésre pl. 16 változósnak tételezünk fel. A jelenlegi elképzelésünk az, hogy ezt a bonyolult nem-lineáris rendszert másodrendű felülettel fogjuk közelíteni. Ez is 100-nál több együttható meghatározását teszi szükségessé esetenként. Ugyanakkor felmerül némely esetben az a feladat is, hogy a közelítést magasabb fokúként kezeljük, pl. negyedrendűként, de akkor már az egész problémakomplexum olyanná válik, hogy a jelenlegi gépkapacitásunkkal nem megoldható. Bizonyos particionálásokkal talán tudunk egy optimális közelítést csinálni, és általában az elmondottakból is látható, hogy számunkra nemcsak az általános optimalizálás, tehát a folyamat optimális gazdasági irányítása a tudományos probléma, hanem az optimális számítási megközelítési módszerek kidolgozása is.

Összefoglalva, csak egy kis ízelítőt tudtam adni abból a feladatkörből, ami az optimális irányítás köré csoportosul. Úgy látszik, hogy a következő hároméves periódusban már részletes beszámolót tudunk adni az első hazai megvalósulás eredményeiről, és ha ez így lesz, akkor becsülettel mondhatjuk —még bizonyos várható negatív tapasztalatok esetében is — nagy munkát végeztünk.

2. Az irányítás identifikációs problémái

A másik témakör, amelyre kutatásainkat elképzeléseink szerint koncentráltuk, az identifikációs problémák megoldása. Az identifikációs kérdések egyik aspektusáról mi az általam már említett péti optimális irányítással kapcsolatban is találkoztunk. Ez egy részben vagy egészében ismeretlen folyamat jellemzőinek meghatározása. Ez a folyamatidentifikációs kérdés Péttel kapcsolatosan mint olyan probléma mutatkozik, hogy hogyan fogjuk az adott méréstechnikai apparátus lehetőségei alapján a folyamat valódi paramétereit meghatározni. Ez egy rendkívül bonyolult, elsősorban matematikai-statisztikai jellegű, bár sok más diszciplínát is felhasználó munka lesz, mely csak most indult el nálunk. Tulajdonképpen valamennyi irányítási feladatnál felmerülő probléma, hiszen több-kevesebb bizonytalanság minden rendszer meghatározásánál felmerül. Minél bonyolultabb egy rendszer, annál nehezebb annak előreszámítása, minden figyelembe veendő tényező, zavaró jelenség, kölcsönhatás előzetes meghatározása, annál inkább kell a rendszert black-boxként (fekete dobozként) kezelni, és a rendelkezésre álló méréstechnikai és számítási apparátusra bízni azt, hogy a számunkra lényeges irányítás szempontjából fontos jellemzőket kiértékeljük. Ez a terület most az általános tudományos érdeklődés előterében van, mi igyekszünk feladatainkat az eddig felmerült gyakorlati problémák elméleti alátámasztására koncentrálni. Ehhez a problémakörhöz csatlakozik részben az identifikációnak egy más vonatkozású feladata, az alakfelismerés. Meggyőződésünk szerint az alakfelismerési probléma végső fokon az automatizálás egyik legdöntőbb következő lépése lesz, amennyiben a különböző információknak az irányítórendszerrel, elsősorban számológéppel való közlését mint alakfelismerési problémát fogjuk fel.

Végeredményben az emberi tevékenységnek a számológép bemenetéről való kikapcsolása akár ábráknak, diagramoknak, számoknak, betűknek, rezgésalakban átvitt hangnak, különböző szituációknak, munkadarab-változásoknak, üzemi körülményváltozásoknak a felismerése és ezzel kapcsolatban a programok módosítása általános alakfelismerési probléma. Éppen, mivel az emberi intelligencia bizonyos jellegű megközelítéséről van szó, a feladat hallatlan bonyolult és a néhány évvel ezelőtti kezdeti várakozással szemben még nem szolgáltatott világviszonylatban sem elegendő megnyugtató eredményt. Ez minden kutatási problémánál tapasztalható. Felmerülnek feladatok, ötletek és az első indításnál úgy látszik, hogy a kezdeti gyors felfutást extrapolálva néhány éven belül szenzációs eredményekhez lehet jutni. Azután kiderül, hogy a probléma megoldása azért húzódott már eddig is, mert sokkal bonyolultabb, mint kezdetben gondolták. Ilyenkor néhány éven keresztül pesszimista hangok is vannak, a kutatás elhúzódik, kiszélesedik, sok apró részeredmény születik, és bizonyos érési idő után megszületnek azok az eszközök, azok a szintézisek, melyek valóban — legalábbis részben — megoldják a problémát. Azt hisszük, hogy az alakfelismerési területen is jelenleg ez a lappangási

periódus van világszerte. Az érdeklődés rendkívüli módon koncentrálódik erre a feladatra. Nyilvánvaló, hogy Magyarországon a számítógép-kapacitást a ráfordítható szellemi erőt figyelembe véve világjelentőségű felfedezésekre, előreugrásokra nem igen van reményünk. Mégis, látva a probléma jelentőségét, szeretnénk továbbra is bizonyos erőt erre fordítani. Jelenleg a tématerület kutatóinak egy része külföldi tanulmányutakon van, megvizsgálni, hogy milyen módon tudunk esetleges nemzetközi fejlődésbe bekapcsolódni, felmérni a legutolsó nemzetközi eredményeket, és a továbbfolytatás módjáról, a ráfordítandó eszközökről 1967 második felében szeretnénk dönteni azoknak a tapasztalatoknak alapján, melyeket ezek a munkatársaink hazahoznak, akik mind a Szovjetunió, mind az Amerikai Egyesült Államok e téren világviszonylatban vezető tudósaival vannak kapcsolatban.

Éppen ezért, ismertetve ezt a közbenső állapotot, engedjék meg nekem, hogy erről a kérdésről további részleteket ne ismertessek, hiszen — mint látható — a kutatási témának a jelentőségét nem érezzük csökkentnek, de az utolsó időszakban azzal minimálisabb erőkkel foglalkoztunk. Talán csak egy általános és tanulságos megjegyzést kell az elmondottakhoz fűzni. A tudományos haladás útjai rögösek és nem fényszóróval előre bevilágítottak. Ahhoz, hogy felelősségteljesen, értelmesen haladjunk előre, állandóan szükséges, hogy eredeti elképzelésünket kritikus módon revízió alá vegyük, egyik oldalról bizonyos átmeneti nehézségektől, megtorpanásoktól nem visszariadva, hiszen ezek az eredmények és valóban nehéz feladatokat megoldó kutatásnak természetes velejárói, másik oldalról viszont mindig felmérve a tapasztalatok alapján, hogy eszközeinkkel, lehetőségeinkkel milyen erőkkel tudunk előrejutni. Ezért is bizonyos lesz az, hogy ha a témakör területéről egy idő után beszámolunk, akkor a beszámolóban — ha az őszinte és becsületes lesz — és ezt remélem elvárják tőlünk, szó lesz kudarcokról is és lesz talán szó — legalább azt remélem — némi eredményről is.

3. A digitális technika, valamint az automatizálás logikai-rendszertechnikai és közelítő módszerei

A harmadik kérdéscsoport a digitális technika és az ezzel kapcsolatos logikai rendszertechnikai és közelítő módszerek kutatása. A cím nagyon sokfajta tevékenységet takar. Egyik vonatkozása azoknak a számológép-építési, számológép-rendszertechnikai kutatásoknak az összefoglalása, melyek hazánkban különböző területeken folynak. Ismeretes, hogy mind az iparban, mind egyes kutatóintézetekben, így az Akadémia területén is folynak bizonyos számológép-készítési kísérletek. Ezek a kísérletek — anélkül, hogy róluk bármiféle előzetes ítéletet mondanánk, és anélkül, hogy bizonyos próbálkozásoktól eleve megtagadnánk a segítőkészséget, mégis aggályosak. Közismert dolog, hogy a számológép-építés milyen rendkívüli ipari hátteret, felkészültséget,

anyagi befektetést igényel. Ha alaposabban elemezzük a nemzetközi számológépipar helyzetét, azt látjuk, hogy ma már lényegében csak néhány hatalmas tőkecsoport képes arra, hogy a fejlődéssel lépést tartson. Nem győzzük ismertetni azt a számot, amelyet nemrégiben a legnagyobb amerikai számológépgyár, az IBM tevékenységéről publikáltak, hogy a mostani gépsorozatának kutatási, tervezési, gyártás-bevezetési és piacradobási költségei ötmilliárd dollárra rúgtak, többre mint az egész egy évi magyar nemzeti jövedelem, olyan háttérrel, amivel egyetlen ország sem rendelkezik. Láthatjuk, hogy egymás után olvadnak össze a különböző számológépgyártó vállalatok, egymás után mennek tönkre a kisebb jellegű kezdeményezések. Nem elég egy ügyes aritmetikai egységet összehozni, hanem ahhoz óriási mennyiségű kiváló perifériára van szükség, sokszor több száz millió dollár értékű software-ra, tehát programkönyvtárra, szellemi szolgáltatásra, rendkívüli elektronikai, híradástechnikai produktumokra, olyan paraméterekre, amelyek a magyar ipar számára jelenleg elképzelhetetlenek, olyan megbízhatósági adatokra, hogy egy-egy gépnek legfeljebb évente egy-két hibával szabad működnie, és hatalmas apparátusra ahhoz, hogy mindezen feltételek birtokában is a piacon boldogulni lehessen. Az együttműködés szükségességét mutatja az a legutóbbi tény, hogy a Szovjetunió és Anglia legpotensebb szervei egy kb. egymilliárd dolláros megállapodást kötöttek a számológépipar területén való együttműködésre. Ha ezeket az adatokat látjuk, akkor világossá válnak aggályaink minden jóindulatú, de partikuláris kezdeményezéssel szemben.

Ugyanakkor azokat a kutatásokat, melyek valamilyen nemzetközi együttműködésben próbálják a hazai erőket felhasználni, csak támogatni lehet. Így pl. azokat a kísérleteket, amelyekkel a Kalmár-féle, sok vonatkozásban úttörő és az eddigi nemzetközi fejlődéstől eltérő logikai megoldásokat a formulavezérléses géphez igyekeznek bekapcsolni az ukrán akadémia keretében több ezer fővel működő számológépfejlesztési tevékenységbe, csak támogatni lehet. Ha sikerül bárhol is egy nagyerejű, nemzetközi együttműködési hátteret biztosítani hazai számológépfejlesztő csoportjainknak, legyenek azok akár készülékjellegűek, akár szellemi munka jellegűek, úgy természetesen az ilyen kezdeményezéseket messzemenően segítenünk kell. Ugyanakkor nagyon meggondolandónak tartjuk, hogy lényeges erőket koncentráljunk olyan erőfeszítésekre, melyek a rendkívüli versenyben már esetleg eleve kudarcra vannak ítélve. Hangsúlyoznunk kell, hogy a digitális technika továbbfejlesztéséhez Magyarországon mint elsőrendű feltételnek a szilárdtestfizikai kutatások gyorsulását, így konkrét iparilag megvalósítható eredmények felé orientálódását látjuk. Addig, ameddig a modern, nagy megbízhatóságú integrált áramköri technológiákban a magyarországi meghonosítását nem tudjuk elérni, nehezen tudjuk elképzelni, hogy a nemzetközi piacon eladható digitális berendezéseket tudjunk létrehozni. Mi a magunk részéről az automatizálási intézetben éppen ezért tevékenységünket olyan középberendezésekre koncent-

ráltuk, amelyek a hazai erőkkel remélhetően megvalósíthatók, és igyekeztünk részben külföldről beszerezve, részben a hazai fejlesztést támogatva előrenézni e felé a minden automatizálási területet meghódító, nagy megbízhatóságú, miniatürizált integrált áramköri technológia felé. Ugyanakkor, amikor hangsúlyoznunk kell ezekben a vonatkozásokban is saját munkánkkal és perspektívánkkal szembeni aggályainkat, hiszen azok az elemek, alkatrészek sincsenek biztosítva kellő időben, amelyekre korlátozott elképzeléseinket fel akarjuk építeni, néhány szóval ismertetném jelenlegi célkitűzéseinket.

Szeretnénk kifejleszteni olyan önműködő digitális rendszertervező és rendszerépítő számítási metodikákat és technológiákat, amelyek lehetővé teszik az ipar számára szükséges különböző középbonyolultságú rendszereknek gyors és rugalmas építését. Ezáltal lehetővé válik, hogy a magyar ipar valószínű piacai, tehát a bizonyos mértékig egyedibb jellegű középberendezések számára gyors elkészítési lehetőséget biztosítsunk, korszerű alkatrész- és technológiai bázis esetén. Úgy látjuk, hogy az első iparilag is használható eredményeink 2—3 éven belül fognak megszületni. Ezek után tudunk dönteni arról, hogy eddigi elképzeléseink helyesek voltak-e. Az ilyen jellegű munkákhoz nagyon nagy szükségünk van a matematikai logika, gráfelmélet, topológia, diszkrét automaták optimális tervezése matematikai princípiumaira. Ebben a vonatkozásban részben a szegedi kibernetikai csoporttal, részben a számítástechnikai központtal igyekszünk együttműködni, és bizonyos részeredményeink már vannak. Egyes algoritmusok készültek, bár ezen a területen a problémák egységes felfogása még nem teljes. Ez — mint a bevezetőben hangsúlyoztam — távolról sem a résztvevők hibája, hanem annak az elmaradásnak következménye, amit az ilyen jellegű csoportok együttműködése terén mulasztottunk és amit csak sokéves munkával tudunk pótolni.

Milyennek képzelünk mi egy ilyen középberendezést? Nagyon jó példa a numerikus vezérlés problémája és az ehhez csatlakozó számológépes tervezési problémakör, amely a kibernetikai komplex bizottság tevékenységének részben ehhez a témájához, részben a nem folytonos rendszerek optimális irányításának problémájához fog csatlakozni. A szerszámgépiparban jelenleg általános tendencia a numerikus vezérlés, tehát egy olyan technológia, amelynél a gép munkáját egy számjegyes program irányítja. A számjegyes programok kidolgozása bonyolult programozási feladat. Az Amerikai Egyesült Államokban ehhez egy különleges problémára irányított nyelvet, az APT-t dolgozták ki, amely jelenleg számunkra még nem kapható meg. Igyekezni fogunk valamilyen módon ezt az általános programot megvásárolni, mert az ilyen hatalmas program elkészítésére Magyarországon nincs meg a szükséges létszám és erő, de ahhoz, hogy ezt az általános programnyelvet konkrét szerszámgépeinkhez alkalmazni tudjuk, még igen sok és bonyolult programfordítási munkára van szükségünk, amely viszont hazai kutatási programozási feladat lesz. Magának a program alapján történő pályavezérlés-számításnak a megvalósítása vagy

általános célú számológépeken, vagy különleges gépeken történik. A pályavezérlés, tehát a szerszámgép megmunkálófejének az irányítása olyan eredmény, amely egyelőre Magyarország számára embargólistán van; ugyanakkor mi a közeljövőben pályavezérléssel kívánunk már szerszámgépeket exportálni, hiszen a különböző fajta numerikus vezérlésű szerszámgépek kb. egyharmada, éppen a legdrágábbak, a legfejlettebb formájúak, a legbonyolultabb feladatokra képesek, a pályavezérlésesek.

A magyar gépipar területén nagyszabású együttműködés született meg a numerikus vezérlés különböző fokozatainak bevezetésére, és a pályavezérlés feladatát az Akadémia Automatizálási Kutató Intézete kapta. Első eredményként ez év elején átadtuk a gépiparnak az első magyar pályavezérlés működő példányát, amelyet a közeli hónapokban egy erre a célra készülő új szerszámgépnél fogunk üzembe helyezni. Az elkészült berendezés felépítésében, paramétereiben, korszerűségében jobb, mint az európai piacon kapható számos, fejlettnek mondott típus. Természetesen, mire a mi berendezésünk tömeggyártmányként a piacon megjelenik, valószínűleg más európai cégek is rendelkezni fognak hasonló típusokkal, de mindenesetre úgy érezzük, hogy ez az eredményünk komoly, értékelendő és előremutató biztatás a további sikerek szempontjából. A már említett digitális középberendezésekhez tartozik az ilyen pályavezérlő számító berendezés. Ha lehetőségünk a következő években terveink szerint alakul, úgy néhány év múlva a legkorszerűbb, nagy megbízhatóságú integrált áramköri technológiával tudjuk ezeket a berendezéseket speciálisan gépre, célra-orientáltan készíteni, és így a nemzetközi piacon versenyképes, komoly berendezéssel tudjuk kiegészíteni fejlődő szerszámgépiparunk exportképes termékeit.

A pályavezérlésekhez és a gépipar automatizálásához csatlakozó következő és egyelőre szellemi előkészítés alatt álló feladat az önműködő tervezés. Az egész gépipari tervezési koncepció átalakulóban van. A numerikus vezérlés lehetővé teszi azt, hogy a szerkesztőnek ne kelljen részletesen megrajzolnia munkadarabját, hanem egy különleges programnyelven programozva, a rajzot kikerülve, vezérlési programokat tudjon előállítani. Természetes dolog, hogy azért rajzra is szükség van, és szükség van a rajzokhoz kötődő különböző számításokra is, így szilárdságtani és egyéb számításokra, amelyek a tervezéssel együtt járnak. Intézetünkben már egy önműködő, numerikus vezérlésű programok alapján dolgozó rajzgépet kidolgoztunk, amelyet ma már az ipar többfajta kivitelben is gyárt. A következő lépcső az, hogy a tervező a programban elkészített elképzeléseit azonnal egy televíziós képcsövön megjelenítve kapja meg, és ezen tudjon szükség szerint változtatni, tehát a tervezés menetét olyan módon tudja egy számológéppel kommunikálva végrehajtani, hogy végeredményben rendelkezésre álljon önműködően az a vezérlési program, mely a tervezés befejeztével a megmunkáló gépeket tudja irányítani. Ilyen munkák folyamatban vannak az Amerikai Egyesült Államokban, több nagy

vállalat kidolgozta ezeket a programokat, és részben áramköri tervezéshez, részben gépipari tervezéshez már alkalmazzák is. A különböző programok tartalmaznak olyan rész-számításokat is, amelyekkel lehetséges a felrajzolt, illetőleg rajz számára programozott részeknek önműködő méretezése is. Így pl. a felrajzolt vagy csak specifikációban megadott, önműködően tervezett áramkörök különböző számításainak önműködő elvégzése. Az Automatizálási Kutató Intézetben szűrőkre ilyen munka már készült, és hasonló módon lehet gépipari feladatoknál különböző gépelemekre vagy építési tervezési feladatoknál különböző építési statikai elemekre a felrajzolt vagy programozott részletek alapján a számításokat önműködően végeztetni. Ez az emberi tervezői, szellemi munkának egy újabb magas fokú automatizálását jelenti. A teljes feladat megoldása nyilván több évtizedes program. Az angolok most erre egy kb. 10—15 éves távlati tervet dolgoztak ki, kissé hasonlóan azokhoz a kutatási célprogramokhoz, amelyeket az új mechanizmus keretében indítani szeretnénk. Mi ennek a munkának olyan részleteibe szeretnénk bekapcsolódni, amelyek lehetővé teszik azt, hogy a nemzetközi fejlődést figyelemmel kísérjük, bizonyos elemeket, részeket hazailag is elő tudjunk állítani, és valamilyen módon, későbbiekben más külföldi kutatócsoportokkal kapcsolatba lépve ezt a forradalmian új módszert hazánkban is meg tudjuk honosítani.

Az első részeredmények, tehát a pályavezérlő berendezés és az ehhez csatlakozó rajzgép már elkészültek. A közeljövőben elkészül egy olyan televíziós kijelzőberendezés, amely a számítógépen programozott egyszerű ábrák megjelenítését lehetővé teszi, és utána — még talán az idén, de legkésőbb jövőre — elkészül egy olyan fényceruzás berendezés, amely lehetővé teszi a képcsövön megjelenített ábrák kézzel történő korrekcióját, ami együtt jár a számológépmemóriában történő korrigálással is. Mint láthatjuk tehát, itt szoros összefüggésben áll a készüléképítés a háta mögött levő szellemi munkával, különböző fajta programozási feladatokkal. A tevékenység során szorosan együtt szeretnénk működni a számítástechnikai központtal, ahol elsősorban jelenleg a szerszámgép-programnyelv hazai applikálásával foglalkoznak.

Mint az elmondottakból látható, vannak olyan konkrét, iparilag hasznosítható és nem túlságosan távoli határidejű célkitűzéseink, melyeken fel tudjuk mérni erőnket, lehetőségeinket, ki tudjuk próbálni távlati elképzeléseink realitását. Ami az előttünk álló közvetlen feladat, az azoknak az idén és jövőre megérő tapasztalatoknak a helyes értelmezése, melyek az első eredményekből, így a *Péti Nitrogénművek* számológépes irányításából, az első önműködően készítendő bonyolultabb digitális berendezésekből, az első pályavezérlési munkákból leszűrhetők lesznek a továbbiakra vonatkozólag. A másik feladat az együttműködés további szilárd bázisának megteremtése, ami nem elhatározás kérdése — amint azt nem egyszer hangsúlyoztam, hiszen a jószándék mindenhol megvan — hanem a közös munka közös tapasztalatainak hosszú távra történő realizálása.

III. Zárószó

Az elmondottak számos kételyt tartalmaztak, és nem túl sokat ígértek. Azt hisszük, hogy ez így reális és így helyes. Számunkra most az a lényeges, hogy bombasztikus frázisok, nagyhangú ígérgetések és áltudományos nagyképűsködés helyett a hazai tudomány szerény szolgáiként igyekezzünk tevékenységünket azokra a feladatokra koncentrálni, amelyek körülményeink között megoldhatóknak tűnnek, és gyors, látványos, kirakatjellegű, de azután szétfoszló és nehezen ellenőrizhető eredmények helyett inkább a nagy csoportok egyszerű mestermunkájára irányítsuk a figyelmet, amely a mai tudomány igazi tevékenységét jellemzi, mert a valóban szilárd, a népgazdaság mérlegében is érzékelhető eredmények századunk második felében csak nagy kollektívák áldozatkész munkájával és egyúttal nagy eszközök ráfordításával születnek.

HOZZÁSZÓLÁSOK

KALMÁR LÁSZLÓ
AKADÉMIKUS

BENEDIKT akadémikus előadásához elsősorban a hazai kibernetikai kutatások fejlesztése szempontjából kívánok hozzászólni. Egyetértek BENEDIKT akadémikussal abban, hogy hazánkban elsőként azokkal a kibernetikai problémákkal kell foglalkozni, azokra kell a legtöbb szellemi és anyagi eszközt összpontosítani, amelyek a műszaki haladáshoz, az automatizáláshoz a legszorosabban kapcsolódnak. Ugyanakkor helyesen emeli ki BENEDIKT akadémikus, hogy a Magyar Tudományos Akadémiának nem szabad a kibernetika többi területét sem teljesen mellőznie. Ezt azzal indokolja, hogy csak abban az esetben ismerhetjük fel azokat a pillanatokat, amikor bizonyos más témák kutatásához nagyobb intenzitással kezdhetünk, ha egyes egyedi kutatók vagy kisebb csoportok rendszeresen tájékozódnak az általános fejlődésről és az azzal kapcsolatos problémákat saját gyakorlatukban is megismerik.

BENEDIKT akadémikus ezen érveihez azonban szeretnék további érveket is hozzáfűzni. A kibernetika, bár hallatlanul széles területet felölelő, mégis egységes tudomány. Általános kibernetikai törvényeket, amelyek aztán egy-egy szakterületen, pl. éppen a műszaki tudományok területén újszerű alkalmazások lehetőségéhez vezetnek, csak úgy lehet felismerni, ha egyes mozgásformákkal foglalkozó szaktudományok területén összegyűlik elegendő konkrét anyag ahhoz, hogy azokból ilyen törvényeket lehessen absztrahálni. Ez következik a kibernetika törvényeinek abból a természetéből, hogy azok különböző mozgásformájú anyagi rendszerekben végbemenő vezérlési, irányítási és szabályozási, valamint informatikai folyamatok esetén érvényesek, bár minden egyes konkrét esetben az éppen jelenlevő mozgásforma specifikus mozgástörvényeivel együttes hatásban érvényesülnek. Ez az oka annak, hogy valóban új és értékes kibernetikai eredményeket csak olyan intézményekben sikerült elérni, ahol különböző szakterületek, mint a műszaki tudományok, a fizika, a kémia, a biológia, a nyelvtudomány, a matematika stb. mind képviselve vannak, és az e szakterületeket képviselő kutatók között szoros tudományos együttműködés folyik.

Hogy konkrét példát említsek, a matematikai nyelvészet módszereit eredetileg elsősorban a gépi fordítás és néhány ahhoz kapcsolódó célkitűzés, mint pl. a gépi kivonatolás szükségleteinek kielégítése végett fejlesztették ki. Ma már azonban az automatikus alakfelismerés területén is alkalmazásra kerülnek, beleértve a vizuális és akusztikai alakok felismerésén kívül az olyan kérdéseket is, mint a különböző természeti kincseknek a föld mélyében való jelenlétére utaló geológiai alakzatok felismerése, vagy akár műszaki berende-

zések, akár élő szervezetek hibás működése okainak diagnosztizálása a megfigyelhető tünetek alapján.

Megpróbálom röviden megmagyarázni, hogyan lehet ilyen kérdésekre matematikai nyelvészeti módszereket alkalmazni. Nemcsak a szoros értelemben vett nyelvek tekinthetők természetes nyelveknek, hanem pl. az a nyelv is, amelyen, ti. a tünetek nyelvén, a beteg szervezet „megmondja", mi a baja és hogyan lehet meggyógyítani, vagy amelyen a geológiai mérési adatok együttese a föld mélyében rejlő kincsekről nyújt információt a földet „vallató" geológusoknak. Nos, az alakfelismerésre alkalmazott hagyományos módszerek úgy próbálták felderíteni ezeknek a nyelveknek a törvényszerűségeit, mint ahogyan a régész próbálja a számára teljesen ismeretlen nyelven írt feliratot megfejteni, holott az orvos meglehetősen jól ismeri a betegség tüneteinek nyelvét, hasonlóan a geológus a föld nyelvét és természetesen a műszaki szakember is azt a nyelvet, amelyen valamely berendezés a hibás működés módjával vagy az azt kísérő zajokkal, szikrázással stb. megmondja, mi a baja. Az orvos, a geológus, a műszaki szakember e teoretikus tudását csak a matematikai nyelvészet módszereinek felhasználásával lehet beépíteni az alakfelismerési algoritmusba. De hatékonyabban lehet pl. vizuális alakokat is felismerni valamely e célra készült berendezéssel, ha nem pusztán a felismerendő alak képelemei feketeségi foka, mint koordináták által meghatározott többdimenziós térbeli pont helyzete és a már felismert, vagy eredetileg megadott alakoknak megfelelő ilyen pontok helyzetének statisztikai eloszlása alapján készítjük a felismerési programot, hanem azt tudjuk meg, hogy a felismerendő alakok milyen egyszerűen felismerhető részekből állnak, azok milyen szintaktikai szabályok alapján kapcsolódnak össze (ezt esetleg csak „szabványos" alakok esetén adhatjuk meg, de megadjuk azokat a transzformációkat is, amelyek a többi alakot ezekből előállítják), továbbá azokat a szemantikai szabályokat, amelyek előírják, hogy egy-egy, az előbbi szabályok alapján végzett szintaktikai elemzés eredményétől függően milyen alakként ismerje fel a berendezés a felismerendő alakot, vagyis hogyan reagáljon arra.

Nyilvánvaló, hogy az alakfelismerési problémák korszerű megoldása nagyon lényeges feltétele az automatizálás hazai fejlődésének, hiszen ezek a problémák BENEDIKT akadémikus előadásában is kiemelt, az irányításnál felmerülő különböző identifikációs problémák sorába tartoznak. Így az elmondott példa mutatja, hogy kár lett volna, már csupán az automatizálási kutatások szempontjából is, elhanyagolni hazánkban a matematikai nyelvészeti kutatásokat, sőt, azok intenzívebb művelése lett volna kívánatos, mert ez megteremtette volna annak lehetőségét, hogy az irányításnál felmerülő identifikációs problémák megoldása során rövid idő alatt áttérhessünk a legkorszerűbb módszerek alkalmazására.

Ami azt a kérdést illeti, hogy a kibernetika azon területein, amelyekről pillanatnyilag nem látszik, hogy a műszaki haladáshoz, az automatizáláshoz szorosan kapcsolódnának, elegendő-e a nemzetközi fejlődéssel információs, esetleg kísérlet-reprodukciós alapon lépést tartani, és hogy ez kisebb egyetemi vagy egyéb kutatócsoportok feladata-e csupán, az a véleményem, hogy ezt a kérdést azoknak a tudományos osztályoknak kell társadalmi felelősségük és a rendelkezésükre álló eszközök terjedelmének tudatában eldönteniök, amelyek szakterületén már jelenleg is értékes alkalmazások várhatók a kérdéses területen folyó kibernetikai kutatásoktól.

A Műszaki Tudományok Osztályának kezdeményezésére az Akadémia elnöksége 1966. május 31-én, 1/1966. sz. határozatában egyetértett azzal, hogy a kibernetikának az automatizáláshoz kapcsolódó része fokozott támogatást igényel, továbbá, hogy az automatikai és kibernetikai kutatások továbbfejlesztése érdekében biztosítani kell a szegedi matematikai logikai iskola munkájának folytonosságát, ill. fokozását. Ennek ellenére az Akadémia Matematikai Logikai és Automataelméleti Kutató Csoportja, amely egyrészt a Magyar Tudományos Akadémia Automatizálási Kutató Intézetével, másrészt az Ukrán Szocialista Szovjet Köztársaság Tudományos Akadémiájának Kibernetikai Intézetével szoros tudományos kapcsolatokat tart fenn, még ma is csak kisebb tanszéki kutatócsoport, hiszen mindössze két akadémiai tudományos munkatársi álláshellyel rendelkezik és egy harmadik ilyen álláshelyre 1967. július 1-től van kilátása. Azoknak a tanszéki dolgozóknak pedig, akik ugyancsak 1967. július 1-től e kutatócsoport keretében fogják tudományos munkájukat végezni, éppen elég, a kutatócsoport tárgykörétől eltérő oktatási feladatuk van ahhoz, hogy ezek bekapcsolódását se lehessen nagymértékű nyereségnek tekinteni a kutatócsoport szempontjából. Ezek a körülmények, nem pedig a népgazdaság szempontjából fontos műszaki problémák matematikai logikai és automataelméleti vetületével való foglalkozás iránti készségünk hiánya az oka annak, hogy pl. az Automatizálási Kutató Intézetnek egy-egy probléma felvetésétől számítva túlságosan hosszú ideig kell várnia ahhoz, hogy tőlünk gyakorlatilag felhasználható tudományos eredményeket kapjon.

Ehhez még valamit szeretnék hozzáfűzni. Az említett két akadémiai státushelyen dolgozó munkatársam közül az egyik, aki éppen egy, az Automatizálási Kutató Intézet által az integrált szilárdtest-áramköri elemek segítségével történő logikai tervezéssel kapcsolatban felvetett matematikai logikai optimalizációs kérdéssel foglalkozik, a közeljövőben szándékozik egyetemi doktori szigorlatot tenni. Disszertációja azonban nem az említett matematikai logikai probléma megoldására irányuló kutatásai során eddig elért, nagyon értékes eredményeket tartalmazza, hanem olyan tételeket, amelyeket e matematikai logikai kutatásai közben, mintegy pihenőként, régebbi szakterülete, az ortogonális sorok elmélete körében bizonyított be. Bár az ortogonális sorok elméletének szakemberei ezeket az eredményeit is nagyon értékesnek tartják, fiatal munkatársunk maga bevallotta, hogy lényegesen könnyebb egy-egy ilyen tételt bebizonyítania, mint a kidolgozás alatt álló matematikai logikai optimalizációs algoritmus egy-egy részalgoritmusát kidolgoznia. Azonban a hazai matematikus közvélemény értékesebbnek tart a matematika valamely hagyományos területén elért, tételek és bizonyítások formájában megfogalmazott elméleti eredményt, mint valamely gyakorlati alkalmazás során felmerülő problémára a matematika újabban keletkezett módszereinek kevésbé elegáns alakban megfogalmazható felhasználását. Érthető, hogy egy pályája kezdetén álló fiatal kutató nem akarja kockáztatni, hogy egyetemi doktori értekezését azért ne fogadják el, mert eredményeinek jelentőségét esetleg az egyik bíráló azoknak a matematikai hagyományos területein megszokott formáktól való eltérése miatt nem tudja felismerni. Természetesen elvben minden matematikus elismeri a matematika alkalmazásának nagy jelentőségét. Konkrét esetben azonban, amikor egy-egy tudományos eredmény — akár egy egyetemi doktori, kandidátusi, vagy a tudományok doktora fokozatért benyújtott disszertáció, vagy akár csak egy matematikai folyóirathoz közlésre benyúj-

tott dolgozat — elbírálásáról van szó, legtöbb tekintélyes matematikusunk elsősorban nem a tudományos eredmény gyakorlati alkalmazásának társadalmi értékét nézi, hanem azt, milyen mértékben gazdagította a kérdéses tudományos eredmény elméleti szempontból a matematikai tudományokat. Ezért a matematikus közvéleményt kell megváltoztatni ahhoz, hogy az értékes elméleti eredmények mellett a gyakorlati alkalmazás szempontjából fontos matematikai eredmények is legalább a hozzájuk szükséges szellemi erőfeszítés arányában elismerésre találjanak. Úgy gondolom, a Műszaki Tudományok Osztálya értékes segítséget nyújthat a hazai matematikus közvélemény ilyen tekintetben való megváltoztatására irányuló törekvéseinkben.

FREY TAMÁS
A MATEMATIKAI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

BENEDIKT akadémikus előadásához csatlakozva vázolni kívánom a *Számítástechnikai Központ*ban folyó, és az automatizálás hosszútávú feladataihoz kapcsolódó matematikai, ill. programozáselméleti munkákat, röviden tájékoztatást adva a már most is látható nehézségekről, továbbá azokról a területekről, amelyek megoldásában fontos számítástechnikai résztémákat is ki kell dolgoznunk, de amelyek tudományos bázisát még nem sikerült létrehozni.

A stacionáriusnak tekinthető ipari folyamatok számológépes irányításának területén viszonylag könnyen meg lehetett oldani az Automatikai Kutató Intézet és a Számítástechnikai Központ együttműködését. Az utóbbi *Operációkutatási Osztálya* ugyanis már több éve foglalkozik — gazdaságossági és tervezési feladatok megoldása céljából — lineáris, ill. nemlineáris optimalizálással, a különböző megoldási módszerek stabilitásával, konvergenciasebességével, és memóriakapacitás-igényével. A kimunkált eredményeket viszonylag kis módosításokkal alkalmazni lehetett azokban a folyamatirányítási algoritmusokban, amelyek az Automatizálási Kutató Intézetben készülnek. A kidolgozás fázisában levő munkák viszont azzal biztatnak, hogy a mélyebb összefüggéseket is feltáró, több üzemi pontot figyelembe vevő, magasabbrendű közelítésekre támaszkodó irányítási algoritmusokat is viszonylag rövid idő alatt le lehet futtatni a használt számológépen. Különösen eredményes lehet az együttműködés az optimális irányításnak a változócsoportok particionálisai révén történő megoldásában, mert sok ilyen matematikai módszert vizsgáltunk meg a lineáris és nemlineáris optimalizálással kapcsolatban a legkülönbözőbb elméleti és gyakorlati szempontok figyelembevételével, és ezek közül jó néhány használhatónak látszik — kisebb módosításokkal — az irányítás területén felmerülő particionálási feladatok megoldására is.

Sokkal nehezebb lesz — bár a közeljövőben mindenképpen meg kell oldanunk — a két intézet együttműködését a dinamikus folyamatok optimális irányításának területén megszervezni. A Számítástechnikai Központban egyrészt a *Kibernetikai Osztályon* foglalkozunk optimális folyamatokkal kapcsolatos elvi kérdésekkel, numerikus, ill. közelítő módszerekkel, stabilitási vizsgálatokkal, másrészt a *Valószínűségelméleti és Statisztikai Osztályon* folynak olyan elméleti és számológépes kísérleti munkák, amelyek lehetővé teszik azoknak a statisztikai összefüggéseknek és törvényszerűségeknek a felderítését, amelyek lényeges szerepet játszanak egy-egy konkrét bonyolult dinamikus

folyamat optimális irányítási algoritmusában. A két intézmény kutatói között e két területen a közelmúltban megindult tapasztalatcsere azonban azt mutatta, hogy nagyon eltérő aspektusok irányították eddig a különböző csoportok vizsgálatait. A matematikai szempontból viszonylag könnyebben kezelhető modellek ugyanis általában olyan információk ismeretét tételezik fel, amelyek egy része a gyakorlati problémáknál nem hozzáférhető; emellett általában olyan vezérlési terekben lehet viszonylag könnyen megközelíteni az optimumot, amelyek műszaki szempontból hozzáférhetetlen paramétereket is tartalmaznak. A munka első fázisában, az „ismerkedés" korszakában valószínűleg elkerülhetetlen, hogy a problémakört a különböző szakterületek oldaláról megközelítő kutatók elsősorban a saját területük hagyományos fogalmaira, módszereire és fegyvertárára támaszkodjanak. Most azonban már elérkezett annak az ideje, hogy a matematikai modellek vizsgálatánál egyre erősebben figyelembe vegyük a méréstechnikailag hozzáférhető bemenőinformációk, ill. a műszakilag valóban irányítható vezérlési paraméterek valódi halmazát; a mérnököknek viszont a problémák felvetésénél és a gyakorlati megoldási módszerek kimunkálásánál maximálisan tekintetbe kell venniök azt, hogy milyen matematikai modelleknél van remény hatékony megoldási algoritmusok kidolgozására. A közeljövő egyik legfontosabb feladatának látszik az együttműködés olyan formáinak létrehozása, amelyek biztosítják a hatékony kétoldalú közeledést.

Hasonlóképp a közeljövő feladata a vezérlési, ill. irányítási feladatok megoldására orientált programnyelvek, ill. ezekhez tartozó jó fordítóprogramok kidolgozásában az együttműködés elmélyítése. E feladatkör *első fázisa:* azoknak a fogalmaknak, formulatípusoknak, ellenőrzési és méretezési módszereknek, ill. formuláknak összegyűjtése és a lehető legpontosabb leírása, amelyek a kérdéses feladatkörben előfordulnak, döntően mérnöki munka. A *második fázis:* ezek alapján a nyelv szintaxisának és szemantikai vonatkozásainak precíz kidolgozása és a fordítóprogram elkészítése viszont matematikai feladat. Mindkét fázishoz biztosítani tudjuk a megfelelően képzett szakembereket. A felmerülő feladatok munkaigényessége azonban — ahogy ezt BENEDIKT akadémikus referátumában vázolta — olyan nagy, hogy lehetőleg minden, külföldön már elkészült programot át kell vennünk az akadémiai számológép megvásárlásakor, mert még ezeknek a hazai anyagokhoz és szabványokhoz történő adaptálása is óriási munkát igényel. Intenzív kutatómunka indult meg a Számítástechnikai Központ Kibernetikai Osztályán az automaták matematikai elmélete, főleg pedig a számológéppel is realizálható redukciós és konstrukciós algoritmusok, továbbá az ún. kísérleti algoritmusok területén; ez utóbbiak révén ismeretlen tulajdonságú automatákra vonatkozó információkat lehet feldolgozni, és ezáltal azokat egyre pontosabban utánzó automatákat lehet konstruálni. Az így kimunkált algoritmusok hatékony segédeszközöket jelentenek egyfelől az identifikációs problémák, másfelől a digitális rendszertechnika egyes tervezési feladatainak megoldása területén. Mindkét vonatkozásban kezd kialakulni az együttműködés az Automatikai Kutató Intézet és a Számítástechnikai Központ kutatói között.

BENEDIKT akadémikus referátumában említette, hogy ki kell fejleszteni olyan önműködő digitális rendszertervező és építő számítástechnikai módszereket és ezen alapuló technológiákat, amelyek lehetővé teszik középbonyolultságú rendszerek automatizált gyártását. Ennek a feladatnak van több olyan matematikai vetülete — a Boole-függvények egyszerűsítésére szolgáló külön-

böző algoritmusok, gráfelméleti és topológiai jellegű problémák optimális és technológiailag is könnyen realizálható digitális megoldási algoritmusai, ahol jelenleg még nem rendelkezünk elegendő tapasztalattal, ill. megfelelően képzett szakemberekkel ahhoz, hogy sikeresen megbirkózhassunk a problémákkal. Nagyon fontos feladatunk tehát, hogy ezeken a területeken a gyors tudományos fejlődés lehetőségeit megteremtsük.

BENEDIKT akadémikus előadásában részletesen beszámolt arról, hogy az „Automatizálási kutatások" komplex bizottság egyik legfontosabb feladata a felmerülő, több tudományág szakembereinek együtműködését igénylő feladatok megoldásának biztosítása céljából a különböző szakterületek kutatói között az intenzív tudományos tapasztalatcsere és együttes munka feltételeinek megteremtése. Az elmondottak is alátámasztják a feladat fontosságát.

A HAZAI FÉLVEZETŐFIZIKAI ALAPKUTATÁSOK*

SZIGETI GYÖRGY
AKADÉMIKUS

A szilárdtestek fizikája az utolsó évtizedekben olyan eredményeket ért el, amelyek az ipar számos területén alapvető változásokra vezettek. Ezen a területen hazánkban is intenzív kutatás folyik; ma ennek egy kiragadott részével kívánok csak foglalkozni. Igy nem beszélek a szilárdtestek kötésére vonatkozó alapvető eredményekről, amelyeket GOMBÁS PÁL most megjelent „Pseudopotentiale" című könyvében foglalt össze; ugyancsak nem térek ki a fém-fizika, kohászat, mágneses anyagok, az alkáli-halogenidek vonatkozásában elért eredményekre, amelyek egy része ezen ülésszak során más előadásokban kerül ismertetésre. Ugyancsak nem foglalkozik előadásom sok más érdekes téma mellett a *Szegedi József Attila Tudományegyetemen* félvezető anyagokkal kapcsolatban folyó kutatásokkal sem, amelyek eredményeinek kibontakozása későbbre várható.

Félvezető anyagok alkalmazása az elektronikában egyáltalán nem tekinthető újnak, hiszen már kb. fél évszázaddal ezelőtt, a rádiózás hőskorában használták a mai félvezető diódák legegyszerűbb változatát, a kristálydetektorokat; már 1924—28 között foglalkozott és leírta LOSZEV a SiC kristályokon észlelt elektrolumineszkáló fényjelenséget, az ezzel egyidejűleg mutatkozó negatív feszültség—áram karakterisztikát és a tűkontaktusú kristályokon fellépő oszcillációkat — a mai Gunn-diódák ősformáját.

Időközben az elektroncsövekkel elért óriási sikerek egy időre teljesen háttérbe szorították a félvezetők használatát és az idevágó kutatómunkát. Talán csak a rézoxidul és szelén egyenirányítók és fényelemek voltak azok a félvezető eszközök, amelyek mutatták, hogy ezen a területen még óriási lehetőségek állnak nyitva.

A tranzisztornak BARDEEN, BRATTAIN és SHOCKLEY által 1948-ban történt felfedezése azonban újra lángra lobbantotta e kutatást, és utat nyitott egészen új félvezető eszközök kifejlesztésére. Ma már nemcsak az elektronikában játszanak döntő szerepet a félvezető eszközök, hanem a félvezető áram-

* Elhangzott a Magyar Tudományos Akadémia 1967. évi közgyűlése alkalmából a Műszaki Tudományok Osztálya, valamint a Matematikai és Fizikai Tudományok Osztálya közös rendezésében tartott „Szilárd testek kutatása" tudományos ülésszakon, 1967. május 4-én.

irányító nélkülözhetetlen eszköze az erősáramú technikának is, és forradalmasította pl. a villamos és Diesel-villamos mozdonyok konstrukcióját.

Visszatérve az elektronika területére, érdemes megemlíteni, hogy az Amerikai Egyesült Államok 1966. évi elektronikai célokat szolgáló félvezető eszköz fejlesztése az egyedi diódák és tranzisztorok irányából (eltekintve a mikrohullámú területen alapvetően fontos, de viszonylag kis darabszámban szükségelt varaktor diódáktól és az oszcillátorként használt Gunn-diódáktól) mindinkább az ún. integrált áramkörök felé tolódik el. (Ezek exportja az Amerikai Egyesült Államokból 1965-ről 1966-ra 5,5-szeresére nőtt, míg a teljes félvezető eszköz export növekedése csak kb. 1,6-szeres.) Az alkalmazott technika lényege ma már a legkorszerűbb planáris tranzisztoroknál és integrált áramköröknél egyaránt az, hogy a kívánt elektródelrendezés vagy áramkör rajzát nagyméretű ábráról kicsinyítve, fényképészeti úton viszik fel a simára csiszolt és megfelelő fényérzékeny réteggel bevont félvezető egykristály-lapka felületére, és a keletkező ábra szerint maratják vagy oxidálják a félvezető felületet. Hasonló eljárással egy vékony lemez felületére fényképezik azt az ábrát, amelynek megfelelően a lemez maratásakor keletkezett nyílásokon át újabb félvezető-, fém- vagy oxidréteget lehet az eredeti félvezető lapkára párologtatni. A félvezető felületre párologtatott megfelelő fémréteget lehet azután hőkezeléssel a félvezetővel ötvözni, vagy esetleg abba a kellő mélységig diffundáltatni.

Ezzel a technikával lehet a tranzisztorokon és diódákon kívül ugyanazon a pár mm^2 felületű, kb. 1/10 mm, vagy ennél is vékonyabb lapkán az áramkör passzív elemeit: a kondenzátorokat és ellenállásokat és az ezeket összekötő vezetékeket is előállítani. Ez a technika — mely jelenleg a legkorszerűbb irányt jelenti — van hazánkban is kifejlesztés alatt az *Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt*-nál. Az eszközök kidolgozására igen komoly ipari kutatás folyik az említett vállalatnál és a vele együttműködő *Híradástechnikai Ipari Kutatóintézetben*. Ez az eszközfejlesztő kutatás azonban nem támaszkodhat kizárólag az irodalomból merített alapkutatási eredményekre, szükség van arra is, hogy egyes kritikus kérdésekben saját alapkutatást is folytassunk egyrészt az ipar és ipari kutatás intézményein belül, másrészt a „főfoglalkozásszerűleg" alapkutatással foglalkozó, de az iparral és ipari kutatással legszorosabb együttműködésben dolgozó intézményekben.

Igen alapos megfontolásra volt szükség, hogy kitűzzük azokat az alapkutatási szempontokat, amelyek az ipar számára, figyelembe véve a jelenlegi helyzetet és a várható perspektivikus fejlődést, a legfontosabbak, és amelyek irányában a rendelkezésre álló erők és eszközök kellő koncentrálásával eredmény kilátásával kutatnunk kell. Világos, hogy erőnk korlátozott volta miatt nem vállalhattuk, hogy minden témában hazai intézményekben fogunk kutatást kezdeni, hanem a KGST-ben tömörült országok kutatóintézményeinek eredményére is kell számítanunk. Itthon azokat a témákat műveljük,

amelyek terén a hazai iparral való legközvetlenebb együttműködés kívánatosnak, lehetségesnek és a legeredményesebbnek látszik.

Mindezek figyelembevételével tette az Akadémia *Műszaki Fizikai Kutató Intézete* alapkutatási programjának súlyponti kérdésévé a félvezetők felületi jelenségeinek kutatását, továbbá a félvezető kristályok hibáinak és ezeknek a fizikai tulajdonságokra gyakorolt hatásainak vizsgálatát.

A felületek vizsgálata és az itt lejátszódó jelenségek kutatása ad betekintést a fentiekben vázolt technológia alapjelenségeibe, de — mint az könnyen belátható — a kész eszközök felületén lejátszódó jelenségeknek van döntő szerepe az eszközök időbeli stabilitása és élettartama szempontjából is.

A félvezető egykristályokban fellépő hibák viszont a gyártás egyenletességét, a reprodukálhatóságot és a selejt alakulását befolyásolják döntően. Különösen fontos annak ismerete, hogyan keletkeznek az egyes hibafajták, továbbá az alapkristály különféle hibáinak mi a szerepe az eszköz működése szempontjából (pl. a hőkezelésnél egyes szennyező- vagy adalékanyagok a kristályban levő diszlokációk mentén sokkal gyorsabban mozognak, mint a hibátlan kristályrácson keresztül; a kristályon áthaladó töltéshordozók a hibahelyeken szóródnak, felületi hibákon visszaverődnek, de az eredetitől eltérően át is hatolhatnak).

A következőkben a fenti szempontokat, mint kiindulási alapot tekintve, szeretnék a hazai félvezetőfizikai alapkutatás néhány eddig elért eredményéről és ezek további kilátásáról szólni, anélkül, hogy teljességre törekvő beszámolót kívánnék az idevágó munkákról adni.

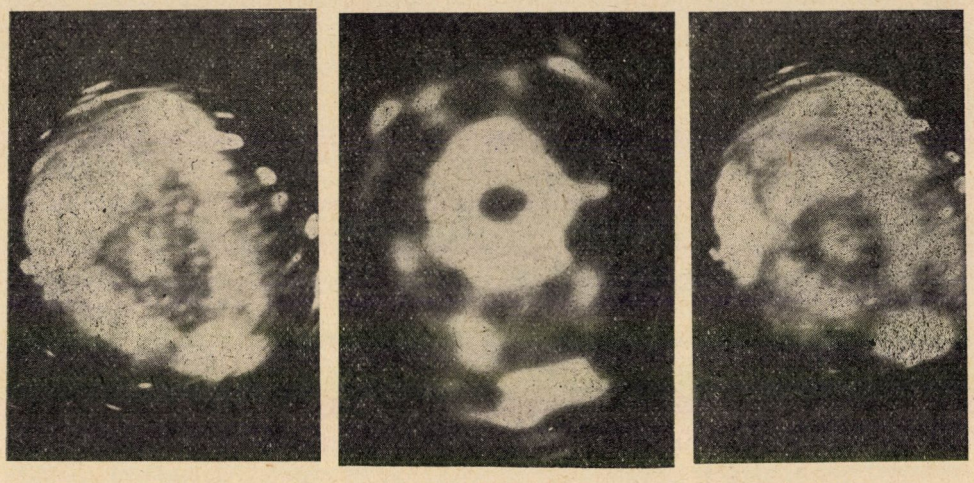
A felületi jelenségek vizsgálatánál célul tűztük ki elsősorban lehetőség szerint tiszta félvezető felületek előállítását és ezek vizsgálatát ugyancsak a lehetőség szerint jó vákuumban. Második célkitűzésünk volt a felület és környezetének kölcsönhatását tanulmányozni, vizsgálni különféle atmoszférák hatását a felületre, és tanulmányozni az egyes kémiai és fizikai kezelések (maratás, hőkezelés) hatásait.

A Híradástechnikai Ipari Kutatóintézetben Ernst Lajos ultravákuumban térdeszorpció segítségével germániumcsúcsokat tisztított le a F. G. Allen által leírt módszer szerint, és a Müller-féle téremissziós mikroszkóppal figyelte meg a germániumcsúcs felületéről kapott képet. Az állandó téremissziós áram létrehozásához szükséges térerősség változásának regisztrálásával kvantitative követni tudta az adszorbeált oxidréteg térdeszorpcióját [1]. Ezt a módszert továbbfejlesztve elsőnek sikerült neki 10^{-6}—10^{-8} Torr nyomástartományban az atomosan tiszta germániumfelület oxigénadszorpcióját kvantitative követni és az adszorpciónak az egyes kristálytengelyek szerinti különbségét kvantitatíve meghatározni. Ugyancsak kvantitatíve tudta követni ezzel a módszerrel a magasabb hőfokon bekövetkező felületi atomvándorlást is (1. ábra) [2].

Ezen vizsgálatok azt is világosan mutatják, hogy „atomosan tiszta" germániumfelület még az eddig előállítható legjobb vákuumok esetén is csak percekig létezhet (10^{-8} Torr nyomáson másodpercekig).

E kísérleti eredmények és más szerzők, más módszerekkel végzett vizsgálatai is egyértelműen azt bizonyítják, hogy a gyakorlatban feldolgozásra kerülő germániumfelületek kb. 10—30 Å vastagságú oxidréteggel vannak borítva.

Különféle eredetű kész félvezető eszközöket vizsgálva Bodó Zalán vezetésével Pataki György és Lőrinczy András arra a következtetésre jutottak, hogy a viszáramnak átvezetés jellegű, időben változó komponensének hőmérséklettel való változása rendkívül hasonló a jég vezetőképességének hőfokfüggéséhez [3, 4]. Ezen felismerések alapján a *Műszaki Fizikai Kutató Intézet* és a *Híradástechnikai Kutató Intézet* kutatói összehangolt, szisztematikus munkába kezdtek, és megállapították, hogy a félvezető felületek állapotát illetve annak változásait a rajta levő oxidréteg és adszorbeált vízréteg kölcsönhatása határozza meg.



a) *b)* *c)*

1. ábra

Az így nyert ismeretanyag birtokában a kutatásokba bekapcsolódó és együttműködő Egyesült Izzónak félvezetőfejlesztési csoportja a pár évvel ezelőtt elég instabilnak mutatkozó tranzisztorainak megbízhatóságát a világszínvonalra tudta emelni. Az *Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt.* saját laboratóriumában tovább folytatja kutatásait a Ge- és Si-felületek adszorpciós tulajdonságainak vizsgálatára, a lassú és gyors állapotok kémiai modelljének és a félvezető határfelületeken lejátszódó elektrokémiai jelenségeknek tisztázása céljából. Erről részletesebben majd Giber János fog beszámolni.

A Műszaki Fizikai Kutató Intézetben Németh Tiborné, Lőrinczy András és Farkasné Jahnke Mária megállapították, hogy az az oxidréteg, amely az általánosan használatos félvezető technológiai felületkezelési eljárások során keletkezik, hexagonális struktúrájú. (Ilyen eljárások a szokásos lúgos perhidrolos kezelés, szuperoxolos kezelés, termikus oxidálás stb.)

A 2. ábrán ilyen felületkezelés utáni minta elektrondiffrakciós képe látható, amely tiszta hexagonális struktúrát mutat.

Miután megállapítást nyert az, hogy a hexagonális struktúrájú oxidból kiinduló párologtatott réteg csak időlegesen amorf struktúrájú, de az idő során visszaalakul hexagonálissá, kísérletet végeztek el tokozatlan félvezető eszközök vastag párologtatott oxidréteggel való megvédésére.

Azt az eredményt kapták, hogy kis relatív nedvességtartalmú környezetben a paraméterek időben állandóak voltak. Komolyabb környezeti behatás esetén azonban (huzamosabb idejű vízgőzbehatás) ez az oxidréteg nem nyújt védelmet.

A por alakú, hexagonális módosulatú germániumdioxid — méréseink szerint — mintegy 2% vizet tartalmaz adszorbeálva, illetve kemoszorbeálva normál körülmények között (szoba-hőmérséklet, 70% relatív páratartalom).

2. ábra

Mindezek alapján azt a következtetést vonhatták le, hogy a hexagonális germániumdioxid a germánium felületét illetőleg nem stabil, oldható, vizet adszorbeálva a felületen ionos vezetést, „channel" mechanizmus felléptét segítheti elő.

A félvezető eszközök készítésénél korábban valóban jelentkezett a tokozásnál bezárt nedvesség káros hatása. E jelenség elleni védekezés gyakorlata több módszert ismer, amelyek közül a töltőanyagok (szilikon zsír), valamint vízlekötő anyagok alkalmazása (szilikagél) közismert.

Kevésbé ismeretesek azok a módszerek, amelyek a víz inaktiválására különféle kémiai reakciókat használnak.

E munkahipotézis alapján végezték el a kísérletsorozatot a kinon—hidrokinon hatásmechanizmusának tisztázására.

A kísérleteket tranzisztorokon végezték, a kvantitatív eredmények egykristálylapokon végzett mérésekből adódtak. E vizsgálatokkal a felületek stabilitásában legfontosabb szerepet játszó paraméterekre (rekombinációs

sebesség, visszáram, felületi potenciál stb.) kaptunk felvilágosítást. Megállapítást nyert, hogy a felületre jutó kinon kedvezően befolyásolja a felületi rekombinációs sebesség értékét. Az eredmények a kinon—hidrokinon redox rendszer kémiai egyensúlyának kialakításával, valamint a hidrogénhidak képződésével immobilizált víz ionvezetőképességének csökkenésével értelmezhetők [5].

A mechanikailag kialakított félvezető felületek kémiai előkészítése több feltételt kell hogy kielégítsen. Ilyenek: meghatározott vastagság, alak elérése, a felületi érdesség minimális értéken tartása, előzetesen kialakított diffúziós réteg védelme stb. E feladatok elérésére a Műszaki Fizikai Kutató Intézet kémiai eljárásokat dolgozott ki [6—8].

Véleményünk szerint a legtökéletesebb megoldás az, ha a germánium vagy az abból készült eszközök felületén olyan, közel szigetelő védőréteget alakítunk ki — a germánium tetragonális szerkezetének homogén folytatásával — amely újabb felületi állapotokat, hibákat nem hoz létre és a környezeti behatásokra nézve extrém körülmények esetén is inaktív marad. Ilyen tulajdonságú a tetragonális módosulatú germániumdioxid.

Tapasztalataink szerint a tetragonális germániumdioxid vízben nem oldódik, vizet nem adszorbeál, még a drasztikus kémiai behatásnak, mint pl. hidrogénfluorides kezelésnek is ellenáll, sőt magas hőmérsékletű és nagynyomású vízgőzzel szemben is nagyfokú stabilitást mutat, szemben a hexagonális módosulattal.

Ezek a tények, valamint az ebben az irányban folyó széleskörű nemzetközi kutatás arra mutatnak, hogy a tetragonális dioxid kialakítása jelenti a felület stabilizálásának megoldását.

Vizsgálatok folynak a Műszaki Fizikai Kutató Intézetben és tanulmányozzák azokat a kísérleti körülményeket, amelyek között a hexagonális germániumdioxid módosulatból annak tetragonális formája állítható elő.

Az átalakítás körülményeinek tanulmányozása során csak érintőlegesen foglalkoztak a mineralizátorok és ionkatalizátorok hatására bekövetkező módosulatváltozásokkal, minthogy ezek az oxid ionos szennyezőtartalmát, ezen keresztül ezek vezetőképességét nagymértékben megnövelik.

Ezzel szemben ismeretes, hogy a hexagonális módosulat kvantitatíve áttranszformálható tetragonális módosulattá, vízzel katalizált folyamatban.

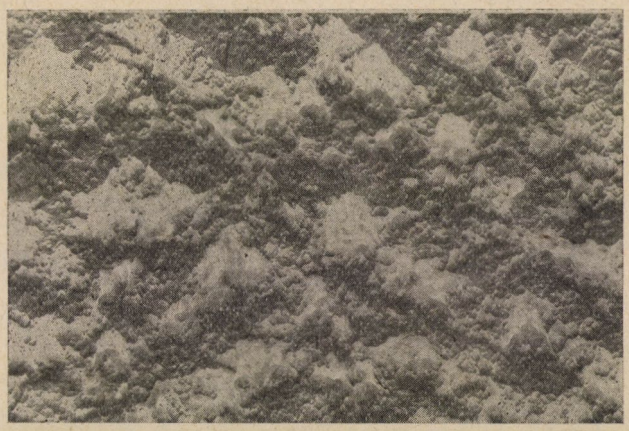
A vizsgálatok során megállapították, hogy a vízkatalízis extrém körülményei mérsékelhetők, pl. más nem ionos komponens alkalmazásával.

Annak ellenére, hogy az átalakulás mechanizmusa teljes egészében még nem tisztázott, reményteljesnek látszik annak megoldása, hogy a technológiai gyakorlatban alkalmazható körülmények között a tetragonális oxid kialakítható.

A kísérletek végcélja természetesen nem az átalakulás mechanizmusának tisztázása csupán, hanem ennek felhasználása tetragonális stabilizáló felületi rétegek kialakítására.

Éppen ezért megvizsgálták azokat a körülményeket, amelyek között a germánium felületén oxidréteg alakítható ki. Megállapították, hogy a termikus és elektrokémiai oxidációval kialakított felületi filmszerkezet nagymértékben a germánium inhomogenitásainak függvénye, és így előnytelen.

Különleges kémiai maratások esetén, az eddigi kísérletek szerint lehetőség van tetragonális módosulat előállítására is, azonban csak nagymennyiségű amorfmódosulattal együtt.



3. ábra

A 3. ábra ilyen felület 70 000-szeres elektronmikroszkópos képét mutatja, míg ugyanennek a felületnek elektrondiffrakciós képét a 4. ábra szemlélteti.

A tetragonális oxid módosulat legmegbízhatóbb előállításának a hidrotermális módszer mutatkozik. Ezzel a módszerrel tiszta formában sikerült a tetragonális oxidot előállítani a germánium felületén.

Az átalakítási körülmények jelenleg olyanok, hogy azok közvetlenül félvezető eszközöknél, illetve üzemi technológiánál nem alkalmazhatók.

A Műszaki Fizikai Kutató Intézet vizsgálatai olyan irányban is haladnak, hogy csökkentsék az előállítási hőmérsékletet. Az eddigi vizsgálatok nem zárják ki, hogy a módszer alkalmazhatósága félvezető eszközökre is kiterjeszthető lesz.

Az eddigiekben azokról a kísérletekről volt szó, amelyek segítségével bizonyos mértékig sikerült stabilizálni a germánium kristályfelületét. Az irodalomból ismert, hogy hasonló problémák merülnek fel szilíciumegykristályoknál, illetve szilícium alapanyagú félvezető eszközöknél is. Itt amerikai folyóiratok [9] szerint a legutóbbi időben sikerült eredményt elérni oly módon, hogy a kész szilícium félvezető eszköz felületét SiN réteggel vonták be. Az ily módon védett tranzisztorok vagy integrált áramkörök állítólag tartósan bírják az atmoszferikus behatásokat, és stabil eszközök készíthetők tokozás nélkül, csak műanyagba való beágyazás mellett.

A felületek, a felületeken adszorbeált rétegek vizsgálata igen sok gondot okoz a kutatóknak.

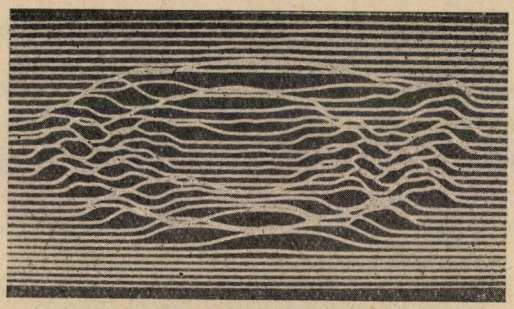
Igen tiszta felületek vizsgálatára például alkalmas módszer a fentiekben már említett téremisszós leképezése a felületnek. Végeztek vizsgálatokat a felület kilépési munkájának meghatározására kontakt-potenciál mérése segítségével. Sok publikáció jelent meg tiszta félvezető felületeken adszorbeált vékony rétegeknek a kisenergiájú elektrondiffrakcióval történő vizsgálatáról.

A Műszaki Fizikai Kutató Intézetben a fotoáram mérése, illetőleg a fotoáram megindulásához szükséges határhullámhossz mérése útján próbálják a félvezetőfelület kilépési munkáját és így a felület minőségét kvantitatíve meghatározni.

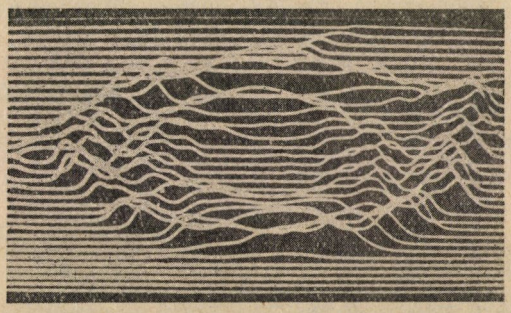
4. ábra

A Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetben TIHANYI JENŐ és PÁSZTOR GYULA [10] dolgoztak ki egy rendkívül szemléletes és hasznos módszert. Módszerük lényege abban áll, hogy mikroszkópon át egy Nipkov-tárcsa segítségével fénysugárral végigtapogatják a vizsgált félvezető felületet, és a keletkező fotofeszültséget egy képernyőre viszik. Ily módon rétegvonalszerűen megkapják a felület jellegzetes képét. Vizsgálataikból a HIKI-ben készült Si planáris tranzisztorok stabilitására, az atmoszferikus hatások okozta változásokra, továbbá a bediffundáltatott adalékanyagok eloszlására vontak le fontos következtetéseket. Felvételeik közül néhányat az 5. és 6. ábrák mutatnak. Ez a vizsgálati mód, mint látható, a gyártás rendszeres ellenőrzésére is alkalmas lehet.

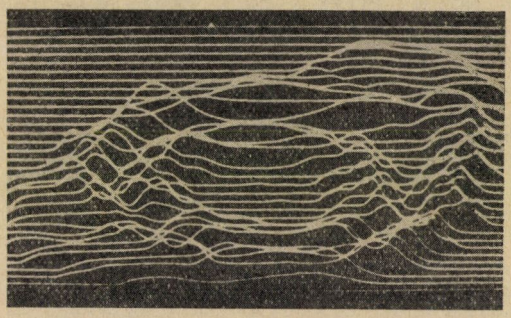
A kutatások másik vonala a felületek továbbépítését vizsgálja, félvezető vagy más felületeken képződő vékony kristályos rétegek keletkezési és növekedési mechanizmusának feltárását célozza. Az ez irányú kutatások hivatottak előmozdítani az ún. epitaxiális kristálynövekedés megismerését, amelyre jellemző, hogy az alapkristályéval azonos orientációjú kristály nő egy kristályfelületen. A növekmény lehet a hordozó kristállyal azonos anyag, de attól különböző is. Ez utóbbi esetben heteroepitaxiáról beszélhetünk. A heteroepi-



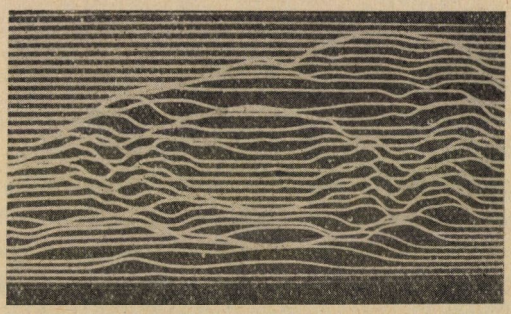
a)



b)



c)

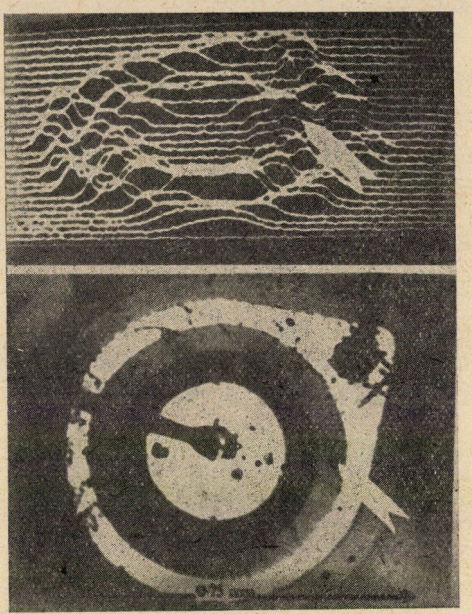


d)

5. ábra

taxia és különösen a hetero-átmenetek vizsgálatától még érdekes eredményeket várunk.

A félvezető egykristály epitaxiális növesztésére a leggyakrabban általában az ún. transzport reakciókat használják, amelynek lényege, hogy a hordozó vagy alapkristály felületén egy kémiai reakció megy végbe, és a reakciótermék, az elemi félvezető vagy a kívánt intermetallikus félvezető vegyület a hordozó kristály felületén visszamarad, a hordozó egykristályt továbbépíti. A felületen



6. ábra

lezajló folyamat a félvezető elemet tartalmazó vegyület hőbomlása vagy redukciós bomlása. (A gyakorlatban a félvezető halogenidek hidrogénes redukciója a legelterjedtebb.)

Ennél a folyamatnál a reakció körülményeitől függően a transzport iránya meg is fordulhat, mikor is a reakció a felületet a különböző szennyezőktől és az adszorbeált oxidrétegtől megtisztítja, és ilyen módon a hordozó kristály struktúrájának megfelelő réteg akadálytalanul képződik.

Más a helyzet abban az elvileg sokkal egyszerűbbnek látszó esetben, amikor az epitaxiális növesztést vákuumban próbáljuk meg. Még igen jó vákuumban is nagyon nehéz feladat a felület megtisztítása az adszorbeált szennyezőktől és az oxidrétegtől. De ha a tisztítás meg is történt, akkor is rövid a tiszta felület élettartama. Viszont a kristályfelületekről ez az eljárás igen sok új információ megszerzését teszi kilátásossá. Éppen ezért a Műszaki

Fizikai Kutató Intézet a transzportreakcióval történő epitaxiális növesztés mellett a vákuumpárologtatási módszert is programjába iktatta.

Ezt a munkát 1962—63-ban kezdte meg az intézet. Az első megválaszolandó kérdés akkor az volt, hogy alkalmas-e a vákuumpárologtatás epitaxiális növesztésre. Ez a kérdés, hogy ha alkalmas, hogyan, ha nem, miért nem, világszerte foglalkoztatta a kutatókat, tekintettel arra, hogy vákuumpárologtatásnál segédanyag, hordozógáz, egyéb idegen reakciópartner nem szükséges, valamint a hordozó kristály és a növekmény különböző anyag is lehet. A PFEIFER JUDIT által megkezdett elektronbombázással kombinált Ge-növesztési kísérlet [11] újszerű módon és egyértelműen igazolta, hogy a vákuum-epitaxia lehetséges, de ugyanekkor felhívta a figyelmet a radikális felülettisztítási eljárás és a ráépült réteg jellegzetes morfológiai hibái közötti összefüggésre.

A Műszaki Fizikai Kutató Intézet jelenleg a vákuum-epitaxiával kapcsolatos kérdéscsoportból az alábbiakkal foglalkozik: A reális — tehát oxidréteggel borított — felületeken végbemenő kristálynövekedés sajátosságai, mechanizmusa. Itt különbséget kell tennünk az egyes atomok vagy atomi rétegek beépülési mechanizmusa és a makroszkópos réteg felépülése között. A réteg növekedés időben végbemenő folyamat, és a felületre ütköző első atomok általában teljesen más helyzetben vannak, mint a későbbiek. A réteg kialakulásának, felépülésének ideje alatt a réteg kristályos és elektromos tulajdonságait befolyásoló körülmények mind kedvező, mind kedvezőtlen irányban eltolódhatnak, éppen a réteggel és egymással való kölcsönhatásaik eredményeképpen. Ha pl. a maradék gáz sok oxigént tartalmaz, és a párologtatás lassú, a félvezető kristály oxidos felülete folytonosan regenerálódik. Ha a párologtatást ultravákuumban az előbbi példával azonos sebességgel végezzük, az első valamilyen módon kialakult összefüggő kristályréteg felülete már tiszta, a további ráépülés tiszta felületre történik, de természetesen lehet már a kiindulási felület is tiszta. Maga a párologtatási sebesség, a növekedési sebesség, mint a kristálytulajdonságokat befolyásoló tényező viszont olyan értelemben is hat, hogy a lassabban növekvő réteg atomjai feltehetően nagyobb valószínűséggel épülnek be az optimális helyre.

E példákban ismertetett és egyéb paramétereknek a változtatásával különböző módon végrehajtott növesztések és az eredményezett rétegek sajátságainak vizsgálatával, egybevetésével kell majd következtetnünk arra, hogy mi is történik valójában a tisztítatlan felületen levő oxidréteggel.

A reális felületen végbemenő növekedés sajátosságai, az eredményezett kristályos réteg hibái szoros összefüggésben vannak a második problémakörrel, amellyel az intézet ezen téma keretében foglalkozik. Ez az epitaxiális rétegekben fellelhető jellegzetes kristályhibák vizsgálata. Itt elsősorban az elektromos- és hővezetőképesség, illetőleg különböző adalékanyagok diffúzió-állandójának az epitaxiálisan nőtt rétegben mért értékeit és a réteg szerkezetét, kristályhibáit vetjük egybe. A transzportjelenségeknek a rétegekben való vizsgálata

természetesen nemcsak a rétegek szerkezetének, hanem maguknak a transzportjelenségeknek a jobb megismerését is eredményezi.

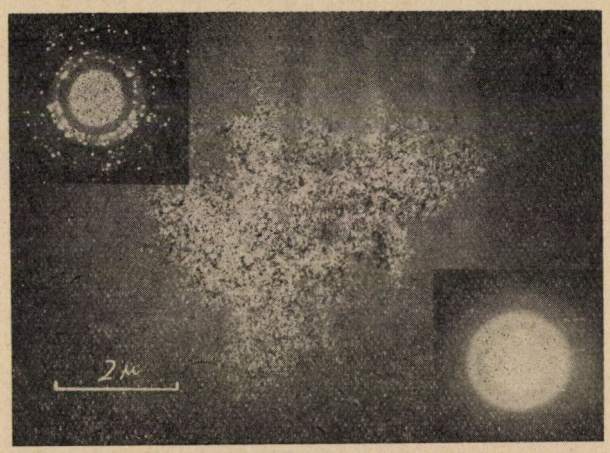
A harmadik problémakör az epitaxiális rétegnövesztésnek kizárólag a vákuum módszerével, mégpedig az ultravákuum körülmények között párologtatott félvezető rétegek felületével kapcsolatos. A reális félvezető felületek nagy gyakorlati jelentőséggel bíró kutatásánál mindig szükség van mint összehasonlításra, kiindulásra, ultratiszta felületre is. Az ultratiszta felület előállítása történhet az oxidos tartomány ultravákuumban történő eltávolításával vagy pedig olyan új egykristály réteg felvitelével, amely még nem tartalmaz oxidot. Az ilyen módon előállított ultratiszta felületen azután végrehajtjuk a kívánt méréseket, kísérleteket, mint például elektronkilépési munka mérését, adszorpciót stb.

Igen érdekes eredményeket adott a kristálynövekedés mechanizmusának közvetlenül elektronmikroszkóppal való folyamatos megfigyelése. Bármily egyszerűnek is látszott a vizsgálatok elvégzése a Műszaki Fizikai Kutató Intézet birtokában levő kitűnő japán elektronmikroszkóppal *(JEM 6A)*, az eredményes kutatómunkához számos problémát kellett megoldani. Pl.: a mikroszkóp belsejében kellett elhelyezni a filmfelvevőt, hogy a kellő feloldóképesség mellett a szükséges rövid expozíciós időket biztosíthassuk, gondoskodni kellett a felvevő teljesen rázkódásmentes működéséről. (A tárgy rezgésének amplitúdója nem haladhatja meg a néhány ångströmöt.) Gondoskodni kellett arról, hogy a vizsgált objektum környezetében a kellő jó vákuumot fenn lehessen tartani. Mint az előzőekben már említettem, a kristály felületét már 10^{-8} Torr nyomású gázatmoszféra elszennyezi, míg a mikroszkóp terében legjobb esetben csak 10^{-6} Torr uralkodott. Ezért a céltárgy környezetét külön utólag beépített kifagyasztóval kellett az olajgőzöktől védeni, és a kellő vákuumot az objektumtérben a céltárgyra dolgozó miniatűr titánion-getterszivattyúval kellett biztosítani. Mindezen feladatokat Pócza Jenő, Barna B. Péter és Barna Árpád oldották meg, és ők végezték az eszközzel a vizsgálatokat [12].

A Román Tudományos Akadémia Bukaresti Fizikai Intézetével, Grigorovici professzor és csoportjával közös kutatási terv keretében végzett vizsgálatok a párologtatott Ge-rétegek viselkedésének néhány alapvető kérdésére irányultak. Tisztázták azokat a szerkezetátalakulási, átkristályosodási folyamatokat, amelyek az amorf és polikristályos Ge-rétegek hőkezelésénél lépnek fel. Ezek szerint az amorf rétegek átkristályosodása a réteg teljes vastagságában keletkező gócokon indul meg, és sugárirányban terjed tovább (7. ábra) [12—15].

A réteg a teljes átkristályosodás alatt különböző méretű krisztallitokból épül fel. Az átkristályosodás közben igen jelentős anyagtranszport léphet fel.

Az elektronmikroszkópban párologtatott Ge-rétegek megfigyelése azt igazolta, hogy a Ge-rétegek kialakulására a fémrétegek növekedésénél leírt alapfolyamatok jellemzőek. Ezek szerint az amorf szénhártyára történő kon-

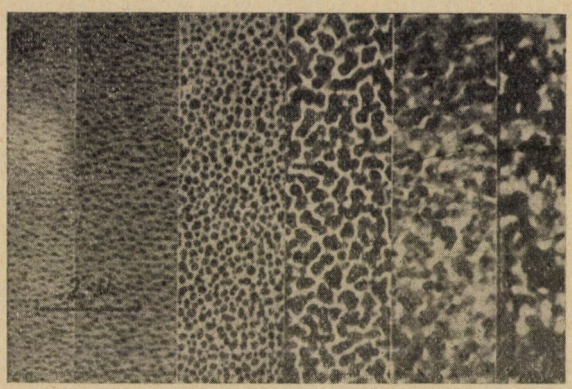


7. ábra

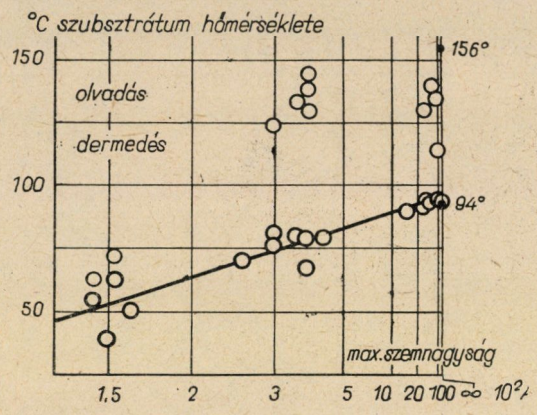
denzáció 280 C° hordozóhőmérséklet felett 10^{-5} Torr-nál kisebb nyomáson, 30 Å/sec párologtatási sebesség esetén magképződéssel megy végbe, s a szemcsék összenövésére a folyadékszerű viselkedés, forma és mozgékonyság (8. ábra) jellemző. Ez azt jelenti, hogy a párologtatott fémrétegek kialakulására ma már meglehetősen kiterjedt ismeretanyag adaptálható lesz a félvezető rétegek kialakulására is, s így remélhetjük, hogy egységes kép alapján tudjuk majd magyarázni a hibahelyek beépülésének mechanizmusát.

A fémek közül modellanyagként választott indiumrétegek vizsgálata több, irodalomban is új eredményt adott [16].

Az elektronmikroszkópban 10^{-8} Torr nyomástartományban „in situ" végzett kísérletek kvantitatív összefüggést adtak a szubmikroszkópos méretű szemcsék termodinamikai sajátságaira, a tömegtől függő kritikus olvadáspontra és kristályosodási hőmérsékletre (9. ábra) [17].



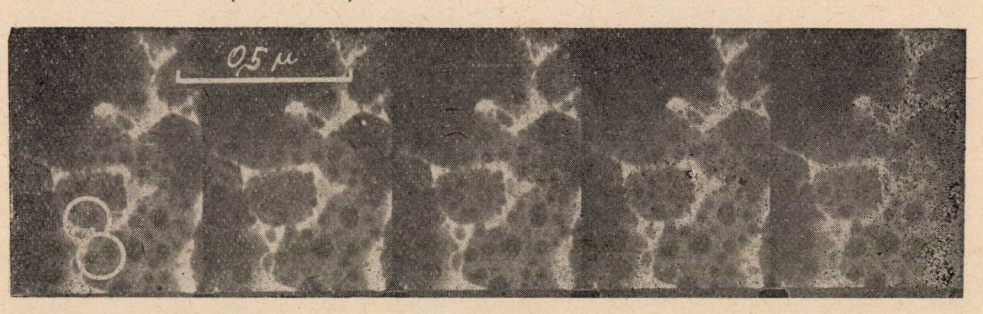
8. ábra



9. ábra

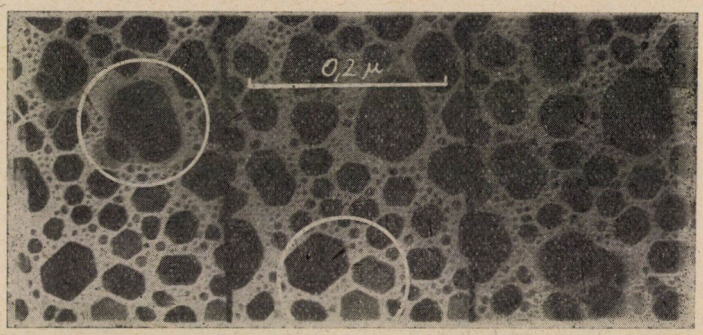
A 10^{-6} Torr nyomású oxigénatmoszférában párologtatott indiumrétegek kialakulásának megfigyelése alapján tisztázható volt a maradék gázból beépülő szennyezés elhelyezkedése. Eszerint az oxid vagy az olajgőzből az elektronok hatására krakkolt szennyezés a szemcsék növekedése folyamán folyamatosan kilökődik azok felületére, s így a párologtatás és a szennyezés beépülésének sebességétől függő kritikus szemcseméretnél a növekedést teljes egészében megakadályozó fedőréteg alakul ki azok felületén (10. ábra).

A réteg továbbnövése e lezárt szemcsék felületén meginduló új magképződéssel, majd a szemcsék összenövésével folytatódik. A szennyezést jelentő maradékgáz atmoszférában kis párologtatási sebességgel kialakult rétegek tehát egymásra nőtt krisztallitok dezorientált halmazának tekinthetők, ahol az egyes szemcséket a beépült szennyezőréteg választja el egymástól. A rétegek kialakulása alatt fázisátalakulások részletes elemzése szerint feltételezhetjük, hogy a szemcsék folyadékszerűnek megfigyelt, igen gyors összenövése egy bizonyos szemcseméret alatt valódi folyadékállapoton keresztül történhet, az olvadáspontnak a kis cseppek felületi feszültsége folytán történő lényeges csökkenése miatt (11. ábra).



10. ábra

Igen lényegesek a jövő fejlődés szempontjából azok a munkák, melyek azt célozzák, hogy egy adott kristályfelületre idegen anyag kristályát növesszék, és a határfelületen egy ún. heteroátmenetet képezzenek ki. Ezen átmenetekre jellemző, hogy a két különböző félvezető kristály rácsa úgy folytatja egymást, hogy a kémiai kötések nem szakadnak el, vagyis a két félvezető atomos közelségbe kerül, és az egyik félvezető tulajdonságai néhány rácsállandó távolságon belül átmennek a másik félvezető tulajdonságaiba. Fentiekből következik, hogy heteroátmenet legkönnyebben olyan két félvezető anyag között jö-



11. ábra

het létre, melyek kristálytani szerkezete azonos vagy hasonló és rácsállandóik közel állnak egymáshoz.

Hazánkban először 1964-től kezdve a *Villamosipari Kutatóintézetben* foglalkoztak heteroátmenetek létesítésével. LUKÁCS JÓZSEFnek [18] sikerült egykristályos Si-lemezek felületén leválasztott SiC-réteggel heteroátmenetet előállítani. Itt azonban a nagy kristályrácsállandóbeli különbség miatt a ránőtt réteg nem volt egykristály. Ennek ellenére a polikristályos SiC-hez képest lényegesen jobb egyenirányítóhatás mutatkozott.

Mivel az $A^{II}B^{VI}$ és $A^{III}B^{V}$ típusú vegyületek önmagukban is értékes félvezető tulajdonságokkal rendelkeznek, a közöttük létesíthető heteroátmenetek is érdeklődésre tarthatnak számot.

A *Műszaki Fizikai Kutató Intézet* már több éve foglalkozik ZnS kristályok előállításával és tulajdonságainak vizsgálatával. Az utóbbi időben BERTÓTI IMRE és HÁRSY MIKLÓS megkezdték a GaP előállítását is. Nekik sikerült először ezen két anyag különböző összetételű elegyfázisainak széles skáláját előállítani. A ZnS és GaP kristályszerkezeteinek azonossága és rácsállandói közelsége lehetővé tette ZnS—GaP heteroátmenetek előállítását is.

Heteroátmenetet ZnS—GaP rendszerben zárt rendszerű transzportreakciók módszerével BERTÓTI IMRE és NÉMETH TIBOR valósítottak meg, egyaránt sikerült ZnS-réteget GaP egykristályokra és GaP-réteget ZnS egykristályokra növeszteni. Mindkét esetben jódot vagy sósavat használtak transzportáló

anyagként. Az anyagot 900 C°-on tartott zónából a 850 C°-os zónában elhelyezkedő szubsztrátumra vitték át.

Irodalmi adatok az említett rendszerre nem állnak rendelkezésünkre. Az első megfigyelések arra mutatnak, hogy a GaP szubsztrátumon növekedett ZnS-rétegek általában tökéletesebb szerkezetűek, mint a ZnS kristályokon növesztett GaP-rétegek. Igen valószínű, hogy az említett eltérés részben a két szubsztrátum diszlokációsűrűségének különbözőségére vezethető vissza, ugyanis a Ga olvadékból növesztett GaP kristályok kevesebb rácshibát tartal-

12. ábra

maznak, mint a gőzfázisból növesztett ZnS kristályok. A ránövekedés folyamatában a diszlokációk fontos szerepére mutatnak a következő tények:

a) A magképződés és a növekedés a szubsztrátum kitűntetett helyein indul meg (12. ábra).

b) A GaP szubsztrátumon növekedő ZnS-rétegekben a más módon előállított ZnS kristályokhoz képest feltűnően nagy gyakorisággal fordulnak elő csavardiszlokációk (13. ábra).

A szubsztrátum és a ránövekedett réteg kristálytani orientációját struktúra-érzékeny kémiai marással és röntgendiffrakciós módszerrel vizsgálták. Mindkét módszer eredményei arra mutattak, hogy a ránövekedett réteg pontosan követi a szubsztrátum kristálytani orientációját.

E heteroátmenetek fizikai vizsgálatai is megindultak. Az elektromos mérések céljaira a mintáinkat feldarabolás után ötvözött indiumkontaktusokkal és aranykivezetésekkel láttuk el. Az így kapott struktúrák egyenirányító karakterisztikát mutattak, részletesebb vizsgálatok folyamatban vannak (14. ábra).

A hazánkban folyó félvezető-fizikai alapkutatásoknak további igen lényeges területe a kristályhibák keletkezésének, terjedésének és elektromos hatásainak vizsgálata.

Igen kiterjedt irodalma van a főleg nagy energiájú besugárzás hatására keletkező ún. ponthibákra vonatkozó vizsgálatoknak. Félvezetőknél leginkább a neutronbombázás hatására keletkező, ionos kristályoknál az ultraibolya és röntgenbesugárzás hatására keletkező hibahelyeket vizsgálták.

A félvezető eszközök gyártásának alapanyagául szolgáló egykristályoknál viszont igen fontos a kristályokban mutatkozó diszlokációk tanulmányozása. A diszlokációk sok esetben a kristályosításnál kiindulásul használt magból vagy epitaxiás növesztésnél a szubsztrátumból terjednek át a növekvő kristályokra (erről már a heteroátmenetek tárgyalásakor szó volt), vagy más esetekben az egyenlőtlen lehűtéskor keletkező mechanikai feszültségek folytán létesülhetnek.

13. ábra

A Műszaki Fizikai Kutató Intézetben a mérések céljára reprodukálható diszlokációk keltésére vagy úgy jártak el, hogy az egykristályt megfelelő hőfokon alkalmas szerszámmal adott görbületi sugárra meghajlították, vagy úgy, hogy lemez alakú kristályokba a Vickers-féle keménységméréshez hasonló módon egy gúla alakú szerszámot adott erővel, adott ideig, a megfelelő hőfokon belenyomtak.

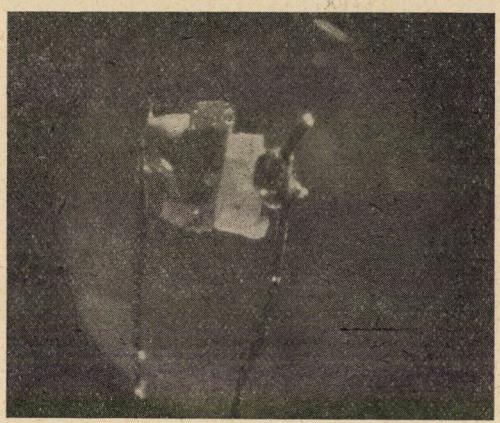
Rösner Béla vizsgálta a diszlokációk mozgékonyságát a makroszkopikus plaszticitás határtemperatúrája alatti hőmérsékleteken [19]. Azt találta, hogy az eddigi irodalmi adatokkal ellentétben a diszlokációk mozgási sebessége 400 C° alatt nagyságrendben a hőmérséklettől független. (Az irodalomban közölt formulák szerint 400 C°—100 C°-ig kb. 7 nagyságrenddel kellene csökkennie.)

Pödör Bálint viszont az elektronok mozgékonyságának változását vizsgálta plasztikusan deformált germánium egykristályokban [20].

Azt találta, hogy a grafit szerszámmal meghajlított Ge kristályban keletkező diszlokációs vonal negatív töltést vesz fel, és ezáltal megnöveli az

elektronok szóródását. Az így kapott formulát Hall-effektus mérésekkel ellenőrizve, jó egyezést kapott az általa felállított elmélettel. Ezt a munkáját tovább folytatva, a *Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karához* 1966-ban benyújtott doktori disszertációjában adatokat közöl a diszlokációk által előidézett akceptornívók energiájára, valamint a vezetőképességnek a diszlokációk irányában és az arra merőleges irányban történő változására.

Hasonló vizsgálatokat végzett LENDVAY ÖDÖN és KOVÁCS PÁL [21] lumineszkáló ZnS egykristályokon, és megállapították, hogy az aktivátorként a kristályban egyenletes eloszlásban jelen volt réz a diszlokációk mentén



14. ábra

koncentrálódik, és a diszlokációkat körülvevő tér rézben elszegényedik, ami a lumineszkálás színének megváltozásában kimutatható.

Az a tény, hogy a tiszta egykristályba utólag bediffundáló adalékanyagok a diszlokációk mentén gyorsabban diffundálnak, rég ismert volt, fenti adatok a diszlokációk által okozott selejtképződésre és annak mibenlétére adnak hasznos tájékoztatást.

A kristályhibák egy másik csoportjának, az ún. rétegződési hibáknak (stacking fault) szerepével foglalkozik RŐSNER BÉLA, EGYED LÁSZLÓ, NÉMETH TIBOR és BODÓ ZALÁN [22].

Az általuk Ge-on végzett vizsgálatok SHOCKLEY és HUBNER vizsgálataihoz csatlakoznak, és kvantitatív adatokat szolgáltatnak a töltéshordozók és fononok, valamint a fononok és hibahelyek kölcsönhatásának megismeréséhez. Úgy látszik, a két anyag viselkedése eléggé hasonló.

A felsorolt kutatások eredményei közül az adszorbeált víz szerepére, az igen sima felületek előállítására és a kinonos marásra vonatkozók már ipari alkalmazásra kerültek, másrészt viszont a kristályképződés mechanizmusának tisztázására, az epitaxiális kristálynövesztésre és a heteroátmenetekre vonatkozó munkák távlatilag látszanak lényegesnek.

Szeretném, ha az elmondottak alapján kidomborodnék, hogy az utolsó év során a hazánkban folyó félvezetőfizikai alapkutatást egyrészt az alapkutatással foglalkozó intézetek terveinek egymás közötti, másrészt az ipar kívánságainak megfelelő egyeztetése, a baráti akadémiákkal való együttműködés és nem utolsó sorban a Szilárdtestfizikai Komplex Bizottság koordináló tevékenysége folytán az erőknek fontos témákra való fokozott koncentrálása, másrészt pedig az ipar és termelés fejlesztési igényeinek figyelembevétele jellemzi.

IRODALOM

1. ERNST, L.: *Phys. Stat. Solidi* **7** (1964), K 61.
2. ERNST, L.: *Phys. Stat. Solidi* **19** (1967), 89.
3. LŐRINCZY—PATAKI: Reverse Characteristics of Germanium Junction Diodes. *Acta Phys. Hung.* **13** (1961), 67.
4. LŐRINCZY—PATAKI: On the Reverse Characteristics of Silicon Diodes. *Acta Phys. Hung.* **15** (1962), 57.
5. LŐRINCZY, A.—NÉMETH, M.—SALLAY—SZÉP, I. G.—TIHANYI, I.: Kinon-hidrokinon hatása germánium félvezető eszközök és felületek sajátságaira. *Physica Status Solidi* (közlés alatt).
6. *150 791* „*Eljárás egykristályszeletek vékonyítására*" NÉMETH TIBORNÉ; *a szabadalom elfogadásának időpontja:* 1964. augusztus 25.
7. *151 775* „*Eljárás 0,05 μ-nál kisebb felületi érdességet biztosító félvezető kristályfelület előállítására*" NÉMETH TIBORNÉ; *a szabadalom elfogadásának időpontja:* 1966. február 9.
8. *21g 1—16* „*Eljárás félvezető p-n átmenetek elektrokémiai felületi kezelésére*". NÉMETH TIBORNÉ, BINNER TIHAMÉR és GERGELY ISTVÁN; *a szabadalom elfogadásának időpontja:* 1966. szeptember 19.
9. *Chemistry* **40** (1967), 30.
10. TIHANYI, I.—PÁSZTOR, G.: Observation of Surface Phenomena on Semiconductor Devices by a Light Spot Scanning Method. *Solid State Electronics* **10** (1967), 235.
11. PFEIFER, I.: Epitaxial Growth of Germanium on Germanium Substracts Cleaned and Rented by Electron Bombardement. *Phys. Stat. Solidi* **17** (1966), K 17.
12. BARNA, A.—BARNA, P. B.—PÓCZA, J. F.: Design of a New Specimen Holder in the Electron Hidroscope for Vacuum Deposition at about 10^{-6} Torr. *Vacuum* (sajtó alatt).
13. PÓCZA, E. P.—BARNA, A.—BARNA, P.: Nucleation and Growth-Processes in Vacuum-Deposited Germanium Films. Göttingen 1966.
14. BARNA, A.—BARNA, P.—PÓCZA, J.—CROITORU, N.—DÉVÉNYI, A.—GRIGOROVICI, R.: Vákuumban párologtatott germániumrétegek szerkezeti sajátságai. *Finommechanika* 4.
15. GRIGOROVICI, R.—CROITORU, N.—DÉVÉNYI, A.—VOSCAN, N.—BARNA, P.: Electrical Proporties of Evaporated Si and Ge Layers. *Revue Roumaine de Physique* (1965).
16. PÓCZA, E. F.—BARNA, A.—BARNA, B. P.: Processes of l'Liquidlike Behaviour' of Crystallites in Vacuum-Deposited Thin Films. Seventh International Congress and Symposium on Crystal Growth, Moszkva 1966.
17. BARNA, P.: Párologtatott vékonyrétegek kialakulásának elektronmikroszkóppal követhető folyamatai. Kandidátusi disszertáció, 1966.
18. LUKÁCS, I.: Si-SiC p-n heteroátmenetek. *MTA VI. Osztály Közleményei* **37** (1966), 207.
19. RÖSNER, B.: On the Mobility of Dislocations in Ge at a Temperature Range Below the Temperature Limit of Macroscopical Plasticity. *Acta Phys. Hung.* **20** (1966), 289.
20. PÖDÖR, B.: Electron Mobility in Plastically Deformed Germanium. *Phys. Stat. Solidi* **16** (1966).
21. Procedings of the International Conference on Luminescence, Budapest 1966 (sajtó alatt).
22. RÖSNER, B.—EGYED, L. C.—NÉMETH, T.—BODÓ, Z.: Influence of a Twin Boundary on the Transmitted Phonon Drag Effect in Ge. *Phys. Stat. Solidi* **15** (1966), E 127.

HOZZÁSZÓLÁSOK

SZABÓ ELEK
A KÉMIAI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

Ismeretesek azok a szigorú követelmények, amelyeket a jó minőségű félvezető diódák és tranzisztorok alapanyagaival szemben támasztanak. Egyes elemekből már a mikrogramm ezredrésze tönkre tudja tenni a kész terméket. Hosszú időn keresztül nélkülöztük azokat a módszereket, amelyekkel ilyen meghatározások elvégezhetők lehettek volna. Erre a célra a legalkalmasabbnak az aktivációs analitikai és tömegspektroszkópiai módszerek bizonyulnak. Számunkra az aktivációs módszerek bevezetésére voltak kedvezők a feltételek. A *Központi Fizikai Kutató Intézetben* levő berendezések (atomreaktor, neutrongenerátor, van de Graaf gyorsító), mintatovábbító berendezések, az izotópok szétválasztására alkalmas radiokémiai tapasztalatok, a nukleáris mérőberendezések széles skálája lehetővé tették, hogy az elmúlt két-három évben új analitikai módszereket dolgozzunk ki. Az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. és különböző kutatóintézetek (Távközlési Kutató Intézet, Híradástechnikai Kutató Intézet, Műszaki Fizikai Kutató Intézet) igényeit figyelembe véve, szorosan együttműködve ezen intézmények munkatársaival, nagy érzékenységű sorozatelemzésre is alkalmas módszereket dolgoztunk ki.

Különösen eredményes volt a félvezető szilíciumban levő szennyezők meghatározására szolgáló módszerek rendszeres alkalmazása. Az utóbbi másfél évben mintegy 300 szilíciumminta elemzését végeztük el. Rendszeresen meghatároztuk a minták réz-, arzén- arany- és nátriumtartalmát, esetenként pedig foszfor-, antimon- és volfrámmeghatározásokat végeztünk. A vizsgálatok eredményeképpen az anyaghibából adódó selejt teljesen kiküszöbölhető volt.

Eredménnyel jártak a Műszaki Egyetem, a Fémipari Kutató Intézet, valamint a Távközlési Kutató Intézetből és a Műszaki Fizikai Kutató Intézetből a Központi Fizikai Kutató Intézet Kémiai Főosztályán dolgozó munkatársak fáradozásai, amelyek az egyéb félvezető anyagok (germánium, gallium-arzenid) gyártásánál használt vegyszerek (savak, oldószerek, desztillált víz) szennyezőinek (arany, ezüst, kadmium, cink, kobalt, indium stb.) meghatározására irányultak. A vizsgálatok többségénél kémiai elválasztások is szükségesek, ami jelentősen idő- és munkaigényes feladat. A meghatározások jól elvégezhetők, megfelelő tapasztalattal, a vizsgálatokhoz szükséges berendezésekkel rendelkezünk, így e munkák is rendszeresen folytathatók.

Az aktivációs analitika területén bekövetkezett fordulat — csendes forradalom — talán elő fogja segíteni a félvezetők elektromos és fizikai paramétere i, valamint a monokristályok kémiai összetétele, azaz a szennyezők minősége és mennyisége közötti összefüggések tisztázását. Sajnos jelenleg még igen kevés adattal rendelkezünk e téren. Csak az ismeretes, hogy a szilícium, ger-

mánium és szilícium-karbid esetében a harmadik (B, Al, Ga, In, Tl) és az ötödik csoport (N, P, As, Sb, Bi) elemei; a gallium-arzenid, indium-antimonid és az egyéb A^{III} B^{V} típusú intermetallikus vegyületek esetében pedig a második (Zn, Cd, Hg) és negyedik (C, Si, Ge, Sn, Pb) csoport elemei befolyásolják a félvezetők tulajdonságait. Általánosan veszélyes szennyezőként a mély energetikai nívóval rendelkező réz, arany és vas fordulhat elő. Más nyomelemek befolyását alig tanulmányozták.

A rendelkezésre álló módszerek nemcsak a végtermékek analízisére, hanem a kiindulási anyagok szintézisére ($SiCl_4$, $SiHCl_3$, GaAs), a doppoláshoz használt anyagok (pl. indium, foszfor) és a reagensek tisztaságának ellenőrzésére is lehetőséget adnak.

Az előadásban többször szó volt a félvezetők felületi jelenségeinek vizsgálatáról. Az aktivációs analitikai módszerek bizonyos esetekben itt is igen hasznosak lehetnek. A protonokkal és deuteronokkal végzett vizsgálatok lehetővé teszik a felületi rétegek tanulmányozását. A töltött részecskék energiájának változásával lehetőség van különböző rétegek összetételének vizsgálatára is.

A szilíciumminták széntartalmának és bórtartalmának meghatározása neutronaktivációs analízissel nem lehetséges, erre a célra a töltött részecskékkel való vizsgálatok alkalmasak.

A Központi Fizikai Kutató Intézetben levő van de Graaf generátor segítségével 2 MeV feletti energiájú deuteronokkal a $^{12}C(d,n)^{13}N$ magreakció alapján szén meghatározása volt lehetséges. A nitrogén-13 felezési idejét figyelembe véve a besugárzás ideje 10 perc. Kb. 10^{-3} % mennyiségben jelenlevő szén határozható meg e módszerrel, 30%-os hibával.

A félvezetők esetében igen lényeges szerepet játszó bór meghatározása is csak töltött részecskékkel történhet. Sajnos a Központi Fizikai Kutató Intézetben levő berendezés nem alkalmas erre a célra, mivel a vizsgálatokat nagy energiával rendelkező protonokkal kell elvégezni. A Német Demokratikus Köztársaság rossendorfi *Magkutató Intézetével* kooperációban végeztünk el ilyen meghatározásokat; az ottani ciklotron 4 MeV-nél nagyobb energiával rendelkező protonokat termelt, és a $^{11}B(p,n)^{11}C$ magreakció segítségével a ^{11}C-et határozzák meg 10^{-7} %-os érzékenységgel.

E példák is mutatják, hogy a nem neutronokkal történő aktiváció terén is sok lehetőség kínálkozik, különösen a felületi rétegek tanulmányozására.

Végezetül még egy kérdést szeretnék megemlíteni. Az utóbbi évben a félvezetők analitikája területén dolgozók között jó munkakapcsolat és munkamegosztás alakult ki, melyet elősegített az *Izotópalkalmazási Szakbizottság Aktivációs Analitikai Munkabizottságának* és a *Magyar Kémikusok Egyesülete Radiokémiai Analitikai Szakcsoportjának* tevékenysége. Közelebb kerültek egymáshoz ezen intézményekben hasonló témán dolgozók, javult a tapasztalatcsere lehetősége is a külföldi országok kutatóival. Az analitikai munkák koordinálása során tapasztaltuk azonban, hogy a félvezető anyagok előállítása területén, pl. a gallium-arzenid esetében távolról sem mondható kielégítőnek a helyzet. Lényegesen meggyorsítható lenne az előrehaladás e téren is megfelelő összefogással.

E kérdésekre kívántam a figyelmet felhívni. Az analitikusok ügyelni fognak arra, hogy a fizikai kutatások és a gyártás során felmerülő — sokszor megoldhatatlannak látszó — elemzéseket elvégezzék, és így ezen kutatások eredményességét elősegítsék.

LUKÁCS JÓZSEF
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

SZIGETI GYÖRGY akadémikusnak a félvezető fizikai alapkutatásokra vonatkozó beszámolója a szakterület lényeges vonásait ismertette. Igy részemre csak néhány probléma további aláhuzása maradt feladatul, főleg az erősáramú ipar szempontjainak figyelembevételével. Mindenekelőtt hangsúlyoznom kell, hogy a félvezető fizikai alapkutatást és annak mélységi lehetőségeit, mint ipari kutató intézetben dolgozó személy igen nagyra értékelem, és az ipari kutatás bázisának tekintem, amelyre okvetlenül támaszkodni kívánunk.

Általános megjegyzéseink között első helyen szeretném szerepeltetni azt, hogy véleményem szerint a távlati kutatások legfőbb célja szellemi tőke képzése. Az így létrehozott, ill. létrehozandó szellemi potenciált két módon hasznosíthatjuk. Létrehozhatunk ennek alapján olyan félvezető elemeket, amelyek eddig meg nem valósított funkciót végző jellegük folytán újnak számítanak. Ilyen jellegű eszközök európai szinten is piacra számíthatnak, sőt rövidebb-hosszabb ideig velük a piacot monopolizálni van módunkban. A létrehozott szellemi potenciál alkalmas arra is, hogy a már létrehozott gyártások meg nem értett részeit megvilágítsuk, a felbukkanó hibákat gyors ütemben kiküszöböljük, és így megtakarításra, ill. gazdasági előnyökre tegyünk szert.

A távlati kutató intézetekben létrehozott ilyen szellemi előny csak akkor hatékony, ha az az ország ipari kutatóinak is rendelkezésére áll. Ennek érdekében a szokásos közlemények megjelentetésén túlmenően, más formáit is meg kell találni a tájékoztatásnak, talán a távlati és ipari kutató intézetek megfelelő személyei által megvalósított kötetlen, nem hivatalos eszmecserék formájában is. Az ilyen eszmecserék, melyek az önös érdekek kizárásával, pontosabban szólva, józan egyeztetése mellett folyhatnak, sok ipari és az ország gazdasági termelését befolyásoló gondolat felvetéséhez vezetnek.

Véleményem szerint számos olyan probléma van az országban, melyet a távlati, ill. ipari kutatást végzők külön-külön megoldani nem tudnak, azonban egy összefogás keretében a látszólagos nehézségekkel könnyen megbirkóznak.

Ezek után egy-két részletes megjegyzést kívánok tenni, főként az erősáramú félvezetőipar szemszögéből.

A magyar erősáramú ipar pillanatnyilag három vonalon veszi igénybe a félvezetőtechnika nyújtotta lehetőségeket. 3 kV-tól 220 kV-os típusokig túlfeszültséglevezetőket készít és exportál, amelyekbe p-vezetési típusú szilíciumkarbidból készült nemlineáris ellenállásokat épít be. Az ezzel kapcsolatos kutatás általában az ellenállások nemlinearitásának növelésére és a termikus szilárdság fokozására vonatkozik. A termelési érték ezen a vonalon kb. 10—15 millió forint/év.

Az erősáramú félvezető ipar felhasználása pillanatnyilag legnagyobb mértékű a szilícium diódák és a közeljövőben valószínűleg a szilícium tirisztorok területén. Az ezzel kapcsolatos alkalmazott kutatások felölelik az ötvözési, diffúziós és epitaxiális problémákat, valamint a diódák, tirisztorok minősítésével kapcsolatos fejlesztő és minősítő méréseket. Ezek a gyártások elem-vonalon kb. 25—30 millió Ft, félvezető készülék-vonalon kb. 80 millió Ft-ot érintenek. Ezek közül csak a villamos mozdony hajtásokat, trakciós állomások tápegységeit, különböző ívhegesztő gépeket és elektrolizőr berendezéseket említem meg.

Végül, mint kezdeti stádiumban levő gyártást kell megemlítenünk a bizmut-tellurid alapanyagú termovillamos elemek gyártását, amelyek jelenleg 20—25 literes hűtőterekig versenyképesek az abszorpciós rendszerekkel.

Az egész röviden vázolt ipari bázison a távlati kutatásokkal kapcsolatban az alábbi igények fognak előreláthatóan felmerülni.

Az erősáramú félvezető berendezésekkel kapcsolatban diódák, tirisztorok, de ezen túlmenően a termovillamos elemekkel kapcsolatban is szükséges lesz vizsgálni a félvezető anyagok hővezetési és termikus tulajdonságait, különösen a fonon-részt, és az ezt befolyásoló tényezők hatását. A töltéshordozó sűrűség, valamint kompenzációfok-meghatározások már jelenleg is nagy mértékben igénylik a galvano-mágneses, más energetikai kutatások pedig a termomágneses jelenségek alaposabb vizsgálatát. Ennek során erősen számítunk a Műszaki Fizikai Kutató Intézet héliumcseppfolyósítójára. Az energetikai kérdések mindenképpen rá fogják irányítani a figyelmet a szilárdtestben létrehozható plazmák, valamint ezek oszcillációinak, mozgatásának vizsgálatára.

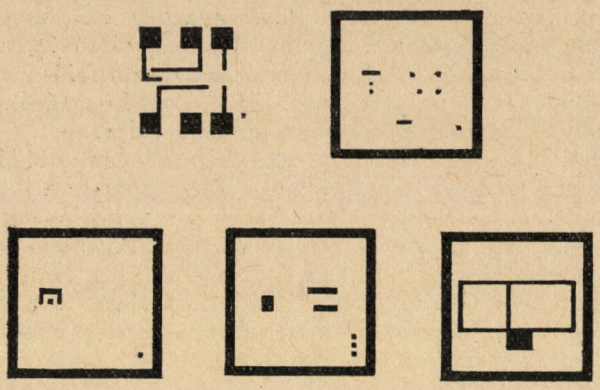
Ismét csak erősáramú problémák kereteiben maradva, szeretném felhívni a figyelmet olyan elvi kutatások megindítására, amely a jelenlegi p-n réteg képzési módokon túlmenően nagy felületű, definiált profillal rendelkező, más vezetési típusú kristályrétegek előállítását teszi lehetővé. Ezzel kapcsolatban csak a külföldön is kutatni kezdett „ion inplantation"-t említem meg.

Végül egy összefoglaló gondolatról szeretnék szólni. Meg vagyok arról győződve, hogy mind a távlati, mind az ipari kutatást végző gárda teljes szívvel és lélekkel küzd a feladatok megoldásáért, és azok mielőbbi megvalósításáért. Hogy a már kifejlesztett, és az adott körülmények között jól működő kutatási fegyvert merre fordítsuk, erejét merre koncentráljuk, nos, ez a helyes vezetésnek, a helyes irányításnak a kérdése. Ezen a téren lehet lényeges és több ezer munkaórát is tönkretevő vagy megtakarító döntéseket hozni. A félvezetőfizikai kutatás irányításával kapcsolatban szeretném a figyelmet felhívni az igen alapos és körültekintő döntési szisztémákra, és bizonyos tekintetben, ha szabad ezt mondanom, az ipari jövőbelátó képességek fejlesztésére.

SZÉP IVÁN
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

SZIGETI akadémikus a hazai félvezető-alapkutatás közelmúltban elért főbb eredményeit ismertette, elsősorban a korszerű elektronikához fűződő kapcsolatok szempontjából. Ismertetésében számos olyan munka szerepelt, amely a gyakorlat által felvetett probléma megoldására, gyakorlati célok megvalósítására irányult. Ez nyomatékkal arra figyelmeztet, hogy a természettudományok és különösen a műszaki tudományok területén a kötetlen, előzmények nélküli, nem látható célokért folyó kutatás egyre ritkább és helyette egyre inkább a gyakorlati feladatok által inspirált, tudatos célok elérésére irányuló kutatás jelentkezik.

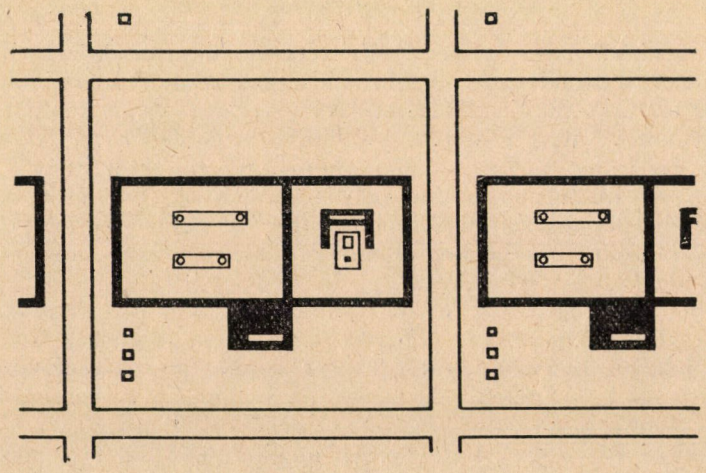
Az ismertetett munkák további jellemzője, hogy nagy részük az anyag valamilyen tulajdonságának létrehozására vagy módosítására irányul, tehát *technológiai* jellegű. Az ilyen kutatások eredményessége sok esetben attól függ, hogy ismeretesek-e megfelelő eljárások, megvannak-e a szükséges kísérleti eszközök, és nem utolsó sorban, vannak-e megfelelő ellenőrző, vizsgálati módszerek. Gyakran éppen ezek kidolgozása, megkeresése képezi a műszaki alapkutatás tárgyát.



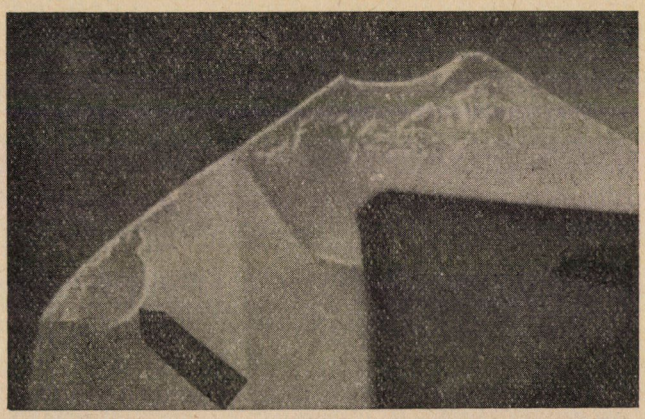
1. ábra

Tekintettel a félvezető-kutatás rendkívül szétágazó problematikájára, az egyes kutatási feladatok, így az alapkutatás jellegűek is, különböző helyeken jelentkezhetnek. Ezért igen fontosank tartom SZIGETI akadémikusnak azt a megállapítását, hogy az akadémiai intézményeken kívül az ipar és az ipari kutatás intézményeiben is szükség van egyes kérdések alapkutatás mélységű vizsgálatára. Lényegesen meggyorsíthatja egy-egy probléma megoldását, ha vizsgálata ott történik, ahol a probléma felmerül. Legyen szabad ezt egy példával illusztrálnom.

A Híradástechnikai Ipari Kutató Intézet Félvezető Laboratóriumában integrált félvezető áramkörök technológiájának kutatásával foglalkozunk. A technológia egyik sarkalatos lépése szilíciumdioxid-réteg ránövesztése a szilícium-lemezre, majd fotosablonok, fényérzékeny lakkbevonat, valamint kémiai marás alkalmazásával az oxid-réteg eltávolítása a szükséges helyeken. Ez a művelet többször ismétlődik, miközben diffúziós és oxidációs hőkezelések is történnek.



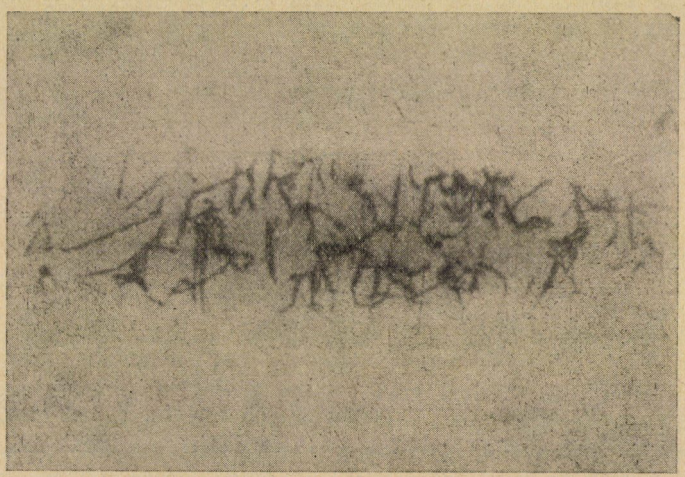
2. ábra



3. ábra

Az 1. ábrán látható a fotosablonok sorozata, amelyeken keresztül a szilíciumdioxidot fedő fényérzékeny bevonat megvilágítása történik. A négyzet alakú keret mérete a valóságban 1×1 mm, a legkisebb négyzeté 20×20 mikron. A 2. ábrán látható két integrált áramköri elem képe, négy fotosablon és kémiai marások alkalmazása után, összekötő fémcsíkok nélkül; az egyik mezőben egy tranzisztor, a másikban két ellenállás van kialakítva.

Az a műveletsor, amellyel az ábrán látható alakzatig eljutottunk, olyan, fogalmilag ismert lépésekből tevődik össze, mint az oxidáció, diffúzió, kémiai oldás, fotopolimerizáció stb. És mégis, a rendszer annyira specifikus, hogy csak a félvezető-technológia szakismeretei alapján értelmezhetők kielégítően a megfigyelt jelenségek. Egy a sok közül: szilícium-lemezek alakváltozásából arra következtettek, hogy az oxid és a szilícium határfelületén mechanikai feszültségek lépnek fel, amelyek deformálják a lemezt, esetleg diszlokációk



4. ábra

képződéséhez vezetnek. A diszlokációk és a feszültségi terek vizsgálatának igénye nem kis mértékben játszott szerepet abban, hogy rövid idő alatt kifejlődött az ún. röntgendiffrakciós topográfia, amely pontos helyrajzát adja a félvezető kristályt behálózó, korábban láthatatlan diszlokációknak. Tekintve, hogy ezek a kristályhibák zavarólag hatnak az adalék-diffúzió egyenletességére, láthatóvátételük és eredetük nyomozása számunkra igen fontos volt. Intézetünk Anyagvizsgálati Osztályának röntgencsoportjában STEFÁNIAI VILMOS és GADÓ PÁL alig fél év alatt kidolgozták ezt a korszerű vizsgálati módszert, amellyel megbízhatóan tudjuk ellenőrizni a kristályhiba-viszonyokat kutatásaink folyamán. Ilyen vizsgálatok derítették ki, hogy ha a szilíciumdioxidot helyileg eltávolítjuk a szilícium felületéről, a lemart hely körül azonnal megjelennek a mechanikai feszültségek kontúrvonalai. A 3. ábrán látható az oxid részleges eltávolítása után az oxidhatár körül fellépő feszültségtér; a 4. ábra közepes diszlokáció-sűrűségű szilícium-szeletről készült topográfiai felvétel; a szürke háttérben megjelenő sötét vonalak az anyagban levő diszlokációk vetületi képei.

Az elmondott példa ellenére azonban azt is hangsúlyozni kell, hogy az ipari kutatóhelyek alapkutatási tevékenysége más irányú feladataiknál fogva csak korlátozottabb jellegű lehet, és a munka zömét, véleményem szerint, továbbra is az akadémiai intézményeknek kell elvégezniök.

A *Műszaki Fizikai Kutató Intézetben* folyó munkák, a félvezetők felületi jelenségeinek kutatása, valamint a kristályhibák és ezeknek a fizikai tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata korszerű és tartalmas kutatási irányt képvisel, azonban a szilíciumnak mint vizsgálandó anyagnak, akár tervmódosítás árán, a tématervbe való besorolása országos igény és aligha tűr halasztást.

SZIGETI GYÖRGY akadémikus előadásából megállapítható, hogy az elmúlt két év alatt a hazai félvezető alapkutatás jelentős fejlődésen ment keresztül, melynek eredményei az ipar területén is éreztették hatásukat. A kutatóhelyek munkájának bizonyos mértékű koordinálása növelte a munkák hatásfokát, és a fejlett ipari országokhoz képest fennálló hátrányunkból sikerült valamelyest ledolgoznunk. Az elektronika és benne a félvezetőknek a korszerű iparban és gazdaságban betöltött szerepére és egyre fokozódó jelentőségére való tekintettel remélhető, hogy ezek a kutatások hazánkban a jövőben is kellő támogatásban fognak részesülni.

GIBER JÁNOS
A KÉMIAI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

A félvezetőeszközök gyakorlati technológiája szempontjából a tisztán fizikai aspektusok mellett jelentős szerepük van a *félvezető felületi kutatások fizikai-kémiai* aspektusának is.

A vizsgálatok modelljéül germánium egykristály — a gyakorlat szempontjából fontos — kémiai kezeléseknek (CP4, CPJ, lúgos perhidrol, anódos oxidáció) alávetett felületeit választottuk.

A munka során mindenekelőtt tisztázni igyekeztünk az ily módon létrehozott felületek szerkezetét. E munka során elektronmikroszkópos felvételekkel a marás kezdeti stádiumában sikerült igazolni a létrehozott oxid hexagonális, illetve tetragonális struktúráját; ellipszometeres módszerrel vizsgáltuk a lét-

rehozott oxid vastagságát, optikai tulajdonságait, majd infravörös transzmisszióval és reflexióval a létrehozott oxid különböző kötésmódjait. Triciumos indikációval megállapítottuk a marás során beépült ún. strukturális víz mennyiségét. Megállapítottuk, hogy az általunk létrehozott felületeken a gáz- és víz-, valamint ionadszorpciós vizsgálatok, az elektrokémiai folyamatok reprodukálhatók.

Vizsgálatok folytak és folynak oxigén és vízgőz, valamint oxigén—víz elegy adszorpciójának és deszorpciójának vizsgálatára BET módszerrel és triciumos indikációval széles hőfok és parciális-nyomás intervallumban. E vizsgálatok során többek között megállapítottuk, hogy a vízgőz néhány Torr parciális nyomás mellett jelentősen növeli az oxigénadszorpció mértékét. Következtetéseket vontunk le a tricium-adszorpció izotóp effektusának nagyságára nézve.

Tanulmányoztuk modellünkön az ionadszoprció sajátosságait. Megállapítottuk, hogy az irodalomban közölt értékek nem az adszorpcióra, hanem az öblítés módjára jellemzőek. SCHAY GÉZA általános adszorcpiós elméletére támaszkodva korszerű definíciót dolgoztunk ki az ionadszorpcióra vonatkozóan, és megvizsgáltuk a valódi ionadszorpció mérési kritériumait és a reprodukálhatóságot befolyásoló tényezőket. Az ionadszorpció közvetlenül a felületen történő mérésére kidolgoztuk az ún. „hidrodinamikus öblítés" módszerét, és korelációt kerestünk az így elérhető adherált és az adszorpciós réteg között. Megállapítottuk, hogy az ionadszorpció szempontjából a legfontosabb befolyásoló tényezők a felületek aktivitása (mely többek között arányos a felület elérhető maratási sebességével), a felület potenciálja és az oldat pH értéke. A vizsgált K izotóp adszorpcióját CPJ-s felületen $1 \cdot 10^{14}$ atom/cm^2 nagyságrendűek, a vizsgált J izotóp adszorpcióját $3{,}6 \cdot 10^{14}$ atom/cm^2-nek találtuk.

Több vonatkozásban részletesen tanulmányoztuk a germánium elektrolit határfelület tulajdonságait. E munka során kimértük a kémiailag kezelt germániumfelület elektródpotenciáljának pH függését. E vizsgálatokból megállapítható, hogy a germániumfelületek tökéletes oxidelektródként viselkednek — mégpedig az oldat-fázis összetételétől jó közelítésben függetlenül. Az anódos és katódos polarizációs görbéket felvéve sikerült reprodukálhatóan meghatároznunk a görbékre jellemző Tafel-féle egyenleteket. A mérés pontosságát ± 5 mV-ra fokoztuk. Megszaggatott galvanosztatikus módszerrel a germánium Pourbaix-diagramját tanulmányozva sikerült azonosítanunk a különböző oxidszerkezet esetén elméletileg várható pH függést a kísérletileg kapottal, és így megállapítanunk a felületen az adott pH mellett uralkodó oxidszerkezetet. Elméletet dolgoztunk ki a záróáramok időbeli instabilitásának elektrokémiai értelmezésére, és azt kísérletileg is sikerült igazolnunk.

Téreffektus, felületi potenciál mérésekkel alátámasztva fentebb említett kísérleteink eredményei alapján a lassú és gyors állapotok kémiai modelljének kidolgozása területén is munkák folynak. A vizsgálatok során a különböző kémiai kötések befolyását vizsgáljuk a töltésvándorlásra. Megállapítottuk, hogy a lassú relaxációk egy része nem függ össze közvetlenül az oxid-tértöltésréteg közötti töltésvándorlással, hanem kizárólag elektrosztatikus jellegű.

E vizsgálatoknak kifejezetten alapkutatási jellegük mellett már eddig is hatásuk volt a hazai germánium alapú félvezetők stabilitásának és megbízhatóságának növelésében. Ezekre, valamint a Műszaki Fizikai Kutató Intézetnek és a Híradástechnikai Kutató Intézetnek SZIGETI akadémikus

előadásában említett kutatásaira támaszkodva elértük, hogy az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. ipari félvezetői elérik a világszínvonalat. Munkatársaink az 1967-es berlini szimpóziumon ennek eredményeképpen beszámolhatnak arról, hogy az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. germánium félvezető eszközök terén 20 000 órás tartós égetési eredményekkel rendelkezik, amelyek során 0,11%/1000 óra p faktor értéket tudtunk szavatolni.

Az előadás röviden ismertette a szerző irányitása alatt az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt-nál, valamint kooperációban a Budapesti Műszaki Egyetem Fizikai Kémiai Tanszékén, a József Attila Tudományegyetem Kisérleti Fizikai Tanszékén, az MTA Központi Kémiai Kutató Intézetében és a Távközlési Kutató Intézet II. laboratóriumában e területen folyó munkákat.

A HAZAI WOLFRAMKUTATÁS*

MILLNER TIVADAR
AKADÉMIKUS
A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI FIZIKAI KUTATÓ INTÉZETE

I. Bevezetés

Ismeretes, hogy a porcelán feltalálása óta Kínában minden trónralépő császár számára új, addig még soha nem látott színű és alakú porcelánkészletet állítottak elő. K. C. Li és C. J. Wang kínai szerzők ismert „Tungsten" című könyvének harmadik kiadásában [1] olvashatjuk, hogy a kínai császár udvara valamikor 1662 után elrendelte, hogy a trónralépő Kang-shi császár számára készítsenek a leghíresebb manufaktúrában egy 8 különböző darabból álló olyan porcelánkészletet, amely sem nem piros, sem nem rózsaszínű, hanem gyengén zöldes árnyalatúan barackvirágszínű legyen. Kang-shi császár porcelánkészletének barackvirágszíne azonban a nagyon nehezen megvalósítható feladatok közé tartozott: mintegy 8000 kísérletet kellett elvégezni a legkülönbözőbb ásványokkal és fémekkel, amíg végül is sikerült azt létrehozni. A készlet 7 darabja ma is megtekinthető a New York-i Metropolitan Museum of Art-ban. Minthogy azonban a barackvirág színű porcelán készítésének módja titok maradt mind a mai napig, ezek a tárgyak ma a világ legértékesebb porcelánritkaságai.

Érdekes, hogy az analitikai kémia azt a meglepő tényt derítette ki róluk, hogy wolframtartalmúak.

Azóta, amióta 1781—1783 között felfedezték a wolframsavat és a wolframfémet, és amióta 1904—1905-ben hazai kutatók előállították az első wolframszálas izzólámpákat [2], az élet császára, a haladás, a barackvirág színű porcelán helyett új feladatok elé állította a wolframot és a wolframkutatást. Ma a mindenki elektromos izzólámpájától azt kívánjuk, hogy a wolframból való izzószála jól világítson, azaz igen magas hőmérsékleten, igen hosszú ideig, igen gazdaságosan szolgáltasson fényt. A kutatás és a wolfram kapcsolatának története ezzel új szakaszba lépett. Azonban ez az új szakasz sem könnyebb, mint a régi: itt is sok, sőt sokszor 8000 kísérletet kellett és kell elvégezni a cél elérése érdekében és a próbálgatásnak, azaz empiriának, itt is

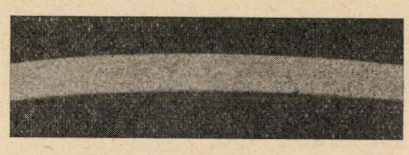
* Elhangzott a Magyar Tudományos Akadémia 1967. évi közgyűlése alkalmából a Műszaki Tudományok Osztálya, valamint a Matematikai és Fizikai Tudományok Osztálya közös rendezésében tartott „Szilárd testek kutatása" tudományos ülésszakon, 1967. május 4-én.

nagy szerepe volt és van, amit csak lépésről lépésre vált fel a tudományos megismerés és az ebből fakadó megalapozottabb műszaki haladás.

II. Idegenanyag-nyomok kristályosító hatásának megnyilvánulásai wolframfémben

Azt a célt, hogy egy wolframból való izzószál jól világítson, azaz igen magas hőmérsékleten, igen hosszú ideig igen gazdaságosan szolgáltasson fényt, nem tiszta wolframfémmel, hanem célszerűen megválasztott adalékok csekély nyomaival, idegenanyag-nyomokat tartalmazó wolframfémmel lehet elérni.

A tiszta fémporból porkohászati úton, zsugorítással készült wolframrudakban szemmel alig látható apró krisztallitok keletkeznek (1. ábra).



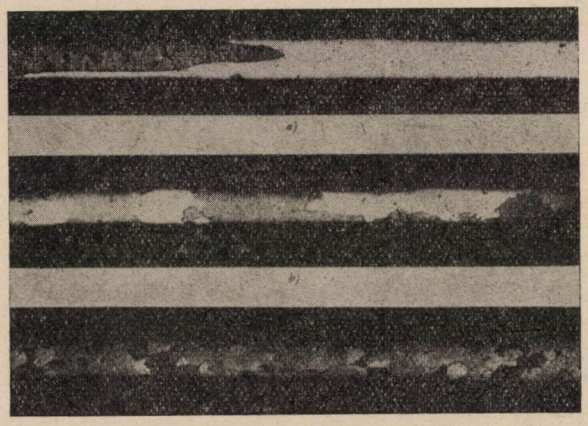
1. ábra. Egy adalék nélküli, ún. tiszta wolframfémporból készült, zsugorított aprókristályos wolframrúd megmart felületének fényképe

Az ilyen rudak húzott drótjai is kiskristályosan rekrisztallizálnak (2c. ábra). Zsugorítás közben alkalmazott vízgőzhatással lehet ugyan egyébként kiskristályos rudakban nagy (cm-es) kristályokat nevelni, de az ilyen nagykristályos rudak húzott drótjai mégis kiskristályosan rekrisztallizálnak. Lehet ezenkívül *sok* idegenanyagot, pl. 1,5% ThO_2-ot tartalmazó fémporból is nagykristályos zsugorított rúdhoz jutni [3], azonban az ilyen rudak drótjai szintén kiskristályosan rekrisztallizálnak.

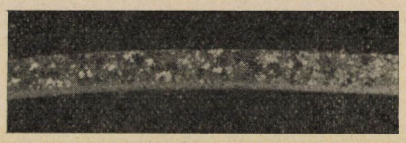
Azt a jelenséget, hogy ne csak a zsugorított, azaz meg nem munkált wolframrudak (3. ábra), hanem ezek megmunkált, húzott majd rekrisztallizált drótjai is (2a. ábra) nagy krisztallitokból álljanak, és ezzel együtt azt a célt, hogy a belőlük készült izzótestek, pl. duplaspirálok jól világítsanak, vagyis izzószálhőmérsékleten (2400 C°-nál is nagyobb hőmérsékleten) alaktartók (át nem hajlók) és szobahőmérsékleten sem törékenyek legyenek, a mai napig — a hazai wolframkutatás korábbi eredményei [10] és évtizedes tapasztalata alapján — szerte a világon K-, Si-, Al-tartalmú adalékok kb. 10^{-5} num. koncentrációban visszamaradó *nyomaival* érik el [4—10].

A hazai wolframkutatás ennek az azonos okra, a három komponensű K-, Si-, Al-tartalmú adalék nyomainak jelenlétére visszavezethető kétféle nagykristályképző hatásnak ma azt a részét vizsgálja elsősorban, amely a húzott drótokat teszi rekrisztallizációkor nagykristályossá. A következőkben ennek a nemzetközileg is elismert szerteágazó kutatásnak egyetlen szűkebb

területe, a rekrisztallizáció *folyamatának* a saját elektronemisszió felhasználásával, elektronoptikai leképezéssel történő tanulmányozása és ennek eredményei kerülnek ismertetésre [11].



2. ábra. Húzott wolframdrótok kristályszerkezetének fényképe újrakristályosodás után: szokásos K, Si, Al-os drót (*a*); K, Si-os drót (*b*) és adalék nélkül készített drót (*c*) esetén (RIECK, G. D. [19; 112. old., 3. ábra] nyomán)



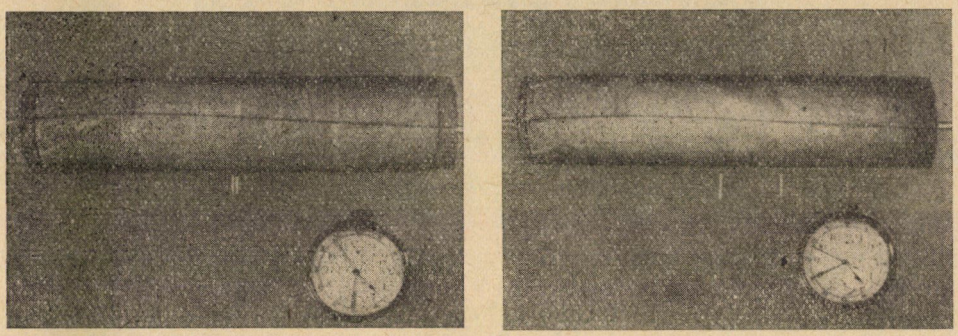
3. ábra. Egy szokásos K, Si, Al adalékos wolframfémporból készült, zsugorított nagykristályos wolframrúd megmart felületének fényképe

III. Wolframdrótok újrakristályosodásának elektronoptikai megfigyelésére szolgáló készülék

R. B. NELSON [12] és C. S. RONINSON [13] után a hazai wolframkutatás [14—16] 1957—1961 között már tanulmányozta a wolframdrótok (elsősorban a nagykristályos wolframdrótok) szekundér rekrisztallizációjának lefolyását folyamatos megfigyeléssel az ún. sajátelektronemissziós leképezéssel. Erre a célra a wolframdrótok egy evakuált és belül willemit-fényporral bevont üvegcső tengelyében voltak kifeszítve. Az elektromos felhevítéskor emittált elektronjaikat egy segédelektróda gyorsító feszültsége a fényporrétegre irányította. A rekrisztallizáció hőmérsékletére hevített, de még éppen nem rekrisztalizáló wolframdrót elektronemissziójának hatására a cső egész felülete azonos fényességgel világított. A megjelenő, majd növekvő krisztallitokkal átellenben a környezetnél sötétebb vagy világosabb, növekedő szélességű sávok (gyűrűk) keletkeztek (4a. és 4b. ábra) annak következtében, hogy a

krisztallitok általában egymáséitól eltérő kristálytani síkjaikkal jelentek meg a drótfelületen, és ezek eltérő mértékben emittálnak elektronokat azonos hőmérsékleten. Amíg ugyanis a polikristályos wolframfelületek átlagos kilépési munkája 4,53 eV, addig — mai ismereteink szerint — az (111) síkon 4,4 eV, az (100) síkon 4,5 eV és az (110) síkon 5,0—5,5 eV az a kilépési munka, amely az elektronemisszió mértékét megszabja [17].

Ennek az ún. Robinson-módszernek az a hiányossága, hogy vele a krisztallitoknak csak dróttengelyirányú méretét és növekedéssebességét lehet



4. ábra. Ún. Robinson-felvételek egy 90 mikronos K, Si, Al-os wolframdrót egyetlen krisztallitjának hossznövekedéséről (PROHÁSZKA, J.—HORVÁTH, A.—MILLNER, T. [16; 60. old.] nyomán)

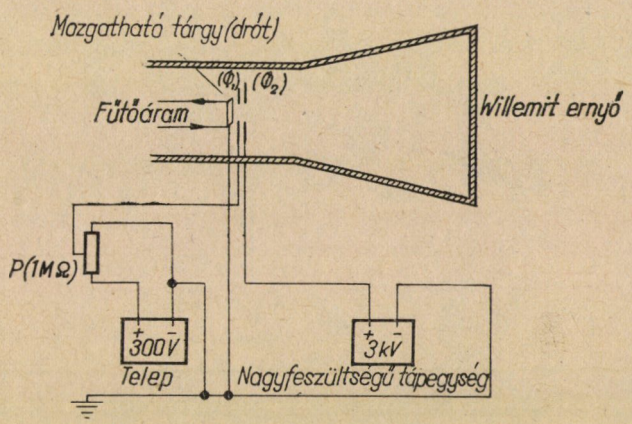
megállapítani, a drótsugárirányú viszonyokról ellenben (a kép elkent volta miatt) nem lehet elegendő felvilágosítást kapni. A fénymikroszkópos (metallográfiai) vizsgálatoknak meg az a hiányossága, hogy bár minden irányban kiértékelhető képet adnak, de a rekrisztallizáció folyamatának csak megszakításos és a közbeeső műveletek (lehűtés, felmelegítés stb.) által megzavart tanulmányozását teszik lehetővé.

Ezért olyan, kb. max. 150-szeres nagyítású elektronoptikai módszert dolgoztunk ki, amellyel egy rekrisztallizáló (pl. 2300 C°-os) wolframdrót síkra csiszolt szakaszáról egy képernyőn minden irányban torzításmentes, szemmel megfigyelhető vagy folyamatosan fényképezhető képet lehet kapni. Ebben a HORACSEK O. által kidolgozott, elektronoptikai lencserendszert alkalmazó eljárásban [11] is az az alapja a kép keletkezésének, hogy a szekunder rekrisztallizációban keletkező krisztallitok különböző kristálytani síkjainak azonos hőmérsékleten különböző mértékű és a vizsgálati hőfokon elegendően nagy az elektronemissziója.

Készülékünk kapcsolási rajza az 5. ábrán látható. Immerziós objektívnek megfelelő elektronoptikai lencserendszerünk két lyukblendéből áll; az egyik konstans Φ_2, a másik változtatható Φ_1 feszültségen működik. Az ilyen elektródarendszer tengelyszimmetrikus elektrosztatikus teret létesít. Ennek ekvi-

potenciális ún. törőfelületein a mozgó elektronok mozgásiránya folyamatosan ugyanúgy változik, mint az olyan fénysugár útja, amely folyamatosan változó törésmutatójú optikai közegen halad át.

Itt valamely adott geometriájú elrendezésben általában azáltal juthatunk éles leképezéshez, ha a Φ_2/Φ_1 potenciálhányadosnak pl. a P potenciométer segítségével megfelelő értéket adunk. Készülékünkben a Φ_2 és Φ_1 potenciálok adott és változatlan értékei mellett azáltal is éles képet lehet beállítani, ha a



5. ábra. Adalékos wolframdrótok újrakristályosodásának folyamatos megfigyelésére alkalmas elektronoptikai berendezés kapcsolási vázlata (HORACSEK, O.—MILLNER, T. [11] nyomán)

tárgy és lencserendszer távolságát a készülék rugalmas csőmembránjai segítségével alkalmas értékre állítjuk be.

Általában a kb. félbecsiszolt drótminták egy 15—20 mm-es, maximális hőmérsékletű szakaszának képét figyeltük meg vagy fényképeztük le. A drótminta a készülékben optikai pirométerrel történő hőmérsékletmérés számára hozzáférhetően van elhelyezve. Az újrakristályosodás folyamatáról könnyen készíthetünk ezzel a készülékkel pl. 1—2 másodperces időközökben felvételeket, és a cső üzemét leállítva egy üvegcsiszolat megbontásával bármely érdekes időpontban kivehetjük épségben a készülékből a drótmintát egyéb vizsgálatok számára.

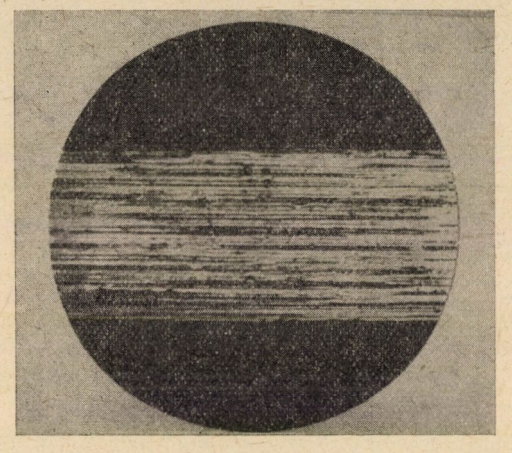
IV. Sajátelektronemissziós megfigyelések nagykristályos wolframdrótok szekunder rekrisztallizációjáról

Készülékünkkel megvizsgáltuk húzott wolframdrótok szekundér rekrisztallizációjának lefolyását olyan kísérleti ún. GK drótokon, amelyek összesen kb. 1% K-, Si-, Al-tartalmú adalékkal készültek és húzott állapotban kb. 10^{-3} % adaléknyomokat tartalmaztak [6]. A kb. 0,3 mm átmérőjű rövid

drótdarabok közepén egy néhány cm-es szakaszt síkra csiszoltunk, és ennek elektronemissziós képét vizsgáltuk (anélkül, hogy marattuk volna).

Ilyen drótokat készülékünk árambevezetőire hegesztve és 10^{-5} Torr értékű vákuumban nem egészen rekrisztallizációig hevítve, azt láttuk, hogy ezek elektronoptikai képén a metallográfiai mart csiszolatokról jól ismert rostos szerkezet jelentkezik (6. ábra).

Vajon mi van ezeknek a rostoknak a határain? J. L. MEIJERING [18] és G. D. RIECK [19] szerint a K, Si, Al adalékos húzott drótokban az adalékok



6. ábra. Húzott wolframdrót rostos szerkezetének maratott csiszolatáról készült fényképe. Ugyanilyen rostos szerkezet látszik a 7. és 9. ábra csiszolt, de nem maratott drótjainak elektronoptikai felvételein is azokon a részeken, amelyek még nem kristályosodtak (LAX, E.—PIRANI, M. [25; 320. old., 227. ábra] nyomán)

visszamaradt kis nyomai mint a wolframban oldhatatlan valamiféle idegen fázis apró részecskéi a rostok felületén helyezkednek el és azt jelentős mértékben beborítják. Ha egy ilyen beborított roston belül megindul a szekunder rekrisztallizáció, vagyis egy ép új kristályrészlet képződése, akkor ez abban akadálytalanul növekedhetik a rost két végéig. Keresztirányban azonban, a szomszédos rost felé, a részecskék alkotta falba ütközik, amelyen csak a hiányos helyeken, azaz csökkent valószínűséggel hatolhat át. J. L. MEIJERING és G. D. RIECK kimutatták, hogy ezzel a modellel bizonyos feltételek mellett meg lehet magyarázni hosszú, egymást átfedő krisztallitok képződését húzott K, Si, Al adalékos wolframdrótok szekunder rekrisztallizációjának folyamatában.

Készülékünk képernyőjén jól be lehet mutatni, hogy a primer rekrisztallizáció után még rostosnak látszó drótszerkezet valóban eszerint az elképzelés szerint alakul át nagy (hosszú) szekunder krisztallitok szerkezetévé úgy, amint azt a 7. ábra három, egymás után 3—3 másodperccel készült *a)*, *b)* és *c)* jelű felvétele is mutatja.

Ezzel azonban csak a nagykristályos szekunder rekrisztallizáció J. L. MEIJERING és G. D. RIECK által elképzelt lefolyása, azaz a gyors tengelyirányú és a lassú oldalirányú kristálynövekedés nyer szemmel látható igazolást. A jelenség mélyebb oka továbbra is homályban marad, mert a rostokat borító részecskék létezése és azok hatásossága továbbra is bizonyításra szorul. MILLNER T., PROHÁSZKA J. és NEUGEBAUER J. kimutatták [20], hogy a K, Si, Al adalékos ún. GK drótokban akkor is bekövetkezik a hosszú szekunder krisztallitok keletkezése, ha csak annyi idegenanyag van a drótokban, amennyi a rostok felületének legfeljebb századrészét boríthatja be részecskékkel, és ezért arra következtettek, hogy a keresztirányú kristálynövekedést nem részecskék,

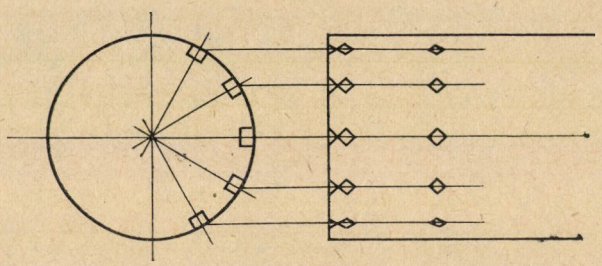
7. ábra. Egy 0,3 mm-es K, Si, Al-os wolframdrót újrakristályosodási folyamatáról 3 másodperces időközökben egymás után készült elektronoptikai felvételek. Az *a)*, *b)* és *c)* képek a rostokon belül gyorsan lefolyó, de a szomszédos rostokra csak vontatottan átterjedő kristályosodást szemléltetik

hanem legfeljebb egyatomos vagy néhányatomos idegenatomborítások akadályozhatják a rosthatárokon. Az idegenatomhatás, és nem a részecskehatás mellett szól az is, hogy a szekunder rekrisztallizációban nagykristálynövesztő hatást nem akármilyen összetételű adaléknyomokkal, hanem szinte egyedül csak K-, Si-, Al-tartalmú nyomokkal érhetünk el, vagyis a hatás nem annyira részecskesajátság szerint (diszperzitásfok stb. szerint), mint inkább atomfajta szerint specifikus.

M. MANNERKOSKI [21] magáévá tette a mi „atomoshatás" gondolatunkat, és megkísérelte a K, Si, Al adalékos húzott wolframdrótok szekunder rekrisztallizációjában észlelhető nagykristályképződésre atomos magyarázatot adni.

M. MANNERKOSKI szerint a dróttengellyel párhuzamos rosthatárok túlnyomóan kisszögű határok, és így túlnyomóan éldiszlokációk alkotják őket. Ezek az éldiszlokációk a rekrisztallizációs folyamatban természetüknek megfelelően úgy tűnnek el, hogy oldalirányban (radiálisan) vándorolnak ki a drótból. A rostok végein viszont ennek megfelelően túlnyomóan csavardiszlokációk találhatók, amelyek viszont természetüknek megfelelően úgy tűnhetnek el, ha

tengelyirányban vándorolnak el. M. MANNERKOSKI szerint már most azért növekednek tengelyirányban sokkal akadálytalanabbul a krisztallitok, mint oldalirányban, mert a csavardiszlokációk saját elmozdulásuk irányában nem visznek magukkal idegenatomokat, az éldiszlokációk ellenben saját elmozdulásuk irányában eltolják őket, és így helyenként a dróttengellyel párhuzamosan úgy felhalmozzák azokat, hogy éldiszlokációk további mozgását és a kristálynövekedést akadályozó falakat alkotnak. M. MANNERKOSKI nézetét tehát úgy fogalmazhatnánk meg, hogy szerinte nincsen sem nagymértékű részecskeborítás, sem nagymértékű idegenatomborítás a rostokon, vannak ellenben idegenatomok a fémrácsban, amelyek magában a rekrisztallizációs folyamat-



8. ábra. A húzott wolframdrótok rostos [110] alakítási textúrája SMITHELLS [22; 151. old., 148. ábra] nyomán. (Ma már nem tekinthető helytállónak.)

ban idegenatom-falakká torlódnak össze, és ezek terelik végül is tengelyirányba a krisztallitnövekedést.

M. MANNERKOSKI magyarázata igen kézenfekvőnek látszott, és mivel a diszlokációkkal ilyen kölcsönhatásban részecskék nem állhatnak, hanem csak atomok, elektronoptikai vizsgálataink lefolytatása előtt magunk is azt hittük, hogy ez a magyarázat alátámasztja azt a nézetünket, hogy a szekunder rekrisztallizációt a K, Si, Al adalékos wolframdrótokban nem részecskék, hanem idegenatomok irányítják.

Saját elektronemissziós elektronoptikai vizsgálataink azonban teljesen valószínűtlenné tették M. MANNERKOSKI magyarázatát, mert kimutatták, hogy a K, Si, Al adalékos wolframdrótok rosthatárai nem állhatnak túlnyomóan éldiszlokációkból. Ez nyilvánvalóvá válik a következőkből.

A húzott wolframdrótok rostjai általában olyan deformált krisztallitokból állanak, amelyekben a térbenközéppontos köbös rács [110] irányai a dróttengely irányába igazodtak be. Így dróttengellyel párhuzamos helyzetet a drót belsejében is és a felületén is rombdodekaéder síkok foglalnak el. Ezt szemlélteti Z. JEFFRIES 1924 óta közismert ábrája [22, 21] (8. ábra). Ez az ábra azonban megtévesztő, mert többet mond a valóságnál. Jól szemlélteti ugyan a fentieket, ezenfelül azonban úgy tűnteti fel, mintha a drótban a drót tengelye

körül az egyes krisztallitok orientációja rostról rostra legyezőszerűen, azaz csak kevéssé változnék. Ha ez volna a helyzet, akkor a drótok tengelyirányban laposra csiszolt részeiről készült elektronemissziós képeinken rostról rostra fokozatosan sötétedő, majd fokozatosan világosodó képet kapnánk. Felvételeinken azonban statisztikus rendezetlenségben váltakoznak a legkülönböző árnyalatú rostfelületek. Ily módon szemmel láthatóvá vált az, amit G. D. RIECK már röntgenvizsgálatokból is következtetett, az ugyanis, hogy a húzott wolframdrótok rostjai, és ezek között a K, Si, Al adalékos wolframdrótok rostjai is, nem túlnyomóan kisszögű, hanem túlnyomóan nagyszögű határokkal érintkeznek, és így érintkező felületeiket nem alkothatják túlnyomóan éldiszlokációk.

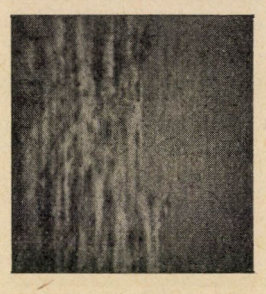
V. Az adalékhatás nyitott kérdései

Ezzel megdőlt M. MANNERKOSKI tetszetős magyarázata, de egyúttal érvet vesztett az atomos idegenanyaghatás gondolata is. Az előbb már nem találtuk kielégítőnek L. J. MEIJERING és G. D. RIECK részecskehatásra felépített magyarázatát sem. Miképpen hatnak hát akkor az adaléknyomok? Miképpen hathatnak a K, Si, Al hármas adalékkombináció nyomai a wolframdrót szekunder rekrisztallizációjakor?

Bizonyára többféle funkció kombinációjával hatnak, hiszen ők maguk is háromféle anyag kombinációjából állanak, és csakis ebben a kombinációban hatnak igazán. Bizonyára ezért nincsen szimpla felelet erre az egyszerűnek látszó, de valójában összetett kérdésre.

Igen valószínűnek látszik, hogy a K, Si, Al adalékkombináció nyomainak nem az az elsődleges hatása, hogy alkalmas gátakat alkotva megnyúlt és egymással tengelyirányban hosszan érintkező (átlapoló) szekunder krisztallitokat hoznak létre — bár ez a hatásuk is lehetséges —, hanem az, hogy nagyon hátráltatják a primeren rekrisztallizált drótban a szekunder kristálymagképződést, és ezáltal a szekunder rekrisztallizációnak tiszta wolframra jellemző, 1300—1500 C°-os hőmérsékletét 2200—2300 C°-ra emelik, még pedig nem a rosthatárokból és rostanyagból álló keverékrendszerben, hanem magában a wolframfémanyagban, azaz egyetlen roston belül is. Készülékünk képernyőjén jól megfigyelhető, amint pl. 2200 C°-on éppen még egyetlen roston belül sem folyik rekrisztallizáció, majd valamelyik rost anyaga hirtelen egyetlen kristállyá válik, a szomszédos rostok pedig kristályosodás nélkül arra várnak, hogy az egyetlen rostkristályt egy-egy hirtelen folyamattal továbbnövelhessék mindaddig, amíg az egy távolról közelítő másik krisztallittal össze nem találkozik. A hazai wolframkutatás már régen megállapította [15, 20], hogy itt a kristálymagképződést főképpen az Al-tartalmú adaléknyomok akadályozzák. Nagyon valószínű, hogy az akadályozó hatást Al atomok fejtik ki.

Az sem kétséges, hogy valóban vannak a K, Si, Al adalékos húzott wolframdrótokban is, sőt ezek szekunder krisztallitjainak belsejében is rostirányú, „halszálkaszerűen" elrendezett finom idegenanyag rétegek. Ilyenekre G. D. RIECK az ő ún. fragmentációs röntgenvizsgálataiból már következtetett [23]. A mi HORACSEK O. által készített elektronemissziós elektronoptikai



9. ábra. Egy 0,3 mm-es K, Si, Al-os wolframdrót újrakristályosodási folyamatában készült elektronoptikai felvétel. A kép felét kitöltő egyetlen krisztallitban finom vonalkázottság látható

10. ábra. Egy 3 % réniumot tartalmazó K, Si, Al-os wolframfémporból készült, zsugorított nagykristályos wolframrúd megmart felületének fényképe

felvételeinken (9. ábra) közvetlenül is láthatóvá válik a szekunder krisztallitok belsejében egy olyan finom sávozottság, amelynek sűrűsége nem követi a rostsűrűséget, és amely szerintünk aligha származhatik mástól, mint a wolframfelület emissziójától eltérő emissziójú idegenanyagtól. Vizsgálataink még nem döntötték el, hogy ez az észlelet nem származik-e elsősorban a Si-tartalmú adalékkomponenstől. Ettől függetlenül úgy tűnik azonban, hogy ezek a sávok elsősorban az egyes krisztallitok, valamint az egész drót szilárdságát, az izzószálhőmérsékleten és szobahőfokon észlelhető és gyakorlatilag annyira fontos mechanikai tulajdonságát determinálják, nem pedig a krisztallitok méretét. Vannak persze a K, Si, Al adalékhármas funkciójának még ezeknél is nyitottabb kérdései is.

Szeretném megemlíteni végül, mert véleményem szerint szorosan ide tartozik, hogy NEUGEBAUER J. (az *Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt*-ban) megállapította [24], hogy a K,- Si-, Al-tartalmú adaléknyomok nemcsak a wolframfémben, hanem a wolfram-rénium ötvözetekben is kifejtik ismert adalékhatásukat. Így pl. egy 3% réniumot tartalmazó W-Re ötvözet por-

kohászati rúdjait (10. ábra), valamint rekrisztallizált drótjait nagykristályossá teszik, és a húzott drótok rekrisztallizációs hőmérsékletét 2800 C°-ra emelik. Ezek a nagy érdekességű észlelések is segíthetnek a K-, Si-, Al-tartalmú adalék-nyomok hatásmódjának felderítésében.

VI. Zárószó

A hazai wolframkutatásról több ízben jelent már meg szélesebb körű áttekintés [2, 4—7]. Ezúttal csak egyetlen újabb kutatási ág került ugyan ismertetésre, a hazai wolframkutatás azonban természetesen még jó néhány más irányban is igyekszik előrehaladni. Remélhető, hogy hamarosan alkalom nyílik majd újabb elméleti és gyakorlati eredményeinek átfogóbb ismertetésére is.

IRODALOM

1. Li, R. C.—Wang, C. J.: Tungsten. Reinhold P. Co. New York 1955; 3. kiadás, 394.
2. Millner T.—Tury P.: Wolframgyártás (Mérnöki Továbbképtő Intézet; XXVI. kötet, 42. füzet). Egyetemi Nyomda, Budapest 1944; 5.
3. Tarján J.—Tury P.: Magy. szab. 91 980 (1924).
4. Millner T.: *VI. Oszt. Közl.* **16** (1955), 99.
5. Millner T.: *VI. Oszt. Közl.* **27** (1960), 111.
6. Millner T.: *VI. Oszt. Közl.* **21** (1957), 243.; *Acta Techn. Hung.* **17** (1957), 67.
7. Millner T.: *VI. Oszt. Közl.* **34** (1964) 55.; *Acta Techn. Hung.* **50** (1965), 203.
8. Millner T.—Neugebauer J.: Magy. szab. 143 027 (1954); USA szab. 2 948 609.
9. Millner T.—Neugebauer J.: Magy. szab. 143 595 (1954); USA szab. 2 806 774.
10. Millner T.—Tury P.: Magy. szab. 106 268 (1933); USA szab. 2 012 825 (1935).
11. Horacsek, O.—Millner, T.: Elektronenoptische Untersuchung der sekundären Rekristallisation gezogener Wolframdrähte mit Hilfe ihrer thermischen Elektronenemission. *Z. Metallkunde* **58** (1967), 345.
12. Nelson, R. B.: M. I. T. Physics Thesis (Ph. D.) 1938.
13. Robinson, C. S.: *J. Appl. Phys.* **13** (1942), 647.
14. Millner T.—Prohászka J.—Horváth A.: *MTA VI. Cszt. Közl.* **21** (1957), 349.
15. Millner, T.—Prohászka, J.—Horváth, A.: *Acta Techn. Hung.* **18** (1957), 289.
16. Prohászka, J.—Horváth, A.—Millner, T.: Festkörperphysik (Festkörperphysik-Tagung in Balatonfüred, Ungarn 1959). Akademie-Verlag, Berlin 1961; 60.
17. Rieck, G. D.: Tungsten and its Compounds. Pergamon Press, London 1967.
18. Meijering, I. L.—Rieck, G. D.: *Philips Techn. Rundschau* **19** (1957/58), 113.
19. Rieck, G. D.: Hochschmelzende Metalle (3. Plansee Seminar 1958, Reutte-Tirol). Springer Verlag, Wien 1959.
20. Millner, T.—Prohászka, J.—Neugebauer, J.: Festkörperphysik (Festkörperphysik-Tagung in Balatonfüred, Ungarn 1959). Akademie-Verlag, Berlin 1961; 219.
21. Mannerkoski, M.: *Acta Metallurgica* **10** (1962), 982.
22. Smithells, C. J.: Tungsten. Chapman and Hall, London 1952; 153.
Jeffries: Trans. Amer. Inst. Min. Eng. 1924.
23. Rieck, G. D.: *Acta Metallurgica* **4** (1956), 47.
24. Neugebauer J.—Körtvélyessy L.: Magy. szab. 150 829 (1962).
25. Lax, E.—Pirani, M.: Wolfram (*Gehlhoff:* Lehrbuch der technischen Physik, III). J. A. Barth, Leipzig 1929.

OLDOTT ÖTVÖZŐELEMEK HATÁSA AZ α-VAS FOLYÁSI HATÁRÁRA*

VERŐ JÓZSEF
AKADÉMIKUS

I. Bevezetés

A legfontosabb, legnagyobb mennyiségben felhasznált szerkezeti anyagaink az α-vas különböző szerkezetű ötvözetei, azok leglényegesebb sajátsága pedig a sztatikus terhelhetőségüket megszabó rugalmassági, illetve folyási határuk. A mostanában sokat emlegetett nagy szilárdságú acél voltaképpen mindig nagy rugalmassági, folyási határú vasötvözetet jelent.

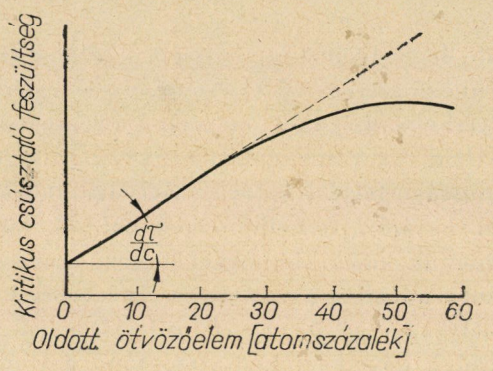
Fémek folyási határát, terhelhetőségét többek között olyan módon növelhetjük, hogy bennük oldódó elemekkel ötvözzük azokat, olyan elemekkel, amelyek beilleszkednek a fém, az α-vas rácsszerkezetébe. A beilleszkedő idegen atomoknak más a helyszükségletük, ezért torzítják a csúszási síkokat, azokat „érdessé" teszik. Ennek következtében viszont nő a transzlációval szemben érvényesülő, súrlódás jellegű ellenállás, a kritikus csúsztató feszültség és az evvel összefüggő minden mechanikai tulajdonság, a rugalmassági és a folyási határ, a szilárdság és a keménység is.

Néhány fémnek, például a réznek homogén ötvözeteire vonatkozóan egyszerű összefüggést állapítottak meg az oldott atomok mérete és a kritikus csúsztató feszültség növekedése között [3]. A vas ötvözeteire vonatkozóan ilyen összefüggés megállapítását még nem kísérelték meg, bár ismeretesek olyan kísérleti eredmények, amelyeket erre a célra felhasználhatunk. Néhány évvel ezelőtt az a vélemény is elhangzott [9], hogy az α-vas ötvözeteiben az oldott elemek rendszáma vagy a rácstorzulás mértéke és a transzlációval szemben érvényesülő ellenállás között rendszeres összefüggés nem állapítható meg.

Nehézséget okoz az a körülmény is, hogy az α-vas néhány elemet, elsősorban a karbont és a nitrogént intersztíciósan oldja. Az α-vasnak karbont, nitrogént tartalmazó szilárd oldataiban, a ferritben és a martensitben a kritikus csúsztató feszültséget, a folyási határt és a keménységet más mechanizmusok is növelhetik, bár abban elég egységes a felfogás, hogy a kritikus csúsztató feszültséget és az avval összefüggő egyéb tulajdonságokat ilyenkor is főleg az oldott atomok okozta rácstorzulás változtatja meg.

* Elhangzott a Magyar Tudományos Akadémia 1967. évi közgyűlése alkalmából a Műszaki Tudományok Osztálya, valamint a Matematikai és Fizikai Tudományok Osztálya közös rendezésében tartott „Szilárd testek kutatása" tudományos ülésszakon, 1967. május 4-én.

A következőkben megkísérlem, hogy egységes rendszerbe foglaljam az α-vas szilárd oldataira vonatkozó eddigi kísérleti eredményeket. A szubsztitúciós és intersztíciós szilárd oldatokat megkísérlem közös szemlélet alapján tárgyalni. Az ilyen vizsgálódás eredményeképpen ki kell tűnnie, hogy az egyéb fémek ötvözeteire vonatkozó összefüggések érvényesnek tekinthetők-e a vas ötvözeteire. Ezenkívül arra a kérdésre is választ kaphatunk, okvetlenül szükséges-e az α-vas intersztíciós oldatainak, elsősorban a martensitnek mechanikai tulajdonságait az oldódással járó rácstorzuláson kívül egyéb mechanizmusok feltételezésével értelmeznünk.



1. ábra

II. Az α-vas szubsztitúciós oldatainak folyási határa

Szilárd oldat alkotta ötvözetsorban a kritikus csúsztató feszültség maximumos görbén változik (1. ábra); a maximum 50 atomszázalék ötvözőfémtartalomnál jelentkezik. Híg ötvözetekre, tehát csekély ötvözőfémtartalomra vonatkozóan a görbe egyenesnek tekinthető. Az ötvözetrendszer szélén a görbe a

$$\frac{d\tau}{dc} = k_1 \left(\frac{1}{a} \cdot \frac{da}{dc} \right)^n \tag{1}$$

grádiens irányában emelkedik [3]. A bal oldalon a kritikus csúsztató feszültségnek egy atomszázalék ötvözőfém okozta növekedése szerepel, a jobb oldalon a zárójelben a rácsméret relatív változása az ötvözőfém egy atomszázalékára vonatkoztatva; a k_1 szorzó, valamint az n kitevő a kísérleti adatokból meghatározandó értékek.

A folyási határ a kritikus csúsztató feszültséggel arányos; a két érték

változása nyilván szintén arányos egymással:

$$\frac{d\sigma_F}{dc} = k_2 \frac{d\tau}{dc} . \tag{2}$$

A rácsméret relatív változása a két atomfajta átmérőjének ΔD különbségével arányos:

$$\frac{1}{a}\frac{da}{dc} = k_3(\Delta D) . \tag{3}$$

Az (1) egyenletet tehát a

$$\frac{d\sigma_F}{dc} K = (\Delta D)^n \tag{4}$$

alakban is írhatjuk, ahol a K tényező a korábbi egyenletek k_1, k_2 és k_3 tényezőit egyesíti magában.

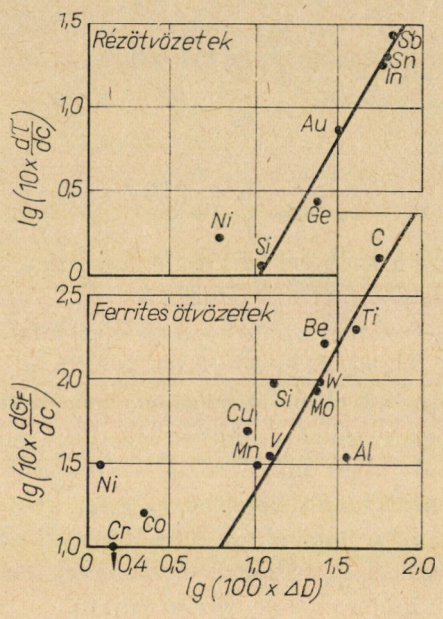
A réz homogén ötvözeteire vonatkozó kísérleti adatokat ábrázoló pontok némi szórással ugyan, de elég jól egy egyenes vonalban sorakoznak, ha a kritikus csúsztató feszültség növekedését az atomátmérők különbségének függvényeképpen logaritmusos koordinátarendszerben tűntetjük fel (a 2. ábra felső része). Ebben a [3]-ból átvett diagramban a nikkelre vonatkozó pont esik legmesszebbre az egyenestől: erősebben növeli a réz kritikus csúsztató feszültségét, mint amennyire az atomjának méretéből következnék. A nikkelen kívül az ábrában nem is szerepel olyan másik ötvözőfém, amelynek atomja méret tekintetében kevéssé különböznék a réz atomjától.

Az ábrába rajzolt egyenes irányából a (1) egyenletben szereplő n kitevő értéke 2-re adódik.

A 2. ábra alsó részében a vas nagyobb számú ötvözetére vonatkozó adatokat tűntettem fel. Ordinátaként a (2) és (4) egyenlet értelmében a folyási határ változását szerepeltetem. Ebben a diagramban a pontok egy része azok legsűrűbb csoportjától elég távol helyezkedik el. Azok az elemek, amelyeknek atomátmérője csak kevéssé különbözik a vasétól, elsősorban a nikkel és a kobalt, kelleténél erősebben növelik a vas folyási határát. Kisebb mértékben, de ugyanez mondható a réz és a szilícium hatásáról, az alumínium hatása pedig kelleténél gyengébbnek látszik. Hét ötvözőelemre vonatkozik a pontok legsűrűbb csoportja. Ezeken a pontokon át olyan egyenest húzhatunk, amely az ábra felső részében megrajzolt egyenessel párhuzamos. A (4) egyenletben szereplő n kitevő számértéke eszerint szintén 2.

A 2. ábra alsó diagramját lényegében [4] kísérleti adatainak felhasználásával szerkesztettem meg. A pontok szórása több oknak lehet a következménye. Egyik ilyen ok, hogy még laboratóriumban is nehéz egészen tiszta és ideális egyensúlyban levő szilárd oldatot készíteni; még nehezebb volt ez 1944-ben,

amikor [4] vizsgálatai készültek. Ezenkívül olyan másodlagos jelenségek is megváltoztathatják a vasötvözetek folyási határát, amilyenek a réz ötvözeteiben biztosan nem juthatnak szerephez. Ilyen másodlagos jelenség mindenekelőtt a ferrit szemnagyságának megváltozása az ötvözés következtében, lényegében a $\gamma-\alpha$-átalakulás hőmérsékletének eltolódása miatt. Másodlagos jelenségként szóba jöhet ezenkívül az ötvözőelem vegyület természetű fázisai-



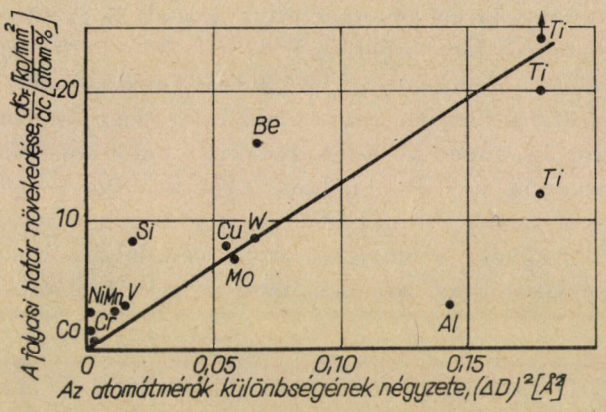
2. ábra

nak képződése a vasban jelenlevő szennyezőelemekkel, például a nitrogénnel, oxigénnel. A [4] szerzői tesznek is célzást arra, hogy kísérleti ötvözeteik dezoxidálása nehézséget okozott, és hogy az nem is sikerült mindig egyforma mértékben.

Az ilyen másodlagos jelenségek a vasötvözetek folyási határát még sokkal erősebben is megváltoztathatják, mint amennyire az a 2. ábrából kitűnik. Ez különösen akkor igaz, ha nem laboratóriumban készült próbákról, hanem gyakorlati vasötvözetekről, acélfajtákról van szó. Hivatkozhatom azokra a vizsgálatokra, amelyekkel ötvözetlen és gyengén ötvözött acélfajták összetételének és folyási határának összefüggését derítették fel. Ilyen célból több ezer acéladag adatait feldolgozva alkottak képleteket, amelyekkel valami adott karbon-, szilícium-, mangán- stb. tartalmú acél folyási határát, szilárdságát, nyúlását, kiszámíthatjuk. Amíg [4] szerint például egy atomszázalék titán a vas folyási határát 12—20 kp/mm²-rel növeli, [5] szerint az egy atomszázalék titánt tartalmazó acél folyási határa 67 kp/mm²-rel, [8] szerint pedig

93 kp/mm²-rel nagyobb a titánt nem tartalmazó acélénál. Gyakorlati acélban a titán hatása tehát négyszer-ötször erősebbnek látszik, mint [4] laboratóriumban készült ötvözeteiben. Az alumíniumra vonatkozóan is találhatunk olyan adatot, hogy acélban négyszer-ötször nagyobb mértékben növeli a vas folyási határát, mint amekkorának ezt a hatását [4] szerzői megállapították.

A kísérleti adatokat nyilván annál megbízhatóbbnak tarthatjuk, minél inkább sikerült a zavaró mellékjelenségeket a kísérleti anyagok előkészítésekor kiküszöbölni. [4] kísérleteiben ez tökéletesen bizonyára nem sikerülhetett, már csak azért sem, mert 1944-ben a mai fogalmak szerint színvasnak nevezhető fém még alig volt hozzáférhető. Kísérleteikben az akkor ismert legtisztább



3. ábra

vasat és ötvözőfémeket használták fel, ötvözeteiket laboratóriumban gondosan olvasztották és dolgozták fel. Azóta hasonló méretű kísérletsorozatot sokféle ötvözőfémmel nem végeztek. Ezért használtam főként [4] adatait a 2. és a 3. ábra megszerkesztéséhez.

A 3. ábrában az ötvözőelemeknek a vas folyási határát növelő hatását az atomátmérők különbségének négyzete függvényeképpen, tehát a (4) egyenlet értelmében ábrázoltam. A pontok egy része ebben az ábrában is szemmel láthatóan kiesik a zöm vonalából. Különösen a szilícium, a berillium, az alumínium és a titán hatását jelentő pontok esnek elég messze a többiektől. Ezek mind nagyon reakcióképes elemek, úgyhogy önkéntelenül is a már említett mellékjelenségekre kell gondolnunk. A nikkelre, kobaltra, mangánra és vanádiumra vonatkozó pontok is kelleténél magasabban helyezkednek el; ezek azok a fémek, amelyeknek atomátmérője a vasétól csak kevéssé különbözik. A rács torzulásából eredő hatásuk csak gyenge lehet, a szekunder hatások tehát viszonylag erősen érvényesülhetnek.

A 3. ábra pontjainak szórását és annak okait kellőképpen mérlegelve, a legtöbb ötvözőelemnek az α-vas folyási határára kifejtett hatását a

$$\frac{d\sigma_F}{dc} = 130 \cdot (\Delta D)^2 \tag{5}$$

egyenlet szerinti egyenes sejthetően elég pontosan fejezi ki. Nem hallgathatom el azt a véleményemet, hogy célszerű lenne [4] kísérleteit a jelenleg hozzáférhető legtisztább fémekkel és a zavaró mellékjelenségek tökéletesebb kiküszöbölésével megismételni.

Ha az egyes ötvözőelemeknek az α-vasban való oldékonyságának mértékét is figyelembe vesszük, arra a következtetésre jutunk, hogy az α-vas szubsztitúciós szilárd oldatainak folyási határa legfeljebb 30—35 kp/mm²-rel nagyobb mint a vasnak, néha 5, máskor 8—10 kp/mm² nagyságúnak mondott folyási határa. Azok az ötvözőfémek ugyanis, amelyek erősen növelik a folyási határt, mint például a titán, éppen az atomjaiknak a vasétól erősen különböző helyszükséglete miatt csak kevéssé oldódnak. Azok az ötvözőfémek viszont, amelyeket az α-vas nagyobb mennyiségben képes oldani, a folyási határt csak kevéssé növelik. Nagyobb mennyiségű ötvözőelem hatása ezenkívül gyengébb is, mint az első egy-két atomszázaléké, amint az az 1. ábra görbéjének alakjából következik.

III. Az intersztíciós szilárd oldatok folyási határa

Az α-vas intersztíciós szilárd oldatainak, a karbont és nitrogént tartalmazó ferritnek és martensitnek szerkezeti modelljét G. V. KURGYUMOV gondolatai nyomán [11] és [12] írták le. A modellben testet öltő elképzelés nem kísérleti megfigyelésekre támaszkodik, hanem az atomok térbeli elhelyezkedésének lehetőségeit vette alapul. A modell helyességének kísérleti igazolása mostanáig nem történt meg. Ennek ellenére a modellt általánosan elfogadták, és az utóbbi két évtized irodalmában kizárólag a [11] és [12] szerinti modell szerepel.

A modell értelmében a karbonatom az α-vas rácselemének egyik oldalélén, két vasatom között illeszkedik be. Itt, az él közepén a szabad hely 2,86—2,48 = 0,38Å átmérőjű; 2,86 Å az α-vas rácsmérete, 2,48 Å pedig az atomátmérője. Ebbe a 0,38 Å nagyságú szabad térbe kell beszorulnia az 1,54 Å átmérőjű karbonatomnak (4. ábra). A szabad hely 1,54—0,38 = 1,16 Å-mel kisebb. A beilleszkedő karbonatom a két szomszédos vasatomot 1,16 : 2 = 0,58 Å-mel odébb szorítja, amint azt a 4. ábra jobb oldali vázlata szemlélteti.

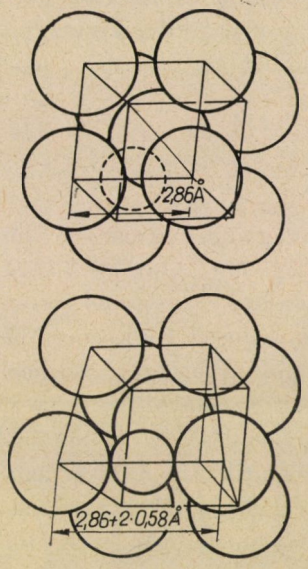
Egy karbonatom beilleszkedése a rácsba ennek megfelelően olyan torzulást okoz, mintha két vasatomot 0,58 Å-mel nagyobb átmérőjű ide gen atommal helyettesítettünk volna. Az (5) egyenlet felhasználásával egy atomszázalék

karbonnak a folyási határt növelő hatása

$$\Delta\sigma_F = 130 \cdot 2 \cdot 0{,}58^2 = 87 \text{ kp/mm}^2 \tag{6}$$

nagyságúnak számítható ki.*

Az oldott karbon hatását a vas folyási határára elméleti és kísérleti alapon már ismételten vizsgálták. Az elméleti, diszlokáció-mechanikai vizsgálódásokban az oldott karbonatomokat és a körülöttük elhelyezkedő torzult rács-



4. ábra

részletet precipitátumnak tekintik, olyan akadálynak, amelyen a diszlokációt csak bizonyos energia-többlettel lehet átjuttatni. Az ilyen akadályokba ütköző diszlokációk mozgásban tartásához szükséges feszültség-többletet [6] a

$$\Delta\sigma_F \cong \frac{\alpha G}{4\pi(1-\mu)} \cdot \frac{b}{t} = c\,G\,\frac{b}{t} \tag{7}$$

* Az előadás anyagának előzetes megvitatásakor PROHÁSZKA JÁNOS arra hívta fel a figyelmünket, hogy az α-vas térben középpontos rácselemének (1/2; 1/4; 0) koordinátájú helyén nagyobb méretű szabad tér van, mint a Petch-féle modell szerint a karbonatom beékelődése helyéül kijelölt (1/2; 0; 0) koordinátájú élközépen. Az (5) egyenlet felhasználásával ki is számította az itt beékelődő karbonnak a folyási határt növelő hatását,

$$\Delta\sigma_F = 87{,}3 \text{ kp/mm}^2$$

eredménnyel. Eszerint közömbösnek látszik, hogy a karbonatom az α-vas rácsának melyik hézagába illeszkedik be.

alakban fejezte ki, ahol c mintegy 0,25 nagyságú állandó, G a csavaró modulusz, b a diszlokáció Burgers-vektora, t pedig a diszlokáció útjába került akadályok egymástól mért távolsága. Az akadályok t távolsága fordítva arányos a térfogat egységében levő akadályok számának harmadik gyökével, illetve a rács tetszés szerinti síkjának területegységében létező akadályok számának négyzetgyökével. Azoknak az akadályoknak száma, amelyeket az α-vasban az oldott karbonatomok okoznak, természetesen a karbon atomszázalékos mennyiségével arányos.

Ha a diszlokációk útjába kerülő akadályok számát a térfogat tört részeiben fejezzük ki, akkor olyan alakú kifejezéshez jutunk, amelynek példájaként G. J. ANSELL [1] képlete említhető. Szerinte a martensites állapotú vasötvözetek folyási határa

$$\sigma_F = \frac{G}{3{,}3\,C} f^{1/3}, \tag{8}$$

ahol G a percipitátum anyagának csavaró modulusza, a martensit esetében 8700 kp/mm^2 értékkel, C legalább mintegy 30 számértékű állandó, f pedig a percipitátum térfogathányada. $f^{1/3}$ egynél mindenképpen kisebb érték, a martensit folyási határa ennélfogva 87 kp/mm^2-nél nagyobb nem lehet.

Az akadályok átlagos távolságát valamelyik sík területegységében elhelyezkedő karbonatomok számával azok a képletek veszik figyelembe, amelyek a folyási határ növekedését az atomszázalékos karbontartalom négyzetgyökével arányosnak tekintik. Ilyen összefüggést [10] szerzői állapítottak meg, és ennek alapulvételével elemezték [7] szerzői a legfeljebb 0,15 atomszázalék karbontartalmú, homogén vasötvözeteik folyási határának változását. Eszerint

$$\tau_F = \tau_0 + mC^{1/2}, \tag{9}$$

illetve

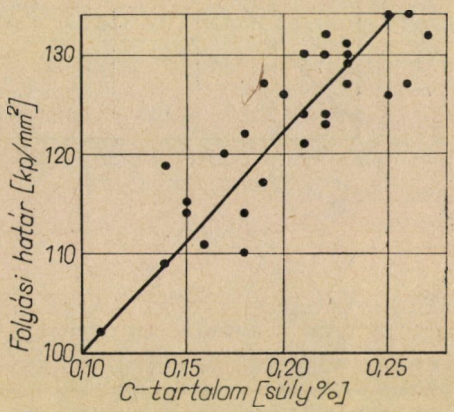
$$\sigma_F = \sigma_0 + m_1 C^{1/2}, \tag{9a}$$

ahol τ_0, σ_0 a színvasban transzlációt okozó feszültség, C a karbontartalom atomszázalékban vagy annak századrésze, m és m_1 pedig a csavaró modulusz törtrészeként megadott tényező.

[7]-ben találjuk ezenkívül az oldott karbon hatásának vizsgálata céljából végzett legújabb, valamint a korábbi kísérletek eredményeinek összefoglalását is. A közölt adatok alapján egy atomszázalék oldott karbon a vas folyási határát 50,87 kp/mm^2-rel, a 20—30% nikkeltartalmú vasét pedig 108 kp/mm^2-rel növeli. A rács torzulásából számított saját értékem 87 kp/mm^2.

A kísérleti adatoknak elég jelentős mértékű szórása mindenekelőtt arra mutat, hogy még ma sem könnyű dolog egy ötvözőelemnek a vas folyási határára gyakorolt hatását megbízhatóan kísérletileg meghatározni. A nehéz-

séget főképpen az ötvözet karbontartalmának oldatba vitele és oldatban tartása okozza. Ha ugyanis a kísérleti ötvözetek karbontartalmának egy része oldatlan karbidként van jelen, akkor az nem torzítja a vas rácsszerkezetét és nem is növeli a folyási határát. Ha viszont az ötvözet karbontartalma oldatba ment ugyan, de egy része még a folyási határ mérése előtt valami karbidfázis alakjában valóban precipitálódott, akkor a folyási határ kelleténél nagyobbnak adódhatik. [7] szerzői a 87 kp/mm^2-es adatot tartják a legmegbízhatóbbnak, minthogy annak szerzője a valóban oldatban levő karbon mennyiségét a belső

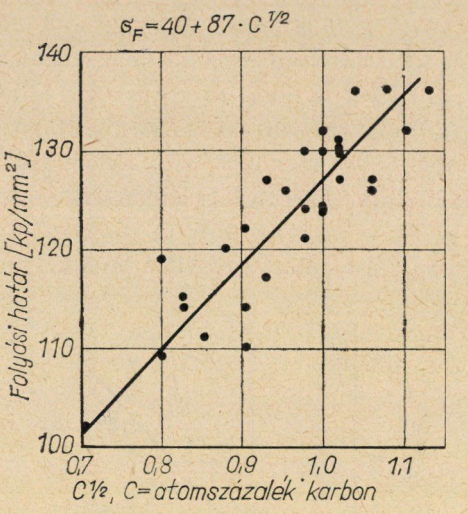


5. ábra

surlódás mérésével határozta meg, és nem tekintette azt egyszerűen az ötvözet összes karbontartalmával egyezőnek, amint azt legtöbbször tenni szokták.

Az oldott karbon hatásának vizsgálatával foglalkozó szerzők véleménye abban is megegyezik, hogy ez az ötvözőelem a homogén ferrites, valamint a martensites állapotú vasötvözetek folyási határát egyforma mértékben növeli. Teljes joggal figyelembe vehetjük azokat a kísérleti eredményeket is, amelyeket az utóbbi időben martensitesre edzett vasötvözeteken állapítottak meg [2]. Ezeket a kísérleteket 0,10—0,30 súlyszázalék = 0,5—1,2 atomszázalék karbont és a kellő mértékű átedződés biztosítása végett 4—6 százalék fémes ötvözőelemet, mangánt, nikkelt, krómot, molibdént tartalmazó lemezpróbákon végezték.

Méréseik eredményét megkíséreltem arra is felhasználni, hogy megvizsgáljam, a lineáris (6) vagy a négyzetgyökös (9a) egyenlet fejezi-e ki hűebben az oldott karbon hatását a folyási határra. Ezért az 5. ábrában a folyási határ mért értékeit az atomszázalékossal a kérdéses szűk határok közt arányos súlyszázalékos karbontartalom függvényeképpen, a 6. ábrában pedig az atomszázalékos karbontartalom négyzetgyökének függvényeképpen tűntettem fel. A pontok mindkét diagramban elég széles sávban úgy helyezkednek el, hogy közéjük



6. ábra

egyenes vonalat húzhatunk. Az 5. ábrába berajzolt egyenes egyenlete

$$\sigma_F = 78 + 220 \cdot C_{\text{súly }\%}\,, \tag{10}$$

illetve

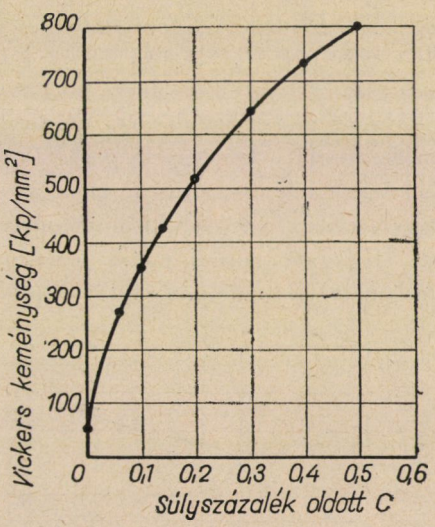
$$\sigma_F = 78 + 0{,}22 \cdot 220 \cdot C_{\text{at}\%} = 78 + 48{,}5 \cdot C^{1/2}_{\text{at}\%}\,; \tag{11}$$

a 6. ábra egyeneséé pedig

$$\sigma_F = 40 + 87{,}5 \cdot C^{1/2}_{\text{at}\%}\,. \tag{12}$$

A felírt egyenletek közül a (12) látszik helyesebbnek, nem azért, mert az abban szereplő 87,5-es szorzó jól egyezik a (6) egyenlet 87 értékű szorzójával, hanem inkább az első tag értéke miatt. A 4—6% ötvözőfémet és 0 karbont tartalmazó α-vas folyási határa ugyanis semmiképpen sem lehet 78 kp/mm², mint a (10) és (11) egyenletben, még akkor sem, ha olyan finom szemnagyságú, mint a martensit. A (12) egyenletben szereplő 40 kp/mm² viszont nagyon reális, elfogadható érték.

Felvetődik a kérdés, lehetséges-e, hogy a lineáris (6) kifejezés, valamint a négyzetgyökös (9a) illetve a (12) egyenlet egyforma nagyságúnak adja meg legalább az egy atomszázalék oldott karbon hatását a folyási határra. A (7) képlet, amely a (9), (9a) és (12) egyenlet diszlokáció-mechanikai megalapozása, precipitátumos, tehát heterogén ötvözetekre érvényes; kérdéses, hogy homogén szilárd oldatra vonatkoztatható-e. Másrészt viszont a martensit nagyon kevéssé állandó képződmény, és bizonyos jelekből arra lehet következtetni, hogy már



7. ábra

közönséges hőmérsékleten is rövid idő alatt képződik benne precipitátum (vö. a [7]-hez csatlakozó vitát, ugyanott).

A lineáris (6) kifejezés nézetem szerint csak az egy atomszázalék karbon hatását fejezi ki, vagyis az összetétel és a folyási határ összefüggését ábrázoló vonalnak csak egy pontjára érvényes. A kiindulásul felhasznált (1) összefüggés ugyanis csupán egy a vonal irányát meghatározó egyetlen grádienst szolgáltat, de semmit sem mond arról, hogy például az 1. ábra görbéje hol tér el az egyenestől. Minthogy a (6) egyenlet 87 szorzójának meghatározására az egy atomszázalék ötvözőelemre vonatkozó adatokat használtam fel, erre az összetételre érvényesnek kell lennie, más karbontartalomra azonban nem okvetlenül.

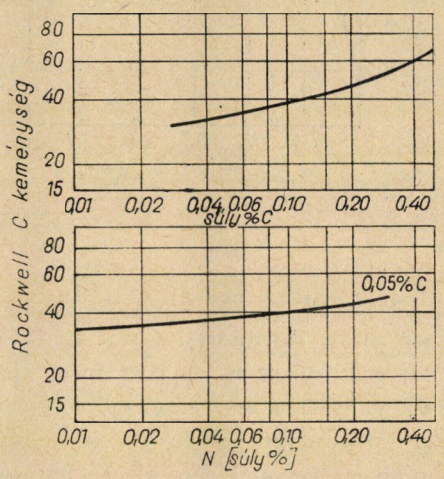
A felvetett kérdés eldöntését leghelyesebb talán későbbi időre halasztani, akkorra, amikor a martensit szerkezetét jobban megismerjük és a kvantitatív adatok is megbízhatóbbak lesznek.

A bizonytalanság, valamint az 5. és 6. ábrában feltűntetett pontok szórása miatt helyesnek látszik, ha a karbont oldva tartalmazó vasötvözetek egyéb mechanikai tulajdonságaira is vetünk egy pillantást. A martensites állapotú vasötvözetek mechanikai tulajdonságai közül legmegbízhatóbban a keménységük értékeit ismerjük. A legmegbízhatóbbnak elismert, HRC-ként mért adatokat Vickers-keménységre átszámítva a 7. ábrában tűntettem fel. Nyilvánvaló, hogy a Vickers-keménység a karbontartalommal nem lineárisan függ össze, vagyis a (12) egyenlet látszik általános érvényűnek.

Az ábra értelmében 1 atomszázalék = 0,22 súlyszázalék karbon az α-vas keménységét 45 kp/mm²-ről kereken 550 kp/mm²-re, vagyis mintegy 500 kp/mm²-rel növeli. Az egyéb fémeket nem tartalmazó vasötvözetek folyási

határa a keménységnek 16—18%-a lévén, a keménység növekedéséből egy atomszázalék karbonnak a folyási határt növelő hatása 80—90 kp/mm²-nek adódik, az eddig már említett értékekkel szintén jó egyezésben.

Az intersztíciósan oldódó másik ötvözőelemről, a nitrogénről röviden csak azt említem, hogy annak atomátmérője 1,52 Å, 0,02 Å-mel kisebb a karbon atomjának átmérőjénél. A kritikus csúsztató feszültséget, a folyási határt és a keménységet ennek megfelelően kevéssel kisebb mértékben növeli, mint a karbon. Ezt az ismert, elég gyér számú mérési eredmény elég jól igazolja, amint a 8. ábrában feltűntetett keménység-adatokból megállapítható.



8. ábra

Az intersztíciósan oldódó ötvözőelemek hatása a 4. ábrában bemutatott modell felhasználásával elég pontosan kiszámítható, legalábbis az egy atomszázalék karbontartalomra vonatkozóan. A számítás eredménye nemcsak a legmegbízhatóbb, gondos laboratóriumi kísérletek eredményével egyezik meg, hanem gyakorlati acélfajtákon mért folyási határ-értékekből is ugyanolyan mértékű keményítő hatásra következtethetünk. Az intersztíciósan oldódó karbon hatásának számított mértéke az (5) összefüggés helyességét is igazolja.

IV. Összefoglalás

Az α-vas folyási határát a benne szubsztitúciósan oldódó ötvözőfémek

$$\frac{d\sigma_F}{dc} = 130\,(\Delta D)^2$$

kp/mm²-rel növelik, ahol ΔD helyébe az atomátmérők különbségét Å-ben kell helyettesítenünk. Ugyanez a kifejezés, az általánosan elfogadott rácsmodell

alapján, az intersztíciósan oldódó karbon hatását is helyesen, a kísérleti adatokkal jól egyezően adja meg. Egy atomszázalék oldott karbon a vas folyási határát

$$\Delta\sigma_F = 130 \cdot 2 \cdot 0{,}58^2 = 87 \text{ kp/mm}^2\text{-}$$

-rel növeli. Több jel mutat arra, hogy ez az érték csak az egy atomszázalék karbontartalmú ötvözetre vonatkoztatható, általában pedig a

$$\sigma_F = 40 + 87{,}5 \cdot C_{\text{at\%}}$$

összefüggés látszik érvényesnek.

IRODALOM

1. ANSELL, G. S. tanulmánya a SPEICH, G. R.—CLARK, J. B. szerkesztésében megjelent „Precipitation from Iron-Base Alloys" c. kötetben; 1965, 258.
2. BUSBY, C. C.—HAWKES, M. F.—PAXTON, H. H.: *Trans. Am. Soc. Met.* **47** (1955), 135.
3. HONEYCOMBE, R. W. K.: Progr. in metals. *Science* **9** (1961), 102.
4. LACY, E. C.—GENSAMER, M.: *Trans. Am. Soc. Met.* **32** (1944), 88.
5. MIHAJLEV, M. S.—GOLDSTEIN, M. J.: *Sztal* **18** (1958), 942.
6. OROWAN, E.: Tanulmánya a Dislocations in Metals c. kötetben; 1954, 69.
7. ROBERTS, M. J.—OWEN, W. S.: *Iron and Steel Institute Spec. Rep.* (1965); No. 93, 171.
8. ROGERS, W. T.: *Trans. Am. Soc. Met.* **43** (1951), 1126.
9. SPENCER, C. W.—WERNER, F. E.: Iron and its Dilute Alloys; 1963, 292.
10. FLEISCHER, R. L.—HIBBARD, W. R.: Nat. Phys. Lab. Symposium (1963); No. 15, 262.
11. PETCH, N. J.: *Journ. Iron Steel Inst.* **147** (1943), 221.
12. LIPSON, H.—PARKER, N. N.: *Journ. Iron Steel Inst.* **149** (1944), 123.

A MŰSZAKI MECHANIKA HAZAI EREDMÉNYEI ÉS JÖVŐ FELADATAI A GÉPÉSZETI ÉS KOHÁSZATI TUDOMÁNYOK TERÜLETÉN*

GILLEMOT LÁSZLÓ
AKADÉMIKUS

I. Bevezetés

Az *alkalmazott mechanika* címszó tulajdonképpen gyűjtőfogalom. Ezen világszerte a következő tudományágakat értik: rugalmasságtan, képlékenységtan, a képlékeny alakítás technológiája, anyagvizsgálat, folyadékok és gázok mechanikája. Szélesebb értelemben véve még ide szokták sorolni azokat az anyagszerkezeti kérdéseket is, amelyek a szerkezeti anyagok mechanikai tulajdonságait megszabják. Az alkalmazott mechanika területén nagyon nehéz éles határt vonni a szigorúan vett alaptudomány és a gyakorlat között, mert az összes alaptudományi célkitűzés az ipari gyakorlat távolabbi célkitűzéseit szolgálja.

A műszaki mechanikai alapkutatások céljaira a Magyar Tudományos Akadémia a gépészet és a kohászat szakterületén aránylag igen kicsiny erőkkel rendelkezik. Az Akadémia közvetlen irányítása alatt álló Kohászati Munkaközösségnek az egyik tanszéke foglalkozik a képlékeny alakítás technológiájával, a budapesti Gépszerkezettani Munkaközösség és a miskolci Nehézgépészeti Munkaközösség pedig még a tágabban értelmezett műszaki mechanikán kívül más technológiai kutatómunkákkal is foglalkozik. A folyadékok és gázok mechanikáját pedig csak az Áramlástani Munkaközösségben művelik.

Saját alaptudományi kutató intézet hiányában az Akadémia elsősorban erre a négy szervre támaszkodva kísérelte meg célkitűzéseit megvalósítani. A munkában azonban intenzíven részt vettek a Művelődésügyi Minisztérium fennhatósága alá tartozó, de az Akadémia szellemi irányítása alatt álló tanszékek is.

Mindezek mellett a munkában jelentős részt vállaltak — főleg az anyagvizsgálat területén — az ipari kutatóintézetek, sőt egyes gyári laboratóriumok is. Éppen ezért beszámolómban megkísérlem valamennyi itt felsorolt szerv munkájáról képet adni, felmérve az elmúlt három évben végzett munkát. Ennek alapján kialakíthatók a további tennivalók körvonalai.

* Elhangzott a Magyar Tudományos Akadémia 1967. évi közgyűlése alkalmából a Műszaki Tudományok Osztályának 1967. május hó 4-én tartott tudományos előadásán.

MTA VI. Osztály Közleményei 38, 1967

II. Rugalmasságtan

A gépszerkezetek méretezése ma hazánkban túlnyomórészt a rugalmasságtan és az anyagvizsgálat eredményein alapul. Kevés olyan szerkezet van, ahol a méretezéshez a képlékenységtanra is szükség volna. A gépméretezés kérdéseinek hazánkban jelentős fejlődést biztosított a Magyar Tudományos Akadémia Gépészeti Bizottsága által 1961-ben először megrendezett *Korszerű Méretezési Konferencia*. A Konferencia sikere láttán az Akadémia elhatározta a Konferencia rendszeressé tételét, és így került sor 1965-ben a *II. Korszerű Méretezési Konferencia* megrendezésére, amelyet 1968-ban a harmadik fog követni.

Míg az első Méretezési Konferencián csak egy-két, az idősebb generációhoz tartozó kutató tartott előadást, addig a második Méretezési Konferencián már egész sor fiatal magyar kutató mutatott be igen színvonalas dolgozatot. A második Méretezési Konferencia kiadványának nemzetközi sajtóvisszhangja igen kedvező volt. Az angol szaksajtóban olyan megállapítás is elhangzott, hogy ezt a kötetet méretezéssel foglalkozó szakember nem nélkülözheti a könyvtárából.

Az elmúlt három év alatt jelentős fejlődést értünk el a könnyű szerkezetek és a fáradásnak kitett alkatrészek méretezése területén, valamint jelentős fejlődés mutatkozott a golyóscsapágyak, fogaskerekek és más gépelemek méretezése területén is.

Ebben az időszakban erősen előtérbe került a kutatómunkában a műanyag gépelemek méretezése; itt azonban az eddig végzett munka ellenére a világszínvonalhoz képest még meglehetősen el vagyunk maradva.

A gépalkatrészek méretezése területén elért jelentős eredmények mellett kutatóink aránylag kevéssé foglalkoztak a szigorúan vett rugalmasságtannal. Ezen a területen elsősorban a feszültségoptikai vizsgálatok terén, továbbá nyúlásmérő bélyegekkel, valamint rideg bevonatokkal történő feszültségméréssel folytak kísérletek. A feszültségoptikai vizsgálatokra számos kutatóhelyünk van berendezve; így az előzőekben említett munkaközösségekben négy feszültségoptikai berendezés működik, ami az eddiginél jóval nagyobb volumenű munkákat is lehetővé tenne.

Az elmúlt három évben eredményes vizsgálatok folytak a bemetszett rudak fajlagos feszültségesésének meghatározására, valamint a bemetszett próbatestek alakténye zőinek meghatározására. Mindkét területen a feszültségoptikai mérések eredményeit elméleti megfontolásokkal is alátámasztották.

Mind a miskolci Nehézgépészeti Munkaközösség, mind pedig a budapesti Gépszerkezettani Munkaközösség térbeli feszültségoptikai vizsgálatokkal is foglalkozik. Mindkét helyen egyelőre a vizsgálatokhoz szükséges anyagok sajátságait és hőkezelési módszereit kutatják.

A feszültség- és nyúlásanalízis területén célszerű volna a hasonló kutató

munkát végző, de jelenleg az Építéstudományi és Közlekedési Szakcsoport tudományos felügyelete alá tartozó kutatóhelyekkel együtt közös programot kialakítani.

III. Képlékenységtan

A szigorúan vett képlékenységtan területén a Gépészeti és Kohászati Szakcsoporton belül aránylag igen kevés munka folyt, jóllehet a képlékenységtan művelői között világszerte számos kiváló magyar származású tudós van, és a ma Magyarországon élők között is dr. Reuss Endre professzor egyike volt az 1930-as években a képlékenységtan úttörőinek.

A képlékenységtan oktatása az egyetemeken sem történik olyan súllyal, amint azt a tárgy fontossága és az utóbbi évtizedekben bekövetkezett hatalmas fejlődés indokolná, jóllehet a képlékenységtan mai fejlettsége már lehetővé teszi a legtöbb képlékeny alakítási és forgácsolási technológiának szigorú képlékenységtani analízisét. Ma már meg van a lehetőség arra, hogy a képlékeny alakítás technológiáját csaknem teljes mértékben a képlékenységtan alapján oktassuk, és ezen a területen egyre kevésbé van már létjogosultsága az empirikus összefüggéseknek. A forgácsolás elmélete területén nem ennyire kedvező ugyan a helyzet, de lassan itt is időszerűvé válnék a kutatómunkák szigorúbb elméleti megalapozása.

A képlékenységtan területén viszonylag kevés kutatómunka folyt. Jelentős eredménynek tekinthető Geleji Sándor akadémikus tanulmánya a képlékeny csavarásról, továbbá értékes kutatómunka folyt a Nehézgépészeti Munkaközösség keretében, ahol a képlékeny hullám terjedését vizsgálták. Ebből az utóbbi munkából kandidátusi disszertáció is született. A téma további művelése igen nagy jelentőségű lehet a későbbiekben tárgyalandó nagysebességű alakítás technológiája szempontjából.

IV. A képlékeny alakítás technológiája

Lényegesen kedvezőbb a kép a képlékeny alakítás technológiája területén, ahol a Geleji Sándor akadémikus vezetése alatt működő tudományos iskola az elmúlt három évben is eredményesen folytatta eddigi munkásságát. Így tanulmányozták a huzal-, rúd- és csőhúzás jelenségeit, valamint az azokat leíró egyenleteket. A huzal- és rúdhúzás problémáinak megoldására feltételezték, hogy az alakítási szilárdság a húzóüregben lineárisan változik, és ezen az alapon meghatározták mind a húzóerő nagyságát, mind pedig a húzókúp felületére ható fajlagos nyomás eloszlásának törvényszerűségeit.

Az elméleti megfontolásokból nyert eredményeket kísérleti úton is ellenőrizték. Jelentős és figyelemre méltó eredményeket értek el a süllyesztékes

kovácsoláskor keletkező erők elméleti és kísérleti meghatározása területén is. Ezen a téren együttműködtek a Lengyel Tudományos Akadémia Alapkutatási Intézetével, amely kidolgozta az anyagáramlást jellemző sebesség-elmozdulás ábrák szerkesztési módszerét egyszerűbb süllyesztéki formákra vonatkozóan. A téma kutatásának olyan részeredményei vannak, amelyek a süllyesztékszerkesztés és a technológia továbbfejlesztéséhez elméleti alapokat biztosítanak.

A Kohászati Munkaközösség eredményesen tanulmányozta és elméletileg részletesen kidolgozta a Pilger-rendszerű csőnyújtó hengerlést is.

Igen értékes munkát végeztek a képlékeny alakítás gépi berendezéseinek tervezéséhez szükséges irányelvek és elméleti alapok kidolgozása terén is. Ennek a témának a keretében feldolgozásra került a korszerű, nagy sebességű acéldróthúzás nemzetközi szakirodalma, s kimunkálták azokat az irányelveket, amelyek a korszerű nagysebességű dróthúzás kialakításához szükségesek.

A dróthúzás területén alaptudományi kutatómunka folyt a Fémipari Kutató Intézetben is, ahol egy külön erre a célra szerkesztett húzópad segítségével a húzás sebességének a hatását vizsgálták az anyag tulajdonságaira. Megállapítást nyert, hogy a húzás sebességének növelése a huzalok szilárdsági tulajdonságait kedvező irányban befolyásolja mindaddig, amíg a melegedés hatására helyi kilágyulás nem következik be.

Az utóbbi években világszerte új irányt jelentett az ún. *nagysebességű alakítás*. Ennek számos megoldása közül Magyarországon csak két főbb irányban folyt intenzívebb kutatómunka. A nagysebességű alakítás technológiájának fejlesztésére — mivel arra a pusztán az Akadémia rendelkezésére álló erők kevésnek bizonyultak volna — a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Intézete és a Fémipari Kutató Intézet együttes programot dolgozott ki, melynek eredményeképpen már működik egy 500 mkp teljesítményű, 30 m/sec ütési végsebességű, egy 7000 mkp teljesítményű és 45 m/sec ütési végsebességű berendezés. Ezek a berendezések süllyesztékes kovácsolásra, rúd- és csősajtolásra, lyukasztásra és porkohászati műveletekre egyaránt alkalmasak. Az eddig elért kezdeti eredmények mindegyik területen biztatónak mondhatók. Jelenleg gyártás alatt van a Mechanikai Technológiai Intézet számára egy ugyancsak a Fémipari Kutató Intézettel közösen szerkesztett 10 000 mkp-os, 36 m/sec ütési végsebességű berendezés, mellyel előreláthatóan néhány hónapon belül a további kísérletek megkezdhetők.

Ez az új irány egész sor oly alaptudományi problémát vet fel, mint amilyenek a képlékeny hullám terjedése és reflexiója, a nagy sebességek hatása az anyagáramlásra a süllyesztékben és a sajtoló üregekben. Különösen jelentős problémákat fog jelenteni a megfelelő szerszámanyagok kiválasztása és a szerszámok méretezése.

A nagysebességű alakítás területén eddig a Fémipari Kutató Intézet és a Mechanikai Technológiai Intézet dolgozott együtt. A munkában igen jelentős segítséget nyújtott az Áramlástani Munkaközösség is. Az eddig megépített

gépek a kidolgozott számítási módszer helyességét igazolták, és így nincsen akadálya annak, hogy a már megépült kísérleti típusok mellett — melyek közül kettő amúgy is ipari méretű — az ipar számára is készüljenek berendezések.

A nagysebességű alakítás továbbfejlesztése szükségessé fogja tenni a kooperációban részt vevő két intézet, a Mechanikai Technológiai Intézet és a Fémipari Kutató Intézet mellett az Áramlástani Munkaközösség, valamint más kutatószervek aktív közreműködését is.

V. Anyagvizsgálat

Az anyagvizsgálati kutatások négy fő téma köré csoportosíthatók:

a) a képlékeny és a rideg törés elmélete;

b) a kifáradás problémái;

c) a kúszás jelenségeinek vizsgálata;

d) a sebesség hatása az anyag szilárdsági tulajdonságaira.

a) A képlékeny *törés* felderítésére eredményes vizsgálatok folytak azzal a végeredménnyel, hogy legalábbis húzás és nyomás, valamint húzás és nyomás ismétlésekor a törés mindig egy, a fémre jellemző munka elnyelése után következik be. Megállapítást nyert, hogy a töréshez szükséges munka három részből áll: a rugalmas alakváltozás munkájából, a képlékeny alakváltozás munkájából a repedés megjelenéséig és a repedésterjedés munkájából. Ridegtörés esetén a képlékeny alakváltozás munkája zérus. Ezen az alapon kifejlesztésre került egy ridegtörési vizsgálati mód, melyet mint metodikát, KGST szabványosítási céljaira kutatási programba vettek a többi baráti országban is.

b) A legjelentősebb fejlődés a *fáradás* kutatása terén volt tapasztalható. Ez elsősorban annak köszönhető, hogy a témát nem egyetlen helyen művelték, hanem egyidejűleg számos helyen decentralizáltan. Így sikerült megállapítani a kisciklusú fáradás törvényszerűségeit, új és egyszerűsített módszert kidolgozni a biztonsági területek szerkesztésére (Gépszerkezettani Munkaközösség); nagyobbszabású kísérlet folyt a bemetszett próbatestek számítására javasolt képletek ellenőrzésére. A ma rendelkezésre álló Harris-féle képletet a Gépszerkezettani Munkaközösség Mechanikai Technológiai Intézete ellenőrizte, míg a SIEBEL által javasolt eljárást elméleti meggondolásokkal a Gépszerkezettani Munkaközösség keretén belül a Műszaki Mechanika Tanszék fejlesztette tovább. Így egy még elvégzendő ellenőrző kísérletsorozat után javaslatot lehet majd tenni a legkorszerűbb számítási módszer bevezetésére.

Az itthon tartott Mérnöki Továbbképző Intézeti előadások, valamint az Akadémia által meghívott neves külföldi tudósok (SZERENSZEN, WEIBULL, FREUDENTHAL) előadásainak hatására jelentős munka indult meg a fáradás statisztikus elméletének továbbfejlesztése, illetőleg meghonosítása és alkalma-

zása területén. Ebben a munkában tevékeny és elismerésre méltó részt vállaltak nemcsak az anyagvizsgálattal foglalkozó akadémiai szervek, hanem a gépszerkesztéssel foglalkozó tanszékek is (Repülőgépek Tanszék, Vasúti Géptan Tanszék stb.), de ezenkívül jelentős munka folyt az ipari kutatóintézetekben. Így a Vasipari Kutató Intézetben a mérethatás kérdését tanulmányozták igen eredményesen, a Fémipari Kutató Intézetben pedig a Mechanikai Technológiai Intézet által kidolgozott rövidített fárasztási vizsgálati módszer ellenőrzésére végeztek kísérleteket. Az utóbbi módszer ellenőrzésére a Román Tudományos Akadémia temesvári kutató intézetével együttműködve további nagyszabású kísérletsorozat folyik jelenleg is. Ugyancsak román—magyar együttműködésben került kidolgozásra a fárasztógépek hitelesítésének és ellenőrzésének módszere.

Ebben a széles körű munkában igen nagy szerepet játszottak egyes iparvállalatok laboratóriumai is. Itt külön kiemelendőnek tartom azt az értékes és szép munkát, amit az Ikarusz Járműgyár laboratóriuma végzett a statisztikus elmélet meghonosítása és alkalmazása, valamint egyes géprészek vizsgálata terén. Ugyancsak említésre méltó a Csepel Vas- és Fémművek központi laboratóriumának kutatómunkája, melynek célja a rugalmassági határ változását meghatározni az ismétlődő igénybevételek függvényében.

Ez az egyébként is széles körű kutatómunka még kiegészítendő azzal, hogy a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanika Tanszéke több éves munkával elkészített egy, a poliharmonikus lengések hatásának vizsgálatára alkalmas fárasztó berendezést, amellyel rövidesen elkezdi a kutatómunkát.

A gépészet és kohászat szakterületén a különböző munkaközösségekben, tanszékeken, ipari kutatóintézetekben és vállalati laboratóriumokban folyó kutatómunka megérdemelné azt, hogy az érdekelteket az Akadémia egy külön bizottságban egyesítse, amely ezt a rendkívül széleskörű munkát rendszeresen megvitatva továbbfejlesztené, de megfontolható az is, hogy az Akadémia kérje fel a felügyelete alá tartozó Gépipari Tudományos Egyesületet ugyanennek a feladatnak az ellátására. Ha figyelembe vesszük még azt is, hogy a Nehézipari Műszaki Egyetem Gépelemek Tanszéke műanyagok fárasztóvizsgálatával foglalkozik, akkor valóban széles körű és nemzetközi viszonylatban is eredményes kutatómunkáról lehet a kifáradás területéről beszámolni.

c) Korántsem ilyen kedvező a kép a *kúszás* jelenségeinek vizsgálata terén. Az ország kúszásvizsgáló gépparkja az utóbbi években történt fejlesztés ellenére is rendkívül kicsiny. A Vasipari Kutató Intézetben eredményes munka folyt önálló magyar géptípus kifejlesztésére. Ennek ellenére a kutatási kapacitás kicsiny, mert a legtöbb ipari gép az okvetlenül szükséges állandó ellenőrző vizsgálatokkal van lekötve. A magyar hőerőmű-ipar dicséretre méltó erőfeszítéseket tett a gőzparaméterek fokozására, és ennek eredményeként erőműveink gőzhőfok és nyomás szempontjából korszerűnek mondhatók. Ezt a fejlődést azonban ezen a területen sajnos nem követte az anyagvizsgálat fejlődése.

A kúszás területén a jelenség fizikájának tanulmányozása csak a Fémipari Kutató Intézetben folyik igen kis erőkkel, a nagy hőmérsékleten folyó vizsgálatok és kutatások pedig még annyi eredményre sem vezettek, hogy legalább az átadás-átvétel kérdésében egyöntetű álláspont jött volna létre. Igen nagy szükség volna arra, hogy az Akadémia az ipari tárcák széles körű bevonásával ezt a magyar energiaipar fejlődését gátló kérdést mielőbb rendezni próbálja.

d) A *sebesség* és az anyag szilárdsági tulajdonságai közötti összefüggések kutatása részben a miskolci Kohászati Munkaközösségben, részben pedig a budapesti Gépszerkezettani Munkaközösségben folyt. A vizsgálatokat Miskolcon 6 m/sec sebességig, Budapesten pedig szakítással 7 m/sec, nyomással 30 m/sec sebességig végezték. A kísérletek még nincsenek lezárva, az ezen a téren folyó kutatómunka éppen a nagy sebességű alakítás technológiájának várható elterjedése miatt az egyik legfontosabb feladatunk.

VI. Kinetika

A kinetikai és kinematikai kutatások túlnyomó többségükben főként gépészeti feladatok megoldására irányultak. Így tanulmányozták a bolygóműveket (Miskolc, Nehézgépészeti Munkaközösség), a szerszámgépek mozgásleképező tulajdonságait, a mechanizmusok klasszikus méretezési módszereinek továbbfejlesztését stb. A rezgéstani alapkutatások területén a Gépszerkezettani Munkaközösségben a csillapítási optimum meghatározására végeztek vizsgálatokat, továbbá berendezés épült a torziós lengések kutatására, amellyel a munka a közeljövőben fog megindulni.

VII. Folyadékok és gázok mechanikája

Ezen szakterület pontos körülhatárolását a tudományág mai állása mellett csak hozzávetőleges pontossággal lehet megadni. Világszerte az az álláspont alakult ki, hogy e tudományág a csatlakozó szakterületekkel összefonódván, lényegében ezeket is átfogja. Ma már nem állapítható meg, hogy ez vált-e amazok részévé, vagy fordítva. Az irodalomban teljesen eltérő megállapítások találhatók ebben a vonatkozásban, annak ellenére, hogy a legilletékesebbek nyilatkoztak. Olyan vélemény is található, mely szerint a csatlakozó szakterületek a folyadékok mechanikájának egyes fejezeteit annyira kisajátították és specializálták, hogy azok az alapfogalomtól teljesen elszakadtak, és így lényegében a folyadékok mechanikája mint gyűjtőfogalom lassan teljesen értelmét is veszti. Példaképpen említhetjük ilyen vonatkozásban a reológiát, mely fogalmi körét tekintve sokkal általánosabb igényű, mint a folyadékok mechanikája, és így az utóbbi máris úgy volna tekinthető, mint az előbbinek

egy fejezete. Mégis, általában ma még a reológiát szokás a folyadékok mechanikáján belüli fejezetnek tekinteni, és azokat a problémaköröket sorolni ennek tárgykörébe, melyek a klasszikusan értelmezett folyadékok mechanikájában semmiképpen sem helyezhetők el.

Nézetünk szerint a folyadékok mechanikája az alábbi főbb kutatási területekre, és ezeken belül kiemelkedő problémakörökre bontható:

reológia,
áramlástechnikai gépek,
határréteg-elméleti vizsgálatok,
turbulencia-kutatás.

Hazánkban a megjelölt négy területen belül a reológia, a határréteg-elméleti vizsgálatok és a turbulencia-kutatás területén ez ideig nem folyt érdemleges kutatómunka. Ezeknek a területeknek tudományos helyzetképét a Gépészeti Bizottság feltárta és igen szép munkában foglalta össze. Itt a világszínvonal ismertetésével a rövidség kedvéért nem foglalkozom, csupán utalok az említett igen szép tanulmányra, mely az eddig nem művelt területeken is irányt mutat a jövő feladataira.

Beszámolómban csak az áramlástechnikai gépek területén elért eredményeket foglalom össze részletesebben. A folyadékok mechanikája területén hazánkban jelenleg folyó kutatások szempontjából ez a csaknem egyedül érintett témakör. Valamennyi kutatott téma vagy ezen gépek, vagy a csatlakozó berendezések fejlesztésével, jelenségeinek vizsgálatával foglalkozik.

A témakör művelése a legutóbbi másfél évtizedben ugrásszerű változáson ment keresztül. A jelenségek mélyreható analízise mind újabb és egzaktabb módszereket, szemléleteket tett szükségessé. A folyadékok mechanikájának klasszikus egydimenziós szemléletét és elméleteit a korszerű két- illetve háromdimenziós elméletek váltották fel. Mindazonáltal még ezek sem képesek a határrétegelmélet és az ehhez kapcsolódó turbulencia-kutatás eredményeit általánosságban felhasználni és alkalmazni — leggyakrabban az áramló közeget ma is még surlódásmentesnek tételezik fel. Vonatkozik ez különösen az áramlástechnikai gépekben lejátszódó jelenségek elméleti vizsgálatára.

Az áramlástechnikai gépek álló és forgó lapátrácsainak tervezésére és ellenőrzésére a korszerű, a valóságot a klasszikushoz képest lényegesen jobban közelítő szemléleten alapuló eljárások, elméletek egész sorát fejlesztették ki világszerte. Tervezési módszereken értendők azok, melyek előírt feltételek mellett a gép lapátozásának alakját és azon az elméleti sebesség- illetve nyomáseloszlást szolgáltatják. Az ellenőrzési módszerek adott lapátozás-áramlástani jellemzőinek meghatározását célozzák.

A legutóbbi évek során kialakult elismert módszerek két fő csoportba sorolhatók: a konform transzformációk sorozatát, illetve a szingularitások elvét alkalmazók csoportjára. A fejlődés során először az előbbiek kezdtek el kialakulni, de ma is alkalmazzák ezeket elsősorban a távolkeleti (főleg japán)

kutatók, különösen ellenőrzési feladatokra. A szingularitások elvén alapuló eljárások főleg Európában kerültek előtérbe és alkalmazásuk mindkét feladat esetén általános.

Az elméletek fejlettsége folytán lehetőség van valamennyi géptípus méretezésére, illetve ellenőrzésére, a módszerek egymástól inkább csak alkalmazhatósági feltételek, pontosság, munkaigényesség tekintetében különböznek. Egyetlen eljárás kivételével valamennyi módszer síkbeli problémára vezeti vissza a lapátrács számításának általában térbeli feladatát, és a Laplace-féle, illetve összenyomható közeg esetén a Poisson-féle differenciálegyenlet konkrét megoldását lényegében megkerülve, különböző matematikai módszerek alkalmazásával jutnak el a kitűzött célhoz. A kivételt képező egyetlen módszer azonban bonyolultsága és időigénye folytán a gyakorlatban csak igen nehezen — különlegesen nagy sebességű elektronikus számológépekkel — alkalmazható, így elterjedni nem tudott. A kialakult fenti korszerű módszerek következményeként az áramlástechnikai gépek hatásfoka 20—40%-kal megnőtt, és emellett a módszereknek a valóságot jobban megközelítő volta folytán lényegesen megnőtt a tervezés biztonsága is.

A legutóbbi idők eredményeihez tartoznak az áramlástechnikai gépek terhelési kritériumai terén végzett sokoldalú vizsgálatok adatai is. Az egyenes rácsokra kidolgozott, határrétegelméleten alapuló kritériumokat azonban eddig még nem sikerült körrácsokra adaptálni, és így itt még ma is csak empirikus értékeink vannak.

A ventillátor-technikában is valamennyi géptípus számolható elméleti úton, és a hatásfokok hátrahajló lapátozás esetében 80—90% között, előrehajló lapátozás esetén 65—75% között vannak. Nincs azonban megoldva a széles járókerekek problémája; ezeknél az elméleti eredmények a mérésekhez képest jelentős eltérést mutatnak.

A vízgépek területén a számítási módszerek alkalmazása után elsősorban a kavitációvizsgálat vonalán tapasztalhatók komoly eredmények. A legutóbbi időkben számos nagyteljesítményű kavitációs turbinavizsgáló berendezés épült (legnagyobb az Escher—Wyss gyár 600 kW-os berendezése). Vizsgálatokat végeztek a megengedhető kavitáció mértékének megállapítására, a légtartalom befolyásának tanulmányozására a kavitáció kifejlődésére a rezgés- és zajforrásokkal kapcsolatban stb.

A hidrodinamikus tengelykapcsolók elméleti alapon való méretezésének kérdése még nincs megoldva, a jelenlegi módszerek még lényegében félempirikusak. A nyomatékváltók méretezésére a közelmúltban dolgoztak ki éppen hazánkban új elméleti módszert.

Az általános kavitációvizsgálatok terén tisztázták a jelenség keletkezésének fizikai körülményeit, a nukleonok elméletét, a kavitációs üregek alakjának számítását. Zárt kísérleti kavitációs csatornákban nagyságrenddel kisebb kavitációs számokat állítottak elő, mint eddig. Eredményesen vizsgálták a

kavitációs zaj problémáját. Széles körű vizsgálatok folynak a kavitációs roncsolás mechanizmusával és a léptékhatás tisztázásával kapcsolatban.

Valamennyi áramlástechnikai géptípusnál sokoldalú vizsgálatok folytak és folynak a lapátrácsokon kívül egyéb szerkezeti részekkel kapcsolatban is (szívószáj, szívócső, szívócsatorna, csigaház, szabályozó elemek stb.). Ezek közül talán legjelentősebbek a csigaházzal kapcsolatosak. Egy-egy adott esetben sikerült megfelelő csigaház kialakítása, azonban általános és átfogó elméletet nem sikerült alkotni, holott ezen elemeknek a járókerekekkel való kölcsönhatása igen alapvető.

Bár nem kifejezetten ebbe a témakörbe tartoznak, mégis felhasználási területük hasonlósága folytán itt említjük meg az ejektorok terén elért eredményeket, melyek következtében ezen szerkezetek méretezése és így alkalmazása is már kellő biztonsággal végezhető.

A kutatás új irányait tekintve az alábbiakat foglalhatjuk össze:

Az áramlástechnikai gépek területén a fejlődés elsősorban a gépekben lejátszódó valóságos áramlás elméleti és kísérleti vizsgálata terén szükségszerű. Ez természetesen feltételezi a határréteg- és a kavitációvizsgálatok olyan eredményeit, melyekre támaszkodva megalapozott terhelési kritériumok dolgozhatók ki.

Előreláthatóan az elektronikus számológépek fokozott alkalmazása folytán a térbeli áramlási problémák megoldása is új utat nyit a kutatások kiszélesítése és általánosítása terén.

Ehhez kapcsolódóan új irányzat, és külföldön már jelentős lépések is történtek ebben, a szabályozás- és automata-technikában az áramlástechnikai elven működő logikai elemek kifejlesztése és összeépítése.

Kavitációvizsgálat terén megbízható modelltörvény megalkotása mutat új irányt a tudományágban.

VIII. Összefoglalás és javaslatok

Mint a beszámolóból kitűnik, a műszaki mechanikának a gépészet és kohászat területén művelt részei az eredményesség szempontjából elég egyenlőtlen képet mutatnak. A tagadhatatlan fejlődés ellenére meg kell fontolni azokat a módozatokat, amelyek a további fejlődést meggyorsíthatnák. Ilyen elsősorban a *Műszaki Mechanikai Intézetnek* a már tervbevett megalapítása. Az Intézet kiépültekor a területtel foglalkozó tudományos körök centruma lehetne. A műszaki mechanikának az Intézetből kimaradó tudományterületei — mint pl. anyagvizsgálat, képlékeny alakítás technológiája — ma is elég eredményesen műveltek, így itt legfeljebb kisebb-nagyobb megerősítésekre van szükség.

Erősen megfontolandó a gépészet és kohászat szakterületén az akadémiai bizottságok rendszerének felülvizsgálata és az eddig működő gépészeti és

kohászati bizottságok kiegészítése a mechanika egyes területein jobban specializált bizottságokkal. Feltétlenül szorosabbra kell vonni a kooperációt az építőmérnöki és építészi vonalon működő mechanika-kutatókkal. Ha első lépésben teljesen közös bizottságok felállítására nem is kerülne sor, célszerű volna kijelölni azokat a tudományterületeket, ahol a két szakcsoport bizottságainak feltétlenül együtt kellene dolgozniok.

Az akadémiai bizottságoknak és egyéb akadémiai szerveknek az eddiginél nagyobb súlyt kellene helyezniök a tehetséges fiatalokkal való foglalkozásra, mert a tudományos utánpótlás terén a helyzetkép nem teljesen megnyugtató minden területen.

Egyes területeken, ahol aránylag jelentős kutatóerők állnak rendelkezésre, azonban a kutatás szétszórva folyik (mint pl. feszültségoptika, kifáradás stb. területén), célszerű volna meghatározott feladatokkal akadémiai bizottságokat létrehívni, melyek működése addig tartana, amíg a kitűzött célt el nem érik.

A felsorolt javaslatok elősegíthetik a műszaki mechanika tudományának továbbfejlődését, az egész fejlődésnek kulcskérdése azonban a *Műszaki Mechanikai Intézet*, melynek mielőbbi megalakítását és létrehozását az Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának soron következő legfontosabb feladataként kell kezelni.

HOZZÁSZÓLÁS

BOSZNAY ÁDÁM
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

GILLEMOT akadémikus előadását elemezve kitűnik, hogy az elméleti és alkalmazott mechanikának a szilárd testek gépészeti-kohászati jellegű kutatásai területén nem minden tekintetben lehetünk elégedettek eredményeinkkel.

Ezt figyelembe véve, felette indokolt azokat az intézkedéseket megvizsgálnunk, amelyek lehetővé tennék a műszaki mechanika helyzetének javítását.

Előre kell bocsátanunk, hogy ma már elegendő olyan szakemberrel rendelkezünk, akik a megfelelő szervezeti forma megalkotása után kellő mértékű szellemi energiát tudnak kifejteni a fellendülés folyamatának megindítására, illetve szélesítésére. Örömmel láthatjuk tehetséges fiataljaink erőfeszítéseit is.

A tapasztalat azt mutatja azonban, hogy a jelenlegi szervezeti formák egyre kevésbé alkalmasak fokozódó intenzitású és mélységű tudományos élet megteremtésére az elméleti és alkalmazott mechanika területén. Az e téren működő intézményeink, szervezeteink, bizottságaink szervezeti formáját különböző esetleges vagy tudatos oly tényezők szabják meg, melyek között nemigen szerepel a legtermészetesebb szervezési szempont: magának a mechanika tudományának jól kialakult tudományos rendszere, holott ennek a természetes szervezési elvnek a fokozatos megvalósítása már önmagában is felpezsdítő, termékenyítő hatású lehetne.

Meglevő intézményeinknek, szervezeteinknek, bizottságainknak a fentiek szerinti átszervezése azonban ma már nem elégséges. A végleges megoldás útjára való lépést egy önálló akadémiai kutatóintézetnek, a *Mechanikai Kutató Intézetnek* a megvalósítása jelentené.

Ezen intézet nemsokára várható jogi megalakulása előtt nyilvánvalóan tisztázódni fog az illetékes tanszékek, egyetemi oktatók és az Intézet jogviszonyának a kérdése, és ezáltal eloszlik az a bizonytalanság, ami jelenleg egyes részletkérdésekben még nem teszi lehetővé az egyértelmű állásfoglalást.

Az elméleti és alkalmazott mechanika fejlődését figyelve észrevehető, hogy különösen az alábbi, egymással erős kölcsönhatásban levő, általánosan fogalmazott területeken, illetve módon jelennek meg a legfigyelemreméltóbb új gondolatok:

a) az eredetileg viszonylag távolabbi területeken levő eredmények alkotó szintézise útján;

b) egy-egy egészen speciális területen igen erős matematikai apparátus

felhasználásával, sokszor a kiindulási mechanikai gondolat pillanatnyi háttérbe szorításának látszatával;

c) a gyakorlati feladatok megoldására egyre alkalmasabb számítási algoritmusok kialakítása területén;

d) a fizika más területein felismert eredményeknek és a mechanika tudományának összefogásával.

Ezeket az alapelveknek is nevezhető észrevételeket — kellő kritikával — az Intézet működési terveiben is hasznos lesz figyelembe vennünk. Az említett észrevételekből következik, hogy a számunkra jelenleg ésszerűen és gazdaságosan művelhető témák kijelölése után sem lehetséges csak ezekkel a témákkal foglalkoznunk. Így elveszítenénk azt a lehetőséget, amit az átfogóbb szintézis nyújthat, továbbá nem tudnánk a gyakorlat számára hasznosítani azokat a külföldi új vagy klasszikus eredményeket, amelyeknek a területén pillanatnyilag nincsen módunk új tudományos eredményekkel előretörni.

Olyasfajta munkát is kell tehát az Intézetben végeznünk, amit COURANT így fogalmazott meg még 1924-ben a híres Courant-Hilbert könyv első kötetének előszavában, hogy „*. . . a tudományos fejlődés áramlata — egyre vékonyabb és vékonyabb erecskékre oszolván — abba a veszélybe kerül, hogy kiszárad és elszivárog. Hogy megmentsük ettől a sorstól, erőink jó részét arra kell fordítanunk, hogy a szétválasztottakat újra egyesítsük azáltal, hogy összefoglaló irányelvek alapján világítjuk meg a sokrétű tényanyag belső összefüggéseit. A tanuló csak így nyeri el az anyag igazi uralásának lehetőségét, és a kutató számára is csak így készíthetjük elő a talajt szerves továbbfejlesztés érdekében.*"

Nem lesz könnyű annak a helyes aránynak a megtalálása, amit a kétféle, de egymást is segítő tudományos munkatípusok között kell kialakítanunk.

A következőkben a jelenlegi helyzet és adottságok figyelembevételével szeretnék példaképpen néhány olyan témára vonatkozóan javaslatot tenni, amelyeknek az Intézetben való művelése gyümölcsözőnek ígérkezik.

Az egyik ilyen téma az egyensúlyi- és mozgási stabilitásproblémák vizsgálata, és vizsgálati módszereik továbbfejlesztése lehet. Külön kiemelném a forgórészek kritikus (instabilis) viselkedésével kapcsolatos kutatásokat. Mind kontinuumokkal, mind véges szabadságfokú rendszerekkel kapcsolatban kellene vizsgálni ezt a problémakört, és elemző összehasonlítást is szükséges volna tenni ebben a tekintetben a két modelltípus között. E munkában különös figyelmet kellene szentelni a nem-konzervatív, vagy nem-kötött erőrendszerek hatásának és a különleges tulajdonságú anyagoknak, valamint a különböző optimalizációs méretezéseknek is.

Lehetségesnek látszik az egyszerű és összetett szerkezetek (például rudak, rúdrendszerek, tengelyek, héjak, lemezek, tartályok, járművek, gépek, gépalapok) rezgéseinek analízisével és szintézisével való foglalkozás is, például a sajátfrekvenciákkal, állandósult rezgésekkel, csillapítási és egyéb optimalizálási kérdésekkel, nem-lineáris hatásokkal kapcsolatos kutatással, determinisztikus és sztohasztikus módszerekkel.

További ajánlatos kutatási irány a mechanizmusok analízise, szintézise, osztályozási elveiknek új alapokra való helyezése, szerkezeti pontatlanságaik következményeinek vizsgálata, különböző szempontból történő optimalizálások.

A kontinuumok általános jellegű anyagegyenleteinek tanulmányozása lehetne még ilyen, az Intézetben való kutatásra alkalmas téma. Mindez szük-

ségessé tenné a törekvést a jelenlegi fémfizika és kontinuummechanika szintézisére is.

A témák felsorolását lezárva, világosan kitűnik, hogy az előttünk álló feladatok megoldása sok esetben komoly matematikai felkészültséget kíván, és szükségessé teszi bizonyos kísérleti technikák elsajátítását, illetve továbbfejlesztését. Nyilvánvaló az is, hogy az Intézet nem nélkülözhet matematikusokat és korszerű számítógépet sem.

A számítógép-problémának egy megoldását jelenthetné, ha az Akadémiai Számítóközpont újonnan beszerzendő gépével az Intézet közvetlen telexösszeköttetést kaphatna.

Az előbbiekben megemlített, a mechanika tudományának fejlődési alapelveivel foglalkozó gondolatok egy további alkalmazásaként az Intézet egyik fontos feladatául jelölhetjük ki a tudományterület nemzeti vagy nemzetközi konferenciáinak szervezésében és megvalósításában való részvételt, valamint az ilyen konferenciákon elhangzó anyag szélesebb körben való elterjesztését, hozzáférhetővé tételét. Így például foglalkozni kellene az 1964-es müncheni, és majd az 1968-as stanfordi nemzetközi mechanikai kongresszus anyagával ilyen szemszögből nézve is.

Összefoglalásul megállapítható, hogy — különösen az Akadémiai Mechanikai Intézet megalakulásával — lehetőséget nyerünk arra, hogy egyes területeken felzárkózzunk az elméleti és alkalmazott mechanika tudományának nemzetközi szintjéhez, és hogy e tudományág hazai gyakorlati alkalmazását hathatósan előmozdítsuk.

A MŰSZAKI MECHANIKA HAZAI EREDMÉNYEI ÉS JÖVŐ FELADATAI A MÉRNÖKI ÉS ÉPÍTÉSZETI TUDOMÁNYOK TERÜLETÉN*

SZÉCHY KÁROLY
LEVELEZŐ TAG

I. Tudománytörténeti áttekintés

A mérnök és építész feladata egyaránt az építés. Valamely létesítmény megépítése végső soron teherviselő és teherátadó szerkezetek sorozatának létrehozását kívánja. Hogy ilyen szerkezeteket megalkothassunk, ismernünk kell a szerkezeti anyagok szilárdságtani, fizikai és kémiai tulajdonságait, valamint a tartó, teherátadó és teherviselő szerkezetek teherbírási és alakváltozási tulajdonságait. Mindezekből nyilvánvaló, hogy a műszaki mechanika és a műszaki fizika építményeink teherbírásának és időállóságának, de használhatóságának is alapját képezik.

Az elmúlt száz év alatt a műszaki mechanika hallatlan nagy fejlődésen ment át, és az utóbbi évtizedekben e fejlődés üteme — mint általában minden tudományé — rendkívüli módon meggyorsult. Ma már a műszaki mechanika területe annyira széles és sokrétű, és amellett állandóan tovább osztályozódik, hogy összefogó képet is nehéz volna róla adni. Ezelőtt egy félszázaddal *anyagvizsgálat, elméleti rugalmasságtan* (általános szilárdságtan) és *tartók statikája* címszavak alatt mérnöki és építészeti szempontból a műszaki mechanika egész területét össze lehetett fogni, ma viszont már nemcsak ezek a fő fejezetek részleteződtek rendkívüli mértékben, de olyan fontos új fejezetek is járultak hozzájuk, mint a folyadékok és szemcsés közegek mechanikája, a képlékenységtan, a reológia vagy a térbeli és felületszerkezetek szilárdságtana.

Mielőtt a műszaki mechanika mai korszerű osztályozásán alapuló analízisére rátérnénk, vessünk egy átfutó pillantást e tudományág hazai fejlődését elindító és a maguk idejében rendkívül jelentős tudományos színvonalat képviselő tudósaink munkásságára és azok jelentőségére.

A legnagyobb hagyományai hazánkban a tartószerkezetek elméletének vannak, ahol a múlt század második felében KHERNDL ANTAL professzor nemcsak jelentősen bővítette a határozatlan tartók erőjátékának meghatározására vonatkozó alapvető tudományos ismereteket, hanem megalapítója lett annak a hazai tudományos iskolának, amelynek tagjai azóta is megszakítás

* Elhangzott a Műszaki Tudományok Osztályának a Magyar Tudományos Akadémia 1967. évi közgyűlése alkalmából, 1967. május 4-én tartott tudományos előadásán.

nélkül gazdagítják ezt a tudományágat, valamint a szép és korszerű szerkezetek létrehozásával az egész országot; kezdve a világszerte elismert Duna-hídjainktól a legkorszerűbb csarnok- és felületszerkezeteinkig.

Ugyanilyen alapvető hagyománya és iskolája alakult ki hazánkban KAZINCZY GÁBOR úttörő munkássága nyomán a tartószerkezetek törési határ alapján való méretezésének, amely szintén az első világháború előtti időkre nyúlik vissza.

Ebből a történelmi időszakból lehet még megemlíteni századeleji tudós professzorainknak (ZIELINSKI SZILÁRD, KOSSALKA JÁNOS, MIHAILICH GYŐZŐ) a vasbetonszerkezetek erőjátékának vizsgálata terén kifejtett munkásságát.

Ezek a tények magyarázzák elsősorban, hogy ezeken a területeken mutatkozott hazánkban a legutóbbi időkig is a legszámottevőbb fejlődés.

II. A tudományterület felosztása és részletezése

A továbbiakban a tudományterület felosztása tekintetében tartsuk meg a Magyar Tudományos Akadémia Építéstudományi és Gépészeti, valamint Kohászati Bizottságai által kidolgozott helyzetkép korszerű beosztását:

1. Rugalmas és nem rugalmas (képlékeny, viszkózus stb.) anyagú rendszerek feszültségi és alakváltozási állapotának vizsgálata;

1.1 Rugalmasságtan,

1.2. viszkoelaszticitástan,

1.3. képlékenységtan,

1.4. stabilitáselmélet,

1.5. méretezéselmélet.

2. Modellanalízis.

3. Szemcsés közegek mechanikája.

4. Kinetika és kinematika;

4.1. Rezgéstan,

4.2. Nem rezgéstani vonatkozású kinetikai és kinematikai kérdések.

Ezekhez hozzá kell még vennünk a folyadékok mechanikáját, amely a hidraulika, áramlástan és aerodinamika problémakörét foglalja magában.

Az alábbiakban részletesebben csak azokkal a kérdéscsoportokkal foglalkozom, amelyek területén hazánkban számottevő eredményekre mutathatunk rá az elmúlt évekből.

1.1. Rugalmasságtan

A nemzetközi téren folyó munkába hazánk kutatói csak a XX. század elején, de jelentősebben csak a két világháború között, és főleg a második

világháború után kapcsolódtak be. A tudományterület nagy kiterjedése és szerteágazó volta csak egyes részterületek hazai művelését tette lehetővé. A felszabadulás után a hazai könyvkiadás jelentős művekkel segítette a terület fejlődését. Ennek hatása kézzelfoghatóan mérhető a magyar szerzők publikációs tevékenységének megélénkülésén, amit az *Acta Technica* és más hazai folyóiratok — ha nem is teljesen — de jól tükröznek.

Hazánkban nem annyira az elméleti rugalmasságtan, mint a tartószerkezetek elmélete területén mutathatunk rá — a fentebb már említett iskola kialakulásának eredményeképpen — nemzetközi viszonylatban is számottevő tudományos munkásságra.

A kutatás az egyenes- és görbetengelyű, állandó és változó merevségű rudakra, a síkbeli és térbeli rúdszerkezetekre, továbbá a felületszerű szerkezetekre egyaránt kiterjedt. Különösen az utóbbi téren mutatkoznak számottevő, nemzetközi vonatkozásban is jelentős hazai eredmények, ami azért is örvendetes, mert a mérnöki építészetben egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert a vastagságukhoz képest aránylag nagy kiterjedésű különféle szerkezetek: lemezek, táblák, lemezművek, héjak. Ezek a szerkezetek olyan térlefödési feladatok megoldását teszik lehetővé, melyek megvalósítása korábban teljesen lehetetlen volt, vagy igen nagy technikai nehézségekbe ütközött.

A *felületszerű héjszerkezetek* előtérbe nyomulása a mechanika vonatkozó fejezeteinek részletes kidolgozását tette szükségessé. Ámbár világszerte sok kutató foglalkozott és foglalkozik e szerkezetek elméletével, számos probléma eddig csak elvi megoldást nyert, s a gyakorlatban közvetlenül alkalmazott módszerek még csak kis számban kerültek kidolgozásra. Ezért igen örvendetes, hogy a hazai kutatómunka éppen ezen hiányosság felszámolására összpontosult. Hasonló a helyzet a felületszerű szerkezetek másik aránylag új területén, a *függesztett hálók* vizsgálata terén is, ahol a gyakorlati, numerikus eljárások kidolgozása hazánkban szintén örvendetes eredményeket könyvelhet el.

Különösen kiemelhetők a membrán- és hajlított héjak, a peremtartó nélküli héjak, a hártyaszerkezetek, ortotrop lemezek, valamint a különféle stabilitási és csavarási kérdések vizsgálatával kapcsolatban elért tudományos és gyakorlati eredmények.

A felületszerű szerkezeteken kívül eredményes tudományos munkásság mutatkozott egyéb *térbeli szerkezetek* területén is, ami elsősorban a tartórácsok elméletének előbbreviteléhez vezetett. Ez a munkásság annál is fontosabb, mert éppen a felületszerű szerkezetek, lemezek alkalmazásával kapcsolatban egyre nyilvánvalóbbá válik, hogy a hossz- és keresztirányú függőleges, valamint vízszintes tartóelemekből összetett és klasszikusan csak saját síkjukban méretezett tartószerkezetek ilyen alapon történő számítása ma már egyre kevésbé tartható. Rá kell térni arra a szemléletre, hogy a síkbeli tartóelemekből összetett szerkezeteket sem lehet síkbeli keresztmetszetek alapján méretezni, hanem veszélyes keresztmetszetek helyett a „veszélyes felület" fogalmát

kell bevezetni, különösen összpontos erőkkel terhelt vasbeton gerenda- vagy ívtartók esetében.

A számottevő eredmények mellett a továbbiakban a kutatásnak elsősorban a térbeli együttdolgozás további elméleti és gyakorlati vizsgálatára, valamint az egész szerkezetnek mint egységnek tönkremenetelét előidéző feltételek tanulmányozására kell ezen a területen irányulnia.

A tisztán „elméleti" rugalmasságtan területén számottevő újabb hazai eredményekről alig beszélhetünk. E téren mindössze a sík- és térbeli feszültségállapotok elemzésére, a belső feszültségkoncentráció elméletére vonatkozó vizsgálatok érdemelnek említést. A kutatásnak itt az összetett szilárdság elméletére és a tartószerkezetek munkabírás alapján történő tönkremeneteli vizsgálatára kellene a jövőben koncentrálódnia.

1.2. Viszkoelaszticitástan

Az időtényező szerepe mind a teherviselő szerkezetek alakváltozása, mind tönkremenetele szempontjából, mind a vasbetonépítéstan, mind a kőzet- és talajmechanika szempontjából rendkívül nagy jelentőséggel bír, és kapcsolatban van azzal az általános teherbírási elmélettel, amely a tartószerkezetek már említett munkabírásán alapszik.

A hazánkban végzett eddigi kutatások elsősorban a vasbeton és feszített beton szerkezetekkel kapcsolatos zsugorodási és kúszási jelenségekre irányultak. Fontos volna azokat a talaj- és kőzetmechanikára, valamint a kőzetekre és acélszerkezetekre is kiterjeszteni, legalább olyan mértékben, hogy azok tükrözni tudják a külföldön végzett ilyen irányú kutatások eredményeinek szintézisét.

1.3. Képlékenységtan

A képlékenységtan, vagyis a törés nélkül maradóan alakítható szilárd testek feszültségi és alakváltozási állapotát tárgyaló tudomány is két részre osztható: matematikai és technikai képlékenységtanra.

Hazánkban a matematikai képlékenységtan terén végzett kutató tevékenységet csupán néhány értekezés és dolgozat jelzi. Annál nagyobb a technikai képlékenységtan, vagyis a tartószerkezetek képlékenységtani (töréskép, határfeszültség) alapon való méretezésével kapcsolatos kutatómunka eredménye.

Bár hazánkban a képlékenységtan területén nem alakult ki szervezett formában összefogott kutatógárda, különösen pedig iskola, a felszabadulást követően aránylag sokan foglalkoztak a technikai képlékenységtannak acél- és vasbetonszerkezetekre, valamint szemcsés közegekre való alkalmazásával. A művelt főbb területek:

Többtámaszú tartók és keretszerkezetek; vasbeton lemezek és héjak törésvonal-elmélete;

talajtörés síkalapok alatt;

határfeszültség alapján való méretezés;

az egyenlő biztonság alapján való méretezés és a biztonsági tényezőnek a szórási küszöbérték alapján való meghatározása.

Ezen a területen a további teendőknek, elsősorban a törési deformáció elméleti meghatározására kellene irányulniok.

1.4. Stabilitáselmélet

A stabilitáselmélet területén világviszonylatban is úttörő tudományos tevékenységet végeztek a hazánkból később elszármazott TETMAJER LAJOS és KÁRMÁN TÓDOR. Talán itt is az ő példamutatásukkal magyarázható, hogy hazai kutatóink továbbra is előszeretettel foglalkoztak ebből a tárgykörből vett témákkal, így

a) rudak kihajlási kérdéseivel;

b) a kibicsaklás, kifordulás egyes eseteivel;

c) ívek, körgyűrű lemezek és nyomott ívek stabilitásával.

A kutatott témák közt aránylag kevéssé szerepelt a keretszerkezetek stabilitásának, valamint a lemez- és héjszerkezetek kihajlásának problémája.

Ezen a területen a már elért eredmények továbbfejlesztése és kritikailag egységes rendszerbe való foglalása továbbra is kívánatos, bár az elmúlt években megjelent egy igen értékes összefoglalást nyújtó szakkönyv, amely azonban elsősorban a gyakorlat és az oktatás céljaira készült.

Részleteiben főként a képlékeny kihajlás egyes esetei (keretszerkezetek) és a vasbetonhéjak egyes kihajlási kérdései várnak pontos tisztázásra.

1.5. Méretezéselmélet

Ezen a területen nagy fejlődést jelentett a Magyar Tudományos Akadémia keretén belül már évek óta megrendezésre kerülő „Korszerű méretezési konferenciák" sora. Különösen három témacsoport az, amely gyakorlati jelentőségénél fogva a tartószerkezetek köréből kiemelhető, mégpedig:

a) a tartószerkezetek gazdaságilag optimális méreteinek meghatározása;

b) a biztonsági tényező meghatározása valószínűségszámítás alapján;

c) a tartószerkezetek méretezése elektronikus számítógépekre való programozás alapján.

Mindhárom téma olyan jelentőségű, amelynek továbbvitele és egységes keretbe való foglalása a jövőnek igen fontos feladata.

Ide tartozik továbbá a tartószerkezetnek mint egységnek a térbeli feszültségállapot és az összetett szilárdság alapján való méretezése, ami a szerkezeti elemek tényleges helyzetét, kapcsolati módját van hivatva messzemenően figyelembe venni.

2. *Modellanalízis*

Számos mérnöki szerkezet szilárdságtani vizsgálata a szerkezet bonyolult alakja, vagy viselkedése miatt elméleti úton nem végezhető el. Ezért külföldön olyan modelleken tanulmányozzák az ilyen szerkezetek viselkedését, amelyek számszerű kiértékelésre is alkalmasak.

Hazánkban a modellezés szintén fejlődésnek indult, ideértve a tényleges szerkezeti modellezésen kívül a feszültségállapotok vizsgálatát célzó fotoelasztikus modellvizsgálatokat is. Ezek azonban nagyrészt csak minőségi eredményeket szolgáltattak, s csupán egyes esetekben tették lehetővé az elméleti alapok tisztázását.

A következőkben szükséges volna a szétszórtan megindult munkák összefogása és a mennyiségi eredmények szolgáltatására alkalmas modellezés technikájának kifejlesztése.

3. *Szemcsés közegek mechanikája*

A hazai kutatás ezen a területen különösen JÁKY JÓZSEF és a körülötte kialakult iskola révén számos kimagasló eredményt ért el, mind a talajtörés, mind a feszültségeloszlások vizsgálatában. Legújabban a talajfizika új alapokra való helyezése területén történt értékes kezdeményezés.

A következőkben szükséges volna a törési mechanizmusban és a nyírószilárdság tényezőiben a törési folyamat során előálló változások elméleti és kísérleti tanulmányozása, a két- és többrétegű szemcsés közegekben kialakuló feszültségi és törési állapotok vizsgálata, továbbá mindezeknek a földnyomási kérdésekkel való kapcsolatba hozatala.

4. *Kinetika és kinematika*

Az idevágó jelenségek kutatása elsősorban az alkalmazott mechanikának a gépészet tárgykörébe eső részéhez tartozik, de néhány fontos építési vonatkozása is van. Ide tartozik elsősorban a különféle építmények dinamikus hatásokkal (ütés, rezgés, lökésszerű terhelés stb.) szemben való szilárdságtani viselkedésének és méretezési alapelveinek lerögzítése és az ismételt igénybevételekkel szemben számításba vehető szilárdság (fáradás) jelensége. Ezen a területen a hazai kutatás csak egyes konkrét problémák megoldás érdekében produkált egy-két, helyenként figyelemre méltó eredményt.

Rendkívüli mértékben hiányzik az eredmények szintézise és céltudatos továbbfejlesztése, kiegészítése az anyag-fizikai vonatkozások mélyrehatóbb elemzésével kapcsolatban.

5. *Folyadék- és hordalékmozgás (szivárgás)*

Ezen a területen a hazai kutatás igen örvendetes és világviszonylatban is értékelt eredményeket tud az utóbbi években felmutatni. Vonatkozik ez elsősorban a hordalékmozgásra és a talajvízáramlási kérdésekre. A jövőbeli kutatások iránya is megfelelően kialakult. E kutatások a gyakorlati munkákkal szoros kapcsolatban vannak. Nemsokára elérkezik az ideje itt is az eredmények átfogó szintézisének és a külföldi és hazai eredmények kritikai összefoglalásának.

III. Összefoglalás

A műszaki mechanikának itt azon kérdéseit tárgyalták, amelyekben hazánkban is elismerésre méltó eredmények születtek meg már az eddigiekben is. Itt egyes helyeken a további kutatás iránya is többé-kevésbé kialakult. Mindenütt szükséges azonban az eddigi eredmények kritikai értékelése és a világviszonylatban kimagasló külföldi eredményekkel összevető szintézise. Ez adhat azután alapot a céltudatos munka további folytatására.

Vannak azonban a műszaki mechanikának olyan területei, amelyeket hazánkban alig, vagy egyáltalában nem is művelnek. Így a fejlődésnek nemcsak a követésére, hanem a megértésére is elégtelen a kutatás az elméleti rugalmasságtan és a viszkoelaszticitás (reológia) területén. Továbbá teljesen hiányzik a kutatás a hullámmozgások, ütőhatások, rezgéselmélet területén, egyáltalában nem kielégítő az összetett áramló mozgások területén sem. A Magyar Tudományos Akadémia *Műszaki Mechanikai Intézetétől* várjuk ezen, nagyrészt alapkutatás jellegű feladatoknak nemcsak a megszervezését, hanem fokozatos megoldását is és elsősorban az eredmények kritikai szintézisének elvégzését, a leghatékonyabb további kutatási irányok kijelölésével.

HOZZÁSZÓLÁS

SZABÓ JÁNOS
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

SZÉCHY levelező tag tömör és világos képet adott a közgyűlésnek arról, hogy a mérnöki és építészeti tudományok területén folyó műszaki mechanikai kutatás múltja mennyi szép kezdeményezést és a nemzetközi tudományos életre is kiható eredményt tud felmutatni. Az előadás azt is megmutatta, hogy az utóbbi 20—25 évben is értünk el nem jelentéktelen eredményeket, de ennek nemzetközi súlya összeségében a korábbi hazai és a mai külföldi kiemelkedő eredményekhez viszonyítva átlagában elmarad a korábbi szinttől. Miben keresendő ennek a magyarázata?

Az egyetemi oktatás átlagos színvonalában nem találunk erre magyarázatot, mert egyrészt a kutatógárda középkorú rétege nagyjából 20 évvel ezelőtt szerezte meg főiskolai képzettségét, másrészt a műszaki egyetemi oktatásban állandóan érvényesül az a törekvés, hogy a legújabb műszaki elméleti és gyakorlati eredmények ne túl nagy késéssel és megfelelő kritikai értékeléssel kapjanak az oktatás programjában szerepet. Emellett megállapítható, hogy a tudományegyetemeken hiányzott a bátorítás arra, hogy a hallgatók a műszaki mechanika iránt érdeklődjenek és e tudományterülettel foglalkozzanak.

A felszabadulás után ugrásszerűen megnőtt a kutatóintézetek száma és jelentős szerepet kaptak a Magyar Tudományos Akadémia egyetemi tanszékek mellett létrehozott kutatócsoportjai. A tanszékek kutatómunkája is a fő kutatási célokkal összhangban folyik. Mindennek ellenére szomorúan kell látni, hogy nem egy, korábban kiemelkedő eredményt mutató területen megakadt a fejlődés, sőt a korábbi lendülethez képest visszaesett. A magyarázatot, azt hiszem, elsősorban abban lehet megtalálni, hogy legjobb törekvéseink dacára sem sikerült ez ideig a munkák koordinálásának fokozásával elérni azt, hogy az egyes kutatók, illetőleg kutatóhelyek ne egymástól elszigetelten végezzék munkájukat, mert egy ilyen állapot csak az erők szétforgácsolásához, párhuzamos kutatáshoz és természetesen kis hatásfokon elért eredményekhez vezethet. Világosan kell látnunk, hogy a baráti országokban és a tőkés országokban is elsősorban ott sikerült kiemelkedő eredményeket létrehozni, ahol nagyobb kutatócsoportokban, intézetekben időben összefogták egy-egy kutatási terület meglevő személyi állományát, és határozott elképzelések alapján szabták meg a tudományos szakember-utánpótlás programját.

Érthető tehát, hogy a műszaki mechanika területén dolgozó kutatók és e területért felelős akadémiai bizottságok egyaránt sokat várnak a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Mechanikai Kutató Intézetétől, mert a kutatás összehangolását bizottsági munkával ma már lehetetlen elvégezni, és eredményt e téren csak állandó és szervezett összefogást biztosító intézmény

biztosíthat. A baráti szocialista országok mindegyikében már hosszabb idő óta működik vagy kifejezetten Akadémiai Mechanikai Intézet, vagy legalább olyan akadémiai intézet, amelyben a műszaki mechanika kiemelkedő szerephez jut. Reméljük, hogy egy ilyen hazai intézet létrehozása sem késik már soká, és ezért legyen szabad elsősorban ezen intézet által elvégzendő feladatokról szólnom. Úgy vélem, hogy két alapvetően fontos feladatkört kell az intézet részére megjelölni.

Az intézet első feladatköre az kell hogy legyen, hogy összegyűjtse a műszaki mechanikai kutatások világviszonylatban számottevő eredményeit, és ezeket rendszeresen szintetizálva, kritikailag értékelve adja tovább az alkalmazási területek felé. E fő feladat keretében folyó tevékenység rendkívül sokrétű, de reproduktív jellege dacára sem szabad e tevékenységet lebecsülni. A hazai alkalmazott tudományok, a műszaki fejlődést szolgáló kutatói tevékenység vitathatatlanul dús forrásként használhatná a már másutt elért eredményeket. De ahhoz, hogy ezt fel tudja használni, egy központilag magas színvonalon szervezett gyűjtő és elemző tevékenység elengedhetetlenül szükséges. E feladat magas szintű ellátása fogja előreláthatólag a tervezett intézet legsúlyosabb problémáját okozni. Kutatóink túlnyomó része az egyéni új eredmények elérésére törekszik annak ellenére, hogy a Magyar Tudományos Akadémia tudományos minősítő rendszere sem zárkózik már el a kollektívában elért egyéni eredmények méltányolásától, sőt állandó törekvés az akadémiai bizottságok részéről olyan összefogó munkák készíttetése, melyek egy-egy szűkebb terület tudományos helyzetképét alakítják ki. Ennek ellenére észre kell vennünk, hogy a kívánt irányban kevés munka születik, és elenyészően kicsiny azoknak a kutatóknak a száma, akiket az összefogó-értékelő munkák létrehozására sikerült lelkesíteni és beállítani. Ennek egyszerűen az a magyarázata, hogy a rendkívül gazdag irodalmi forrásanyag, a rengeteg publikáció és kutatási jelentés rendszeres feldolgozása olyan hatalmas munkát igényel, mellyel még viszonylag szűk területen is rendkívül nehéz megbirkózni. A feladat megoldása csak úgy képzelhető el, hogy az összefogást és a tudományosan is magas értékű elemző-értékelő munkát végző kutatók munkája az információgyűjtő és -feldolgozó szervek jól működő tevékenységére támaszkodik. E feladatkör ellátásának jó megszervezése szükségessé tenné azt is, hogy tudományos minősítő rendszerünket e cél érdekében tovább finomítsuk.

A másik feladatkör, melyet a tervezett intézet összefogásában kell ellátni, az új kutatási eredmények elérésére irányul. E téren legsúlyosabb és legfelelősségteljesebb tennivaló annak a nem sok témának megjelölése, melyekben lényegében véve kialakultak a személyi és részben tárgyi előfeltételei az eredményes hazai kutatómunkának. E néhány terület megjelölése gondos értékelés után kell, hogy megszabja azt, hogy részben az intézetben, részben az intézet összefogó munkája mellett más kutató helyeken milyen témakörök kutatásával kell foglalkozni.

A műszaki mechanika klasszikus fejezeteinek elengedhetetlen művelését kihangsúlyozva, legyen szabad megemlítenem az építési mechanika néhány olyan téma-területét, melyen a hazai kutatás is hozhat létre új eredményeket. A rugalmas és nem rugalmas anyagú rendszerek feszültségi és alakváltozási állapotára vonatkozó vizsgálatok egy része bonyolult szerkezeti rendszerek numerikus módszereinek fejlesztése terén ért el eredményeket. E tevékenység összhangban áll azzal az irányzattal, amely a nemzetközi irodalomban a véges elemek módszere néven ismert. A kutatás egy másik fontos része a vékony falú

szerkezetek speciális és szerkezeti problémáival foglalkozik. A szerkezetek vizsgálatának másik eredményekkel kecsegtető területe a terhek és anyagtulajdonságok sztohasztikus összefüggéseivel foglalkozik, és azt kutatja, hogy a szerkezetek az anyagtulajdonságok és a szerkezetet érő hatások valószínű értékei mellett milyen várható időn belül mennek tönkre, illetőleg a méretek hogyan függnek össze a vállalt kockázat mértékével. A kutatásnak ez a területe az alkalmazott tudományok szempontjából is igen jelentős, a kutatás személyi előfeltételei kialakultak, ezért feltétlenül célszerű azt a további programokban is szerepeltetni.

A képlékenységtan területén aktív és eredményes kutatómunka folyik a rúd- és felületszerkezetek teherbírásának meghatározása, a rudak és rúdszerkezetek stabilitás-vizsgálata, a szerkezetek ütésre és lökésszerű terhelésére vonatkozó vizsgálata, továbbá az optimális méretezés elméletének kidolgozása témakörében. Lényegében megvannak a személyi előfeltételek ahhoz, hogy a numerikus módszerek és számítástechnika szélesebb körű alkalmazása, a matematikai képlékenységtan behatóbb művelése, a dinamikai feladatok szélesebb körű és elmélyültebb vizsgálata, valamint a geometriailag nem lineáris rendszerek számítása terén újabb kutatási eredményeket érjünk el.

Az utóbbi időben jelentős eredmények születtek a tartószerkezetek lassú alakváltozásának matematikai eszközökkel történő vizsgálatára; ezért feltétlenül kívánatosnak látszik a kutatómunkát ebben az irányban fejleszteni. Újabban megélénkült az érdeklődés az épületszerkezetek rezgéselméletének kutatási területén is, és néhány újabb eredmény feljogosít arra, hogy a meglevő személyi adottságok jobb összehangolásával és fejlesztésével további sikeres kutatásra számítsunk.

Nemzetközileg is kiemelkedő eredmények mutathatók fel a szemcsés közegek kutatása terén, és különösen sokat lehet várni a talajfizika új alapokon történő vizsgálatától. A többkomponensű és többfázisú rendszerek vizsgálata elméletileg és gyakorlati alkalmazás szempontjából egyaránt fontos eredményeket hozhat, ezért e terület kutatása fontos további feladatként jelölendő meg.

A főleg illusztrálás végett említett témakörök közös jellemvonása, hogy a problémák megközelítése elsősorban matematikai oldalról történik és így nagy laboratóriumi berendezések nélkül is elvégezhető. De egyúttal e témakörök arra is figyelmeztetnek, hogy a műszaki mechanikai kutatás hazai fejlesztése nem nélkülözheti a matematikai alapképzettségű kutatókat és a megfelelő számítóberendezéseket.

A mérnöki és építészeti tudományterület összefogott műszaki mechanikai kutató tevékenysége két legfontosabb feladatának és néhány tématerületnek megemlítésével egyrészt a soron következő tennivalók fontosságát, másrészt a végrehajtás előtt álló nehézségeket akartam megvilágítani. Ahhoz, hogy elfogadható mértékben eleget lehessen tenni a műszaki mechanikai kutatás hazai követelményeinek, sürgős lépéseket kell tenni a szakember-pótlás megszervezésére. A személyi állományban mutatkozó hiányok legsürgősebb pótlására fiatal ösztöndíjas szakemberek neves külföldi intézetekbe történő kiküldése látszik a legjárhatóbb útnak. Egyidejűleg azt is biztosítani kell, hogy a szakember-utánpótlás egyetemi nevelése is minél előbb beinduljon. Egészséges kezdeményezés példájaként el lehet indulni a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen szervezett formából, és hasznosítani lehet a baráti és más országokban szerezhető oktatási tapasztalatokat is. Már az oktatás során elő

lehet készíteni egy-egy fiatal munkaerő alkalmassá tételét arra, hogy a műszaki mechanika valamelyik területének nagyméretű összefoglaló referátumát elkészítse, másokat pedig alkalmassá tenni arra, hogy a hazai kutatás szempontjából fontos területen új kutatási eredmények létrehozásában kapjanak szerepet, vagy egyénileg is képesek legyenek ilyen létrehozására.

Mindent egybevetve, a hazai műszaki mechanikai kutatás helyzetét a hézagosság és szervezetlenség miatt súlyosnak, de nem reménytelennek kell ítélni. Fel kell ismerni, hogy az e téren tartósuló lemaradás előbb-utóbb károsan befolyásolhatja a műszaki mechanika alkalmazási területeinek fejlődését is. Ezért e helyről is nyomatékosan kell kérni a műszaki mechanikai kutatásterület hazai helyzetének erélyes javítását.

KÖNYVSZEMLE

Dr. Csáki Frigyes, Barki Kálmán, Ganszky Károly és *Ipsits Imre*

IPARI ELEKTRONIKA

Tankönyvkiadó, Budapest 1966; 663 oldal.

Az erősáramú elektromérnök-hallgatók számára írt tankönyv az egyetemi tananyagon helyenként messze túlmenő ismeretanyagával a gyakorlati szakember és a kutatómérnök számára is hasznos mű. A könyv a társszerzők közös munkájaként, egységes elvek alapján készült, és így mentes a több szerző által írt könyvek hibáitól.

A könyv hét fő részre tagolódik, amelyeken belül az ipari elektronika témakörét széles látókörrel tárgyalja, figyelembe véve a hagyományos módszereket és a tudomány legújabb eredményeit is.

Az *első részben* a szerzők definiálják az ipari elektronika tárgykörét, táblázatokban foglalják össze fejlődését, rámutatnak jelentőségére, majd ismertetik a könyv további hat részének témáit.

A könyv *második része* az elektronikus elemekkel (vákuumcsövek, gáztöltésű csövek, félvezető elemek) foglalkozik. Különösen a félvezető elemeket ismertető rész hasznos, ahol megtalálható ezen elemek működési elve és jelleggörbéi. A legmodernebb félvezető elemekről, az integrált (szilárdtest) áramkörökről röviden szó esik.

A *harmadik rész* az áramirányítás problémáival foglalkozik. Részletesen tárgyalja a különböző egyenirányítóknál fellépő feszültség- és áramalakokat különböző terhelések esetén. Foglalkozik az egyenirányító berendezések transzformátoraival, azok hatásával az egyenirányításra, áram-, feszültség- és teljesítményviszonyaikkal. Külön részben foglalkozik az egyen-váltó átalakítókkal (inverter). A könyv következő részei az egyenirányító kapcsolások gyakorlati kapcsolásait (soros, párhuzamos) gyakorlati alkalmazási problémáit (veszteség, terhelhetőség stb.) valamint védelmüket tárgyalják. Ebben, a terjedelemre is legnagyobb harmadik részben van szó a feszültség-szabályozás módszereiről (szabályozható transzformátorok, vezérelhető csövek, higanygőz egyenirányítók és vezérelhető félvezető egyenirányítók), valamint az egyenirányító berendezések néhány gyakorlati alkalmazásáról is.

A *negyedik rész* a különböző típusú, csövekkel és tranzisztorokkal megvalósított elektronikus erősítőket tárgyalja, különös tekintettel azok erősáramú alkalmazásaira. Ezért nem foglalkozik részletesebben nagyfrekvenciás kapcsolásokkal. Ebben a részben esik szó a különböző fázisdiszkriminátorokról is.

Az *ötödik rész* a különböző színuszos és nem színuszos jelek létrehozására szolgáló jelkeltő generátorokat tárgyalja. Szerzők, ahol lehet, az elektroncsöves kapcsolások mellett megadják a tranzisztoros megoldást is, de ezek részletes tárgyalása helyett helyenként csak a tranzisztor és az elektroncső működési analógiájára hivatkoznak, holott nagyon sok területen ma már csak tranzisztoros jelkeltő generátorokat használnak.

A *hatodik rész* a különböző elektronikus relékapcsolásokat ismerteti. Szó esik a fényrelékről és a különböző időkésleltető kapcsolásokról, valamint elektroncsövekből és félvezetőkből is megvalósítható mozgóérintkező nélküli logikai elemekről.

A könyv befejező, *hetedik része* összefoglalja a különféle (parázscsöves, Zener-diódás, tranzisztoros, elektroncsöves) feszültség- és áramstabilizátor kapcsolásokat.

A *Függelékben* táblázatosan láthatók az egyes egyenirányító-kapcsolások legfőbb jellemzői és a félvezető anyagok jellemző mennyiségei. A könyv értékes *irodalomjegyzéke* elősegíti az érdeklődők további tájékozódását. A könyv minden fejezetéhez nagyszámú magyarázó ábra tartozik, amelyek nagyban megkönnyítik megértését.

Magyar nyelven ez az első összefoglaló mű, amely a tárgykört az oktatás igényein túl — a teljesség igénye nélkül — a gyakorlati szakember számára is kitűnő összeállításban adja. Meg kell dicsérni a könyv tetszetős külső megjelenését és a nyomda színvonalas munkáját. Egy későbbi kiadásnak számolnia kell azzal, hogy a jelen könyvben kissé mostohán kezelt integrált áramkörök alkalmazásának, valamint tranzisztoros készülékek részletesebb leírásának (pl. tranzisztoros jelgenerátorok) nagyobb teret szenteljen.

Dr. Kovács K. Pál

H. v. Bertele

INDUSTRIELLE ELEKTRONIK UND AUTOMATION

(Ipari elektronika)

Richard Carl Schmidt et Co., Braunschweig 1965; 303 oldal, 193 ábra,27 táblázat.

A modern technikának, az automatizálásnak egyik legfontosabb alapja az ipari elektronika. A szóban forgó munka viszonylag csekély terjedelemben a lényegre összpontosítva áttekintést kíván nyújtani az ipari elektronika és az automatika fontosabb tárgyköreiről. Nem tér ki az egyes kapcsolások részletes matematikai tárgyalására, hanem ehelyett inkább a fizikai működést, az alkalmazhatóságot és a fejlődés perspektíváit igyekszik kifejteni. *H. v.* BERTELE munkája igen alkalmas tehát arra, hogy az ipari elektronika nagyon gyorsan fejlődő és szétágazó területein a nem szorosan vett szakember is jó tájékozottságot szerezzen. A könyv előnyei közé sorolható az is, hogy nemcsak elvi megoldásokat hoz, hanem egy-egy cég gyakorlati megoldásait is közli, hangsúlyozva, hogy a választás nem jelent állásfoglalást az illető megoldás mellett, erre más cégeknek is vannak hasonló teljesítőképességű megoldásai.

A tartalmon és a névmutatón, valamint a 280 hivatkozást felsoroló irodalom- jegyzéken kívül a könyv 6 fejezetre oszlik fel.

Az *első fejezet* az ipari elektronika fogalmának megmagyarázásával és témakörének kijelölésével foglalkozik.

A *második fejezetben* az elektronikus technológiai megmunkálási módszerek vannak összefoglalva. Szó esik itt nagyfrekvenciás melegítésről, a parázsfény (glimm) kisülések felhasználásáról, vékony fémrétegek előállításáról, ultrahang-megmunkálásokról, szikraforgácsolásról, elektronsugaras fémmegmunkálásról, röntgen-sugár készülékekről és a laser felhasználásáról is.

A *harmadik fejezet* az automatika alapelveit, alapkészülékeit és szerveit tárgyalja. Beavatkozó szervek, számlálókészülékek, időkésleltető elemek, adattároló és kódoló készülékek bemutatása után a zárt szabályozási rendszerek rövid ismertetésére kerül sor.

A *negyedik fejezet* ugyancsak az ipari elektronika és az automatika készülékeivel foglalkozik, de elsősorban az érzékelők, az alapjelbeállítók, az erősítők és szabályozók szempontjából.

Az *ötödik fejezet* az ipari elektronikának a tömeggyártásban való felhasználásáról szól a legkülönbözőbb technológiai területeken. Említés történik itt kohászati problémák megoldásáról, a szerszámgépek automatizálásáról, nagy egyenirányítóknak hengerművekben való alkalmazásáról, hegesztőgépekről, különféle kémiai technológiákról, papírgyártásról, élelmiszeriparról stb.

Végül a *hatodik fejezet* az ipari elektronika és automatika néhány kihatását mutatja be a társadalomra és az egyénre.

A könyv tárgyalásmódja világos, a jól megválasztott ábrák és táblázatok elősegítik a tárgyalt anyag gyors áttekintését.

Dr. Csáki Frigyes

TARTALOM

NEKROLÓG

Liska József 1883—1967 (Kovács K. Páltól) 253

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK 1967. MÁJUS 3-ÁN TARTOTT KIBŐVÍTETT OSZTÁLYÜLÉSE

Bognár Géza: Beszámoló a Műszaki Tudományok Osztályának 1964—1966. évi tevékenységéről 255
Függelék az osztálytitkári beszámolóhoz 258

Adatok a Műszaki Tudományok Osztályának szervezetéről és működéséről 287

Hozzászólások az osztálytitkári beszámolóhoz

Gruber József 308
Vámos Tibor 308
Tarnóczy Tamás 310
Gillemot László 311
Szigeti György 314
Hevesi Gyula 314
Eisler János 316
Szabó János 316
Széchy Károly 316
Kovács Károly Pál 318
Benedikt Ottó 319
Erdey-Grúz Tibor 320
Tarján Rezső 322
Striker György 322

Bognár Géza válasza az elhangzott hozzászólásokra 323

Benedikt Ottó: Az automatizálási—műszaki-kibernetikai kutatások hazai eredményei és fejlődési irányai 325
Kalmár László hozzászólása 339
Frey Tamás hozzászólása 342
Szigeti György: A hazai félvezetőfizikai alapkutatások 345
Szabó Elek hozzászólása 364
Lukács József hozzászólása 366
Szép Iván hozzászólása 369
Giber János hozzászólása 370
Millner Tivadar: A hazai wolframkutatás 373
Verő József: Oldott ötvözőelemek hatása az α-vas folyási határára 385
Gillemot László: A műszaki mechanika hazai eredményei és jövő feladatai a gépészeti és kohászati tudományok területén 399
Bosznay Ádám hozzászólása 410
Széchy Károly: A műszaki mechanika hazai eredményei és jövő feladatai a mérnöki és építészeti tudományok területén 413
Szabó János hozzászólása 420

KÖNYVSZEMLE

Csáki Frigyes, Barki Kálmán, Ganszky Károly és *Ipsits Imre:* Ipari elektronika (Kovács K. Páltól) 425
H. v. Bertele: Industrielle Elektronik und Automation (Csáki Frigyestől) 426

INHALT

NEKROLOG

J. Liska 1883—1967 (von K. P. Kovács) 253

ERWEITERTE ABTEILUNGSSITZUNG DER ABTEILUNG DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN ABGEHALTEN AM 3. MAI 1967

G. Bognár: Bericht über die Tätigkeit in den Jahren 1964—1966 der Abteilung der Technischen Wissenschaften 255
Anhang zum Bericht des Abteilungssekretärs 258

Daten über die Organisation und Tätigkeit der Abteilung der Technischen Wissenschaften 287

Beiträge zum Bericht des Abteilungssekretärs:

J. Gruber 308
T. Vámos 308
T. Tarnóczy 310
L. Gillemot 311
Gy. Szigeti 314
Gy. Hevesi 314
J. Eisler 316
J. Szabó 316
K. Széchy 316
K. P. Kovács 318
O. Benedikt 319
T. Erdey-Grúz 320
R. Tarján 322
Gy. Striker 322

G. Bognár: Beantwortung der Beiträge 323

O. Benedikt: Die heimischen Ergebnisse und die Entwicklungstendenz der automations und technisch-kybernetischen Forschungen 325
Beitrag von *L. Kalmár* 339
Beitrag von *T. Frey* 342
Gy. Szigeti: Die heimischen halbleiterphysikalischen Grundforschungen 345
Beitrag von *E. Szabó* 364
Beitrag von *J. Lukács* 366
Beitrag von *I. Szép* 369
Beitrag von *J. Giber* 370
T. Millner: Die heimische Wolframforschung 373
J. Verő: Einwirkung von gelösten Legierungselementen auf die Fließgrenze des α-Eisens 385
L. Gillemot: Die heimischen Ergebnisse und die zukünftigen Aufgaben der technischen Mechanik im Rahmen der Wissenschaften für Maschinenbau und Hüttenwesen 399
Beitrag von *Á. Bosznay* 410
K. Széchy: Die heimischen Ergebnisse und die zukünftigeu Aufgaben der technischen Mechanik im Rahmen der Wissenschaften für Kultur- und Bauingenieurwesen ... 413
Beitrag von *J. Szabó* 420

BUCHBESPRECHUNG

F. Csáki, K. Barki, K. Ganszky und *I. Ipsits* Industrielle Elektronik (von K. P. Kovács) 425
H. v. Bertele: Industrielle Elektronik und Automation (von F. Csáki) 426

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója — Műszaki szerkesztő: Farkas Sándor

A kézirat a nyomdába érkezett: 1967. VI. 24. — Terjedelem: 15,25 (A/5) ív, 38 ábra

67.64030 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György

1967. IX. 30.

Index: 26.499