

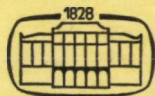
# MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

50

50. KÖTET  
1-2. SZÁM



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1975

MŰSZ. TUD.

# MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

BARTA ISTVÁN, BÖLCSKEI ELEMÉR, GESZTI P. OTTÓ,  
HELLER LÁSZLÓ

SZERKESZTŐSÉG: 1383 BUDAPEST, MÜNNICH FERENC UTCA 7.

KIADÓHIVATAL: 1363 BUDAPEST, ALKOTMÁNY UTCA 21.

A *Műszaki Tudomány* változó terjedelmű füzetekben jelenik meg. Négy füzet alkot egy kötetet.

A kéziratok a következő címre küldendők:

Magyar Tudományos Akadémia  
Műszaki Tudomány  
1383 Budapest, Münnich Ferenc utca 7.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

A közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttatja a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért vagy továbbításáért nem vállal.

A *Műszaki Tudomány* előfizetési ára kötetenként 60 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó 1363 (Budapest, Alkotmány utca 21. Pénzforgalmi jelzőszám 215—11488). külföldi megrendelések a „Kultúra” Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat 1389 (Budapest, Fő utca 32. Pénzforgalmi jelzőszám: 218—10990) útján eszközölhetők.

## TARTALOMJEGYZÉK

Olvasóinkhoz .....	1
--------------------	---

A MTA MRSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK A MAGYAR–SZOVJET TUDOMÁNYOS  
ÉS MŰSZAKI EGYÜTTMŰKÖDÉS 25 ÉVES ÉVFORDULÓJA ALKALMÁBÓL  
1974. SZEPTEMBER 19-ÉN TARTOTT TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

<i>Csáki Frigyes</i> : A magyar és a szovjet tudományos iskolák munkakapcsolatainak fejlesztése a szabályozás és információelmélet területén .....	3
<i>Sziforov, V. I.</i> : A szovjet–magyar együttműködés eredményei és távlatai az információelmélet és annak alkalmazása területén .....	21
<i>Csibi Sándor</i> : Eredmények az információelmélet és felismerési problémák közös kutatásában, valamint a szív- és érrendszeri vizsgálatok számítógépes módszereinek közös kidolgozásában .....	35
<i>Szendy Károly</i> : Mágneses hidrodinamikus generátor (MHD generátor) kifejlesztése .....	47
<i>Seindlin, A. E.</i> : Az energetika fejlődése a Szovjetunióban és általános fejlődési tendenciák a világban .....	65
<i>Litovcsenkó, V. G.</i> : A félvezető fizika újabb eredményei és azok ipari alkalmazása .....	79
<i>Bodó Zalán–Szigeti György</i> : Magyar–szovjet együttműködés a félvezetők kutatása területén .....	89

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA KÖZGYŰLÉSI OSZTÁLYULÉSÉNEK ELŐADÁSAI  
A MTA FENNÁLLÁSÁNAK 150 ÉVES JUBILEUMA ALKALMÁBÓL 1975. MÁJUS 8-ÁN

<i>Lévai András</i> : A műszaki tudományok szerepe és jelentősége a Magyar Tudományos Akadémia életében .....	101
<i>Bogárdi János</i> : Széchenyi szerepe a hazai műszaki fejlődésben .....	121
<i>Gillemot László</i> : Az alumíniumipar központi kutatási célprogramjának néhány kérdése .....	139
<i>Bognár Géza</i> : Digitális hírközlés .....	153
<i>Szabó János</i> : A komplex könnyűszerkezetes építési mód központi fejlesztési programjának tudományos feladatai .....	163

### TANULMÁNYOK

<i>Geszti P. Ottó</i> : Nagy villamos vezetékek problémái különös tekintettel a létesítendő hazai 750 kV-os vezetékre .....	179
<i>Palotás László</i> : A beton sajátfeszültségi állapota és a repedésérzékenység .....	203
<i>Zámbó János–Orbáné Kelemen Mária</i> : CaO és MgO vegyületeinek képződése a kalcitoldomított bauxitok feldolgozásakor Bayer eljárással .....	233
<i>Drahos István–Bancsik Zsolt</i> : A hengeres lefejtő marók gyártásgeometriai modellje és eljárások annak számítására .....	253

## INHALTSVERZEICHNIS

An unsere Leser .....	1
-----------------------	---

VORTÄGE AN DER WISSENSCHAFTLICHEN TAGUNG DER ABTEILUNG DER TECHNISCHEN  
WISSENSCHAFTEN, ABGEHALTEN AM 19. SEPTEMBER 1974, ANLÄSSLICH DER  
FÜNFUNDZWANZIGSTEN JAHRESWENDE DER UNGARISCH-SOWJETISCHEN WISSENSCHAFTLICHEN  
UND TECHNISCHEN KOOPERATION

<i>Csáki, Fr.</i> : Arbeitsbeziehungen zwischen den ungarischen und sowjetischen wissenschaftlichen Schulen auf dem Gebiet der Regelungs- und Informationstheorie .....	3
<i>Siforov, B. V. I.</i> : Die Ergebnisse und Perspektiven der sowjetisch-ungarischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Informationstheorie und ihrer Anwendung .....	21
<i>Csibi, S.</i> : Ergebnisse der gemeinsamen Erforschung von Problemen der Informationstheorie und der Erkennung, sowie in der Ausarbeitung von rechentechnischen Methoden für die Untersuchung des Herz- und Gefäßsystems .....	35
<i>Szendy, K.</i> : Entwicklung der Magnetohydrodynamischen (MHD) Generatoren .....	47
<i>Seindlin, A. E.</i> : Die Entwicklung der Energetik in der Sowjetunion und allgemeine Entwicklungstendenzen in der Welt .....	65
<i>Litowtschenko, V. G.</i> : Die neueren Ergebnisse der Halbleiterphysik und ihre industrielle Anwendung .....	79
<i>Bodó, Z.—Szigeti, Gy.</i> : Ungarisch-sowjetische Zusammenarbeit in der Halbleiterforschung .....	89

VORTRÄGE DER ABTEILUNGSVERSAMMLUNG DER ABTEILUNG DER TECHNISCHEN  
WISSENSCHAFTEN AM 8. MAI 1975, ANLÄSSLICH DES HUNDERTFÜNFZIGJÄHRIGEN  
JAHRESWENDE DER GRÜNDUNG DER UNGARISCHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

<i>Lévai, A.</i> : Die Rolle und Bedeutung der Abteilung der Technischen Wissenschaften im Leben der Ungarischen Akademie der Wissenschaften .....	101
<i>Bogárdi, J.</i> : Széchenyi's Rolle auf dem Gebiet der technischen Entwicklung in Ungarn .....	121
<i>Gillemot, L.</i> : Einige Probleme des zentralen Forschungs-Programms der Aluminiumindustrie .....	139
<i>Bognár, G.</i> : Digitale Nachrichtenübertragung .....	153
<i>Szabó, J.</i> : Wissenschaftliche Aufgaben in Zusammenhang mit dem zentralen Entwicklungsprogramm der komplexen Leichtbauweise .....	163

### ABHANDLUNGEN

<i>Geszti, P. O.</i> : Die Probleme der großen elektrischen Leitungen unter besonderer Berücksichtigung der zu errichtenden ungarischen 750 kV-Leitung .....	149
<i>Palotás, L.</i> : Der Eigenspannungszustand und die Reißempfindlichkeit des Betons .....	209
<i>Zámbó, J.—Mrs. M. Kelemen Orbán</i> : Bildung von CaO- und MgO-Verbindungen bei der Verarbeitung der kalzitisch-dolomitischen Bauxite nach dem Bayer-Verfahren .....	233
<i>Drahos, I.—Bancsik, Zs.</i> : Das herstellungsgeometrische Modell der zylindrischen Abwälzfräser und seine Berechnungsverfahren .....	253

## CONTENT

To our Redears .....	1
LECTURES GIVEN AT THE SCIENTIFIC MEETING OF THE DEPARTMENT OF TECHNICAL SCIENCES HELD ON THE OCCASION OF THE 150 <sup>th</sup> ANNIVERSARY OF THE HUNGARIAN AND SOVIET SCIENTIFIC AND TECHNICAL COOPERATION, ON SEPTEMBER 19, 1974	
<i>Csáki, Fr.</i> : Working Contacts between the Hungarian and Soviet Scientific Schools in the Field of Control and Information Theories .....	3
<i>Siforov, V. I.</i> : The Results and Perspectives of the Soviet—Hungarian Cooperation in the Field of Information Theory and its Application .....	21
<i>Csibi, S.</i> : Results of the Common Research on Problems of Information Theory and Recognition, and in the Elaboration of Computational Techniques for the Investigation of Cardiac and Vascular Disease .....	35
<i>Szendy, K.</i> : The Development of Magneto-Hydrodynamic (MHD) Generators .....	47
<i>Seindlin, A. E.</i> : The Development of Energetics in the Soviet Union and the General Tendencies of Development in the World .....	65
<i>Litovchenko, V. G.</i> : The Newer Results of Semiconductor Physics and their Industrial Application .....	79
<i>Bodó, Z.—Szigeti, Gy.</i> : Hungarian—Soviet Cooperation in Semiconductor Research .....	89
LECTURES HELD AT THE DEPARTMENT-MEETING OF THE GENERAL ASSEMBLY OF THE DEPARTMENT OF TECHNICAL SCIENCES ON THE OCCASION OF THE 150 <sup>th</sup> ANNIVERSARY OF THE FOUNDATION OF THE HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES, ON MAY 8, 1975	
<i>Lévai, A.</i> : Role and Significance of the Department of Engineering Sciences in the Life of the Hungarian Academy of Sciences .....	101
<i>Bogárdi, J.</i> : Role of I. Széchenyi in the Field of Technical Development in Hungary .....	121
<i>Gillemot, L.</i> : Some Questions of the Central Research Program of the Aluminium Industry .....	139
<i>Bognár, G.</i> : Digital Telecommunication .....	139
<i>Szabó, J.</i> : Scientific Problems in the Central Development Problem of the Complex Light-Weight-Structure Building Methods .....	153
PAPERS	
<i>Geszti, P. O.</i> : The Problems of Large Electrical Transmission Lines with Special Regard to the Future Hungarian 750 kV Line .....	163
<i>Palotás, L.</i> : State of Eigenstress and Crack Sensitivity of Concrete .....	179
<i>Zámbó, J.—Mrs. M. Kelemen, Orbán</i> : The Formation of CaO and MgO Compounds in the Treatment of Calcitic-Dolomitic Bauxites by the Bayer Method .....	209
<i>Drahos, I.—Bancsik, Zs.</i> : The Geometrical Model for the Production of Cylindrical Hobs and a Method for its Calculation .....	233

## СОДЕРЖАНИЕ

К нашим читателям .....	1
-------------------------	---

### НАУЧНАЯ СЕССИЯ 19 СЕНТЯБРЯ 1974. Г. ОТДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК АКАДЕМИИ НАУК ВЕНГРИИ ПО СЛУЧАЮ 25-ОЙ ГОДОВЩИНЫ ВЕНГЕРСКО-СОВЕТСКОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

<i>Ф. Чаки</i> : Развитие рабочих связей советской и венгерской научных школ в области регулирования и теории информации .....	3
<i>В. И. Сифоров</i> : Опыт и перспективы советско-венгерского сотрудничества в области теории информации и ее применения .....	21
<i>Ш. Чибби</i> : Достижения в области совместных исследований по теории информации и проблемам опознания, а также в области совместной разработке методов исследований сердечно-сосудистой системы с помощью вычислительной машины ...	35
<i>К. Сенди</i> : Разработка МГД генератора .....	47
<i>А. Е. Шейндлин</i> : Развитие энергетики в Советском Союзе и общие тенденции развития в мире .....	65
<i>В. Г. Литовченко</i> : Новые достижения техники полупроводников и их промышленное применение .....	79
<i>З. Бодо – Д. Сигети</i> ,: Советско-венгерское сотрудничество в области исследований по полупроводникам .....	89

### ДОКЛАДЫ СЕССИИ ОТДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК АКАДЕМИИ НАУК ВЕНГРИИ ПО СЛУЧАЮ 150-ЛЕТИЯ СОЗДАНИЯ АКАДЕМИИ НАУК ВЕНГРИИ (8-ГО МАЯ 1975 Г.)

<i>А. Леваи</i> : Роль и значение технических наук в жизни Академии наук Венгрии ....	101
<i>Я. Богарди</i> : Роль Сечени в венгерском техническом развитии .....	121
<i>Л. Жильмо</i> : Некоторые вопросы центральной исследовательской программы алюминиевой промышленности .....	139
<i>Г. Богнар</i> : Дигитальная связь .....	153
<i>Я. Сабо</i> : Научные задачи центральной программы развития комплексного метода строительства на легких конструкционных элементах .....	163

### РАБОТЫ

<i>П. О. Гести</i> : Проблемы мощных ЛЭП, уделяя при этом особое внимание на создаваемую в Венгрии 750 кВ ЛЭП .....	179
<i>Л. Палоташ</i> : Состояние собственных напряжений бетона и чувствительность его к трещинообразованию .....	209
<i>Я. Замбо, М. Келемен (Орбан)</i> : Образование соединений CaO и MgO при переработке кальцино-доломитовых бокситов методом Байера .....	233
<i>И. Драшош, + Ж. Банчик</i> : Модель геометрии изготовления цилиндрических обкаточных фрез и методы расчета этих фрез .....	253

## OLVASÓINKHOZ

Folyóiratunk 1. kötete a Magyar Tudományos Akadémia 125 éves fennállása alkalmából rendezett Ünnepi Hét keretében látott napvilágot. A mostani jubileumi kötet megjelenése a Magyar Tudományos Akadémia fennállásának 150., felszabadulásunk 30. és a magyar—szovjet műszaki tudományos együttműködés megszervezésének 25. évfordulójával esik egybe. Tartalma is e jubileumokhoz igazodik: hozza részben a Magyar Tudományos Akadémia alapításának 150., felszabadulásunk 30. évfordulója alkalmából a Műszaki Tudományok Osztálya által rendezett tudományos ülészek előadásainak anyagát, részben a magyar—szovjet tudományos műszaki együttműködés eredményeit összefoglaló jelentéseket.

A kezdetben (1.—40. kötet) *A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei* címmel megjelent, majd (a 41. kötettel kezdődően) a *Műszaki Tudomány* címet viselő folyóirat az elmúlt 25 év során jelentős tudománypolitikai hivatást töltött be.

Míg a múltban — e folyóirat megjelenése előtt — a magyar műszaki tudományok eredményeinek közzétételére csak gyér lehetőségek voltak, ma a helyzet merőben más. Most — a múlttal ellentétben — mód nyílik nagyobb terjedelmű, fokozottabb matematikai ismereteket igénylő, elvontabb tárgyú, a szakembereknek esetleg csak kisebb körét érdeklő tanulmányok közzétételére is. Így az Akadémia intézeteiben és egyéb tudományos munkahelyeken folyó kutatások eredményei magyar nyelven juthatnak el a szakemberek széles rétegeihez, ötleteket és ösztönzést adva a további kutatásokhoz. Mindez serkentőleg hat a hazai műszaki tudományos életre és tevőlegesen járul hozzá a műszaki tudományok fejlődéséhez.

Folyóiratunk kezdetben (1—36. kötet), a Műszaki Tudományok Osztályának akkori szervezetéhez igazodva, a szó szoros értelmében vett műszaki tudományokon kívül a geodézia, geológia, geofizika, geokémia és geobiológia tárgykörébe vágó tanulmányokat is közölt. Ez a helyzet a Magyar Tudományos Akadémia Föld és Bányászati Tudományok Osztályának felállításával megváltozott: ettől kezdve az említett Osztály illetékessége alá tartozó szaktudományok az újonnan létesített *Acta Geodetica et Geophysica* című lapban látnak

napvilágot. Viszont a 41. kötettel kezdődően folyóiratunk tárgyköre jelentősen kibővült. Jelenleg ebben a folyóiratban jelennek meg a közlekedés, a hidrológia és a vízgazdálkodás tudományterületébe vágó dolgozatok is, amelyeket azelőtt az 1957-ben alapított és 1959-ben megszűnt *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* című folyóirat (annak 1–12. kötete) közölt.

Folyóiratunk az alapítása óta eltelt 25 év során, összesen mintegy 750 ív terjedelemben, több mint 1400 tanulmányt publikált — köztük mintegy 30 általános helyzetképet és nagyszámú könyvbírálatot.

Célunk a jövőben is az, hogy rendszeresen közöljük a folyóirat tárgykörébe vágó színvonalas dolgozatokat, új műszaki eredményeket ismertető tanulmányokat, valamint a műszaki tudományok egyes szakterületeire vonatkozó helyzetképeket. Ebben a törekvésünkben biztosan számítunk eddigi munkatársainknak, valamint a feltörő fiatal kutató gárdának önzetlen segítségére.

Ennek a jubileumi kötetnek megjelenésekor nem mulaszthatjuk el, hogy a múltba visszatekintve, hálásan ne emlékezzünk meg e folyóirat megindítójáról és 1–21. köteteinek szerkesztőjéről, HEVESI Gyula akadémikusról. Ő, valamint a 22–39. kötetek szerkesztője, GELEJI Sándor akadémikus, sokat fáradozott azon, hogy e folyóirat a hazai műszaki tudományok méltó képviselője legyen. Az ő szellemükben igyekszünk e lapot — valamint a Műszaki Tudományok Osztálya gondozásában megjelenő *Acta Technica* és *Építés-Építészettudomány* című folyóiratot — szerkeszteni a jövőben is, nem tévesztve szem elől azt, hogy e folyóiratok kiadása nem csekély áldozatot követel a Magyar Tudományos Akadémiától. Ezért a támogatásért ezúton is hálás köszönetünket fejezzük ki.

Köszönettel tartozunk e folyóirat szerkesztő bizottságának BARTA István, BÖLCSKEI Elemér, GESZTI P. Ottó és HELLER László akadémikusoknak a szerkesztés munkájában való aktív közreműködésükért is, de különös köszönet illeti e folyóiratban megjelent tanulmányok tudós szerzőit és lektorait. Fáradságot nem ismerő, áldozatos tevékenységüknek köszönhető, hogy folyóiratunk egyre gazdagabb és értékesebb tartalommal kerülhet a szakkörök nyilvánossága elé.

Reméljük, hogy folyóiratunk továbbra is élvezni fogja a hazai tudós kutató gárda lelkes közreműködését és így, miként a múltban, az eljövendő években is híven szolgálhatja majd a magyar tudomány célkitűzéseit.

És reméljük, hogy folyóiratunk, a *Műszaki Tudomány*, a Magyar Tudományos Akadémia fennállásának, hazánk felszabadulásának és a magyar–szovjet műszaki tudományos együttműködésnek elkövetkező jubileumain egyre növekvő mértékben, egyre emelkedő színvonallal fogja szolgálni műszaki tudományunk minden ágának munkáját a végső cél, a több és főleg a jobb termelés érdekében.

Ebben a reményben bocsátjuk közre folyóiratunk mostani, 50. jubileumi kötetét.

Major Máté  
akadémikus  
a Műszaki Tudomány szerkesztője



# A MAGYAR ÉS A SZOVJET TUDOMÁNYOS ISKOLÁK MUNKAKAPCSOLATAINAK FEJLESZTÉSE A SZABÁLYOZÁS- ÉS INFORMÁCIÓELMÉLET TERÜLETÉN

CSÁKI FRIGYES\*  
AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

Az előadás a magyar—szovjet tudományos és műszaki együttműködési szerződés megkötésének 25-dik évfordulóján megemlékezik a közös erőfeszítésekről az irányítástechnika területén. A KGST-n belül együttműködnek az Egységes Számítógéprendszer és az INTERKOZMOSZ program megvalósításán. Több hazai intézmény (BME, TÁKI, SZTAKI) alakított ki jó kapcsolatot szovjet partnerével. 3 éve közös szovjet—magyar automatizálási folyóirat jelenik meg. — Az orosz és szovjet kutatók jelentős matematikai eredményeket értek el, melyek sokban hozzájárultak a szabályozáselmélet fejlődéséhez. Így LJAPUNOV, MIHAJLOV majd később MEJEROV a stabilitásvizsgálatok, SZOLODOLNYIKOV a numerikus transzformációk, PETROV az adaptív rendszerek, PONTRJAGIN, FELDBAUM és CIPKIN az optimális irányítások terén alkottak maradandót. — A tudományos technikai forradalom idején a korszerű automatizálás elsajátításához és ipari bevezetéséhez a Szovjetunióval való együttműködés nagy segítséget jelent.

## 1. Bevezetés

A dolgoz hétköznapiok után egy-egy ünnep következik, amelyen visszatekintünk az eddig megtett útra hogy erőt merítsünk az újabb és még nagyobb szabású feladatok megoldásához.

A magyar—szovjet tudományos és műszaki együttműködési szerződés megkötésének huszonöt éves évfordulója csaknem egybeesik más fontos jubileumokkal. Rövidesen megünnepeljük hazánk felszabadulásának harminc éves évfordulóját, és nemsokára megemlékezünk a Magyar Tudományos Akadémia megalakulásának százötven éves évfordulójáról, míg a Szovjetunió Tudományos Akadémiája kétszázötven éves fennállását ünnepli.

## 2. Az együttműködés jelentősége

Nagyon nehéz, még egy szűk szakterületre is szorítkozva, elmondani milyen sokat jelentett és jelent számunkra a szocialista országokkal és különösképpen a Szovjetunióval a műszaki-tudományos együttműködés.

\* Prof. Dr. Csáki Frigyes, 1052 Budapest, Váci u. 8.

Korunkat joggal nevezzük a tudományos-technikai forradalom korának, amikor új jelentős tudományágak alakulnak ki, a tudományos felfedezések viszonylag rövid idő alatt átmennek a gyakorlatba és korszerű termelési eljárásoknak elengedhetetlen alapját képezik.

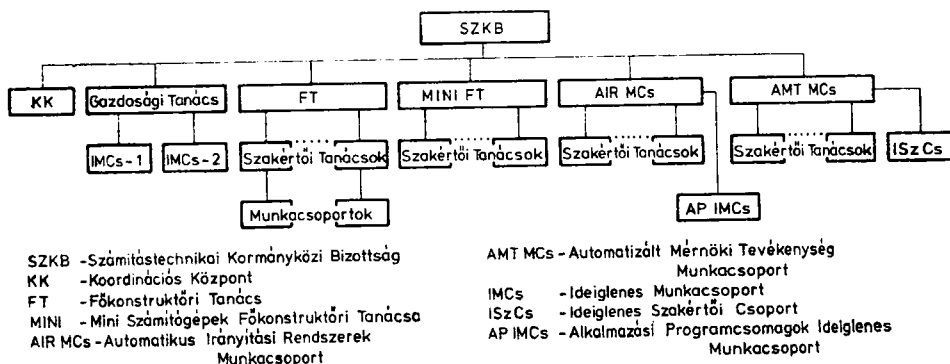
Az Automatika (a szabályozás- és a vezérléstechnika), a mérés-technika, az információ átvitel és feldolgozás, a számítástechnika lényeges részét képezik a tudományos technikai forradalomnak. Bár egyes megoldásaikkal szórványosan már korábban is találkozhattunk, az említett tudományágak és technikai megvalósulásaik éppen az utóbbi negyedszázadban fejlődtek ki és indultak meg rohamos virágzásnak. Az elektroncsövek után a tranzistorok és a tirisztorok, majd az integrált áramkörök használatbavételével kialakult forradalmi változásokat a szocialista országokkal és főként a Szovjetunióval kialakult hathatós műszaki-tudományos együttműködés nélkül lehetetlen lett volna még csak nyomon követni is. Éppen a műszaki-tudományos együttműködés eredményei járultak hozzá ahhoz, hogy hazánk műszaki és tudományos közéletében nemcsak passzív szemlélője, hanem aktív résztvevője is lehet többek között az automatika, az informatika, a számítástechnika terén létrejött forradalmi változásoknak.

### 3. A sokoldalú szocialista együttműködés néhány eredménye

A szocialista országok joggal lehetnek büszkék rá, hogy a műszaki-tudományos együttműködés eredményeképpen sikerült kialakítani egy korszerű egységes számítógép rendszert, az ESzR-t. Az R-10-től az R-60-ig terjedő gépcsalád megtervezésében, kialakításában, megvalósításában és sorozatgyártásában a Szovjetunió, Lengyelország, az NDK, a Bolgár Népköztársaság és a Magyar Népköztársaság szakemberei vettek és vesznek részt. A továbbfejlesztést és az alkalmazásbavételt számos tanács és munkacsoport segíti elő a Számítástechnikai Kormányközi Bizottság keretében (Erről tájékoztat az 1. ábra).

Korunkat joggal tekinthetjük az űrkutatás és az űrhajózás korszakának is. Ebben a Szovjetunió és az Egyesült Államok játszik vezetőszerepet. Az INTERKOZMOSZ révén azonban egyes kutatási feladatok végrehajtásában a szocialista országok tudósai is szerephez jutottak. Az INTERKOZMOSZ vezetője B. N. PETROV akadémikus. Tevékenységéről még a későbbiekben egyéb vonatkozásokban is megemlékezünk.

A KGST országok az integrációs program keretében az együttműködés több újabb formáját alkalmazzák. Ilyen jelentős vállalkozások a nemzetközi gazdasági egyesülések. Például az INTERATOMINSTRUMENT feladata tudományos, kutató, kísérleti, tervezési nukleáris-technikai tevékenység. Bulgária, Magyarország, az NDK, a Szovjetunió és Csehszlovákia részvételével



1. ábra

alakult meg. Az INTERETALONPRIBOR szakértői speciális mérőeszközöket, etalonokat közvetítenek a szocialista országok kutató- és tervezőintézeteinek.

A Magyar Népköztársaság és a Szovjetunió szakemberei szorosan együttműködnek a nemzetközi tudományos szervezetek keretében is. A teljességre való törekvés nélkül megemlítjük a Nemzetközi Automatika Szövetség, az IFAC; a Nemzetközi Méréstechnikai Kongresszus, az IMEKO; a Nemzetközi Információ Feldolgozási Szövetség, az IFIP tevékenységét, továbbá az Ausztriai Laxenburgi Nemzetközi Rendszerelméleti Intézet tevékenységét.

#### 4. A kétoldalú műszaki-tudományos együttműködés néhány eredménye

A kétoldalú műszaki-tudományos együttműködés magyar részről a legszorosabban a Szovjetunióval alakult ki. Csupán néhány olyan fontosabb eredményt emelünk ki, amelyeknek automatizálási, híradástechnikai, mérés-technikai vonatkozásai is vannak.

A Távközlési Kutató Intézet a moszkvai NIIR Intézettel együttműködve kifejlesztette a Druzba mikrohullámú láncot, amely két kontinentst fog át. A lánc nyolc szélessávú csatornáján egyenként 1920 telefonvonal fut, fekete-fehér és színes televíziós jelek, távgépíró és képtávíró jelek átvitelére alkalmas. A fejlesztési munkákban magyar részről jelentős szerepe volt Bognár Géza akadémikusnak és munkatársainak.

Hasonlóképpen örömmel és büszkén említjük meg, hogy a szocialista országokat ellátó szovjet olajvezetékek automatikáinak kifejlesztésében és leszállításában magyar közreműködés valósult meg. Számos automatizált konzervipari berendezést is szállítottunk.

A járműiparban közreműködünk a „Zsiguli” gépkocsik gyártásában műszerfalak, autórádiók nagysorozatú szállításával.

A Dunai Vasmű, a Dunamenti Erőmű tervezésében és berendezéseinek szállításában a Szovjetunió nagy súllyal vett részt. Mindkét létesítményben jelentős az automatikák szerepe. Hasonlóképpen megemlíthető a Tiszai Vegyikombinát, az Almásfüzitői Timföldgyár, az Ajkai Alumíniumkohó, a Dunai Kőolajipari Vállalat is.

Az Országos Vízügyi Hivatal a szovjet testvérintézzettel szorosan együttműködve automatizált öntözőrendszereket fejleszt ki a számítástechnika hathatós felhasználásával.

Az Egyesült Izzó szovjet közreműködéssel valósította meg a teljesen automatikus izzólámpa-gyártó gépsort. A metrőépítésben és a vonalautomatikákban szovjet tapasztalatokat hasznosítottunk. Szólni kell a fekete-fehér és a színes televíziós adóállomások kifejlesztéséről, a nagyteljesítményű rádió adókról, a mesterséges holdakat követő földi állomások felállításáról is.

### 5. Együttműködés a kutatásban

A szovjet—magyar műszaki-tudományos együttműködés hozzájárult a magyar kutatóintézeti hálózat kifejlődéséhez. A szovjet és a magyar testvérintézmények számos témában folytatnak közös kutatásokat. Így a szovjet IPU (Insztitut Problem Upravlenia) és elődje az IAT (Insztitut Avtomatiki i Telemechaniki) és a magyar SZTAKI (Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet) illetve elődje az AKI között alakult ki több éves kapcsolat. Az IPU igazgatója Vagyim Alekszandroviics TRAPEZNYIKOV akadémikus a MTA VI. Műszaki Osztályának tiszteletbeli tagja.

Az IPPU (Insztitut Problem Peredacsi Informacii) és a TÁKI (Távközlési Kutató Intézet) között különösen szoros kapcsolat alakult ki. Ezt mutatja a körülmény is, hogy a két intézmény évenként rendez közös szemináriumot felváltva Moszkvában és Budapesten. Vlagyimir Ivanovics SZIFOROV akadémikus az IPPU igazgatója az MTA VI. Műszaki Osztályának tiszteletbeli tagja.

A Szovjetunió Tudományos Akadémiájának elnöke, Msztyiszlav Vszevolodovics KELDIS akadémikus, az MTA VI. Műszaki Osztályának tiszteletbeli tagja, néhány évvel ezelőtt meglátogatta hazánk tudományos intézményeit. Ekkor vetette fel ERDEY-GRUZ Tibor akadémikus, a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának külső tagja, hogy a szovjet—magyar tudományos együttműködést célszerű lenne közös folyóiratok kiadásával még szorosabbra fűzni. Azóta három közös folyóirat indult meg. Elsőként a PUTI (Problem Upravlenia u Teorii Informacii)- PCIT (Problems of Control and Information Theory) elnevezésű orosz és angol nyelvű folyóirat, amelynek szovjet főszerkesztője Borisz Nyikolajevics PETROV akadémikus, az MTA VI. Műszaki Osztályának tiszteletbeli tagja. Az évenként négy számban megjelenő folyóirat (amelynek belső címlapját a 2. ábra mutatja) immár negyedik évfolyamába lép. Mellék-

letként könyvalakban kiadta a Tszahkadzori 2. Nemzetközi Információelméleti Szimpozium előadásait is. Az évenként kétszer felváltva Moszkvában és Budapesten rendszeresen megtartott szerkesztőbizottsági ülések jó alkalmat szolgáltatnak a beérkezett cikkek megvitatása kapcsán aktuális tudományos kérdések megbeszélésére.

A sokrétű tudományos kapcsolatok közül itt csupán még arról szeretnénk megemlékezni, hogy a Szovjetunió Tudományos Akadémiája által rendezett konferenciákon, szimpoziumokon számos magyar kutató vett részt előadásokkal, míg a Magyar Tudományos Akadémia által szervezett tudományos rendezvényeken (például legutóbb az Ötödik Mikrohullámú Kollokviumon vagy a jelen ülészakon) számos jeles szovjet tudóst üdvözölhettünk.

Itt említjük meg, hogy a szovjet kutatók munkásságát megjelent könyvek és cikkeik alapján jól ismerjük hazánkban is. Több szovjet munkát szakterületünkön is lefordítottunk magyarra. A hazai kutatók idegennyelvű publikációit viszont a Szovjetunióban is ismerik. Néhány munkát oroszra is lefordítottak.

## 6. Együtműködés az oktatásban

A magyar—szovjet műszaki-tudományos egyezmény alapján nagymennyiségű és magas színvonalú tudományos és műszaki ismeret áramlik hazánkba, amelyet csak kisebb mértékben tudunk viszonzni. A dokumentációk átadásán kívül azonban jelentős a hozzájárulás a szakemberek kiképzésében is. A szovjet egyetemeken és főiskolákon nagy számú magyar diák tanult többek között az automatika, az informatika, a számítástechnika terén is. Sokszor olyan speciális képzésre is lehetőség nyílt, amelyet mi magunk csak igen nehezen vagy egyáltalán nem tudtunk volna megvalósítani. A szakmai nyelvi ismeretek megszerzése is figyelemre méltó, hiszen a további műszaki-tudományos együttműködés lehetőségét segíti elő.

A szovjet és a magyar egyetemek kapcsolatát számos szocialista együttműködési szerződés megkötése bizonyítja. Különösen kiemeljük a Moszkvai Energetikai Egyetem (Moszkovszkij Energeticseszkiy Insztitut, MEI) és a Budapesti Műszaki Egyetem több mint egy évtizedes szoros kapcsolatát. Ez nemcsak az oktatási és nevelési tapasztalatok kicserélését segíti elő, hanem a kölcsönös látogatások során kialakult szakmánként a személyi kapcsolat is, amely a tudományos együttműködést nagymértékben elősegíti. A magyar oktatók rendszeresen résztvesznek a Moszkvában rendezett tudományos ülésszakokon, míg a szovjet oktatók a budapesti tudományos konferenciákon tartanak előadásokat.

Kialakult és egyre rendszeresebbé válik a diplomatervező hallgatók vezetése is. Megindult a vendégoktatók cseréje is.

Itt emlékezünk meg arról, hogy a mérnökök kiképzésén kívül a szovjet oktatók és kutatók jelentős szerepet vállaltak a magyar aspiránsok képzésében is. Már doktorantúrára is küldhetünk jelölteket. Néhány szovjet aspiráns képzése hazánkban folyik.

## 7. Szovjet kutatók hozzájárulása a szabályozásméletek fejlődéséhez

A szabályozástechnika — és alapja a szabályozásméletek — csak néhány évtizedes múltira tekinthet vissza, de ezalatt hatalmas fejlődést ért el, és ma is egyike a leggyorsabban változó tudományágaknak. Ebben a gyors fejlődésben igen jelentős szerepet tölthettek be a szovjet kutatók. Napjaink központi témája például az optimális irányítás, ebben döntő szerepet játszik PONTRJAGIN akadémikus (az MTA III. Osztályának tiszteletbeli tagja) és munkatársai által kidolgozott maximum-elv. A szovjet kutatók munkásságának egy része visszanyúlik orosz kutatási eredményekre. Példa erre a nemlineáris rendszerek stabilitásvizsgálatára szolgáló, LJAPUNOV orosz akadémikus által (1892-ben) kidolgozott módszer, amelyet szovjet kutatók jelentősen továbbfejlesztettek.

Egy rövid előadás keretében lehetetlen még csak vázlatos képet is adni a szovjet kutatók eredményeiről, ezért itt csak arra vállalkozhatunk, hogy mozaikszerűen néhány fontosabb módszert mutassunk be.

### 7.1 Néhány eredmény a lineáris rendszerekre vonatkozólag

Az állandó, koncentrált paraméterű lineáris rendszerek egyik legfontosabb problémaköre a stabilitás. MIHAJLOV 1938-ban a következő stabilitási kritériumot adta meg: A

$$K(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s + a_n; \quad (a_0 > 0)$$

karakterisztikus polinomban  $s = j\omega$  értéket helyettesítve és az  $\omega$  körfrekvenciát  $0 \leq \omega < \infty$  határok között változtatva a rendszer akkor és csak akkor stabilis, ha  $K(j\omega)$  helygörbe a komplex számsíkban éppen a síknegyeden halad keresztül (éppen  $n$  síknegyeden keresztül veszi körül az origót). Ha bizonyos  $\omega_k$  körfrekvenciára  $K(j\omega_k) = 0$ , akkor ezzel a körfrekvenciával fennmaradó lengés keletkezik a rendszerben.

Egy másik fontos stabilitásvizsgáló módszer a  $D$ -szétválasztás, amellyel nemcsak a stabilitás dönthető el, hanem valamilyen paraméter, rendszerint a hurokerősítés, megengedhető tartománya is megállapítható.

Ez a módszer NEUMARK-tól származik és MEJEROV terjesztette el. Jelölje  $D(\mu, \nu)$  az együtthatóknak vagy a rendszerparamétereknek olyan halmazát, amelyhez az  $n$ -ed fokú karakterisztikus egyenletnek  $\mu$  számú negatív valósrésztű,  $\nu$  számú zérus valósrésztű és  $\nu$  számú pozitív valósrésztű gyöke

tartozik ( $\mu + \iota + \nu = n$ ). A stabilitás eldöntéséhez meg kell állapítani, létezik-e  $D(n, 0, 0)$  halmaz, és ha igen, melyik az, vagyis milyen együtttható, illetve paraméter-tartományokhoz rendelhető hozzá.

A stabilitásvizsgálat csak akkor egyszerű, ha egyetlen együtttható vagy  $P$  paraméter változhat szabadon. Ilyenkor a

$$K(s) = 0$$

karakterisztikus egyenletet

$$Q(s) + PR(s) = 0$$

vagy

$$P = -\frac{Q(s)}{R(s)}$$

alakban írjuk fel. Bár a  $P$  paraméter általában csak valós lehet, megengedjük, hogy komplex értékeket is felvegyen. Az  $s = j\omega$  helyettesítéssel:

$$P(j\omega) = -\frac{Q(j\omega)}{R(j\omega)}$$

Miközben a körfrekvencia  $-\infty < \omega < \infty$  határok között változik, lényegében az  $s$  komplex sík imaginárius tengelyét a  $P(s)$  komplex sík  $P(j\omega)$  görbéjére képezzük le konform módon. Mivel a növekvő  $\omega$  irányában befutva az imaginárius tengelyt, a baloldali  $s$  félsík a tengelytől baloldalra esik, ezért a  $P(j\omega)$  görbének is a baloldala, mégpedig a  $P(j\omega)$  görbe által képzett legbelső bal oldali tartományai tarthatnak egyáltalában igényt a  $D(n, 0, 0)$  halmaz címére. Hogy a mondott tartományok valóban a  $P$  paraméternek stabilitást biztosító értékeit határozzák-e meg, vagy pedig csak a legnagyobb  $\mu$  bal oldali gyök-számot biztosító  $D(\mu, \iota, \nu)$  halmazzal van dolgunk, az egy-egy alkalmasan felvett  $P$  érték és egyéb vizsgálatok alapján eldönthető.

A  $P(j\omega)$  görbe által körülfogott stabilitási tartományból a  $P$  paraméter megengedhető legnagyobb és legkisebb értéke is kiderül.

MEJEROV 1947-ben többhurkos rendszerek strukturális stabilitását vizsgálta. Megállapította például, hogy  $K_i/(1 + sT_i)$ ; ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) átviteli függvényű egytárolós tagokból álló mereven visszacsatolt rendszerben  $sT/(1 + sT)$  átviteli függvényű stabilizáló taggal legfeljebb két egytárolós tag közbenső visszacsatolása valósítható meg, ha az illető két tag eredő átviteli tényezője tetszőlegesen növelendő. A stabilitás biztosításához természetesen még egyéb feltételeknek is teljesülniök kell. MEJEROV több rendszert részletesen megvizsgált, és megadta a stabilitási feltételeket. Ezek magyarra is lefordított könyvében megtalálhatók.

CIPKIN és BROMBERG 1945-ben a „stabilitás foka” fogalmát vezették be. A Routh–Hurwitz stabilitási kritérium alapján megállapították, mi a fel-

tétele annak, hogy a  $K(s) = 0$  karakterisztikus egyenlet bal oldali gyökei közül egyik se közelítse meg az imaginárius tengelyt  $\delta$  értéknél jobban. Ez azt jelenti, hogy az átmeneti folyamat leglassabban csillapódó összetevője is legalább úgy tart zérushoz, mint  $e^{-\delta t}$ , más szóval a rendszer legnagyobb időállandója is kisebb mint,  $T = 1/\delta$ .

Az előbbi problémakör már a lineáris rendszerek minőségvizsgálatához vezet át. Ezzel kapcsolatban nagy jelentőségű SZOLODOVNYIKOV (1945, 1948-ban megjelent cikkeiben megadott) trapéz szabálya, amellyel az átmeneti függvény kiszámítható a frekvencia függvényből. Közelítsük a  $W(j\omega)$  frekvencia jelleggörbe  $\operatorname{Re} W(j\omega)$  valós részét trapézokkal. Legyen az  $i$ -edik trapézközelítés egyenlete

$$\operatorname{Re} W(j\omega) = \lambda_i; \quad 0 \leq \omega \leq \omega_i - \Delta_i,$$

$$\operatorname{Re} W(j\omega) = \lambda_i \left[ 1 - \frac{\omega - \omega_i + \Delta_i}{2\Delta_i} \right], \quad \omega_i - \Delta_i \leq \omega \leq \omega_i + \Delta_i.$$

Ekkor az átmeneti függvény  $i$ -edik összetevője

$$v_i(t) = \frac{2}{\pi} \lambda_i \left\{ \operatorname{Si}(\kappa t) + \frac{1}{1 - \kappa} \left[ \operatorname{Si}(t) - \operatorname{Si}(\kappa t) + \frac{\cos t - \cos \kappa t}{t} \right] \right\}$$

alakban fejezhető ki, ahol  $\omega_i + \Delta_i = 1$  vételével  $\kappa = (\omega_i - \Delta_i) / (\omega_i + \Delta_i) = \omega_i - \Delta_i$  továbbá  $\operatorname{Si}(\kappa t)$  az úgynevezett integrálsinus-függvény:

$$\operatorname{Si}(\kappa t) = \int_0^{\kappa} \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega.$$

VORONOV (1952) trapézközelítés helyett háromszögzöközítést használ, ilyenkor  $\kappa = 0$ , és az átmeneti függvény  $i$ -edik összetevője

$$v_i(t) = \frac{2}{\pi} \lambda_i \left[ \operatorname{Si}(t) - \frac{1 - \cos t}{t} \right].$$

A minőségvizsgálatot és az optimalizálást sokszor

$$I = \int_0^{\infty} F[x(t), t] dt = \operatorname{Min}.$$

alakú integrálkritériumok alapján végzik el. HARKEVICS, FELDBAUM, KRASZOV-SZKIJ idővel súlyozott lineáris és általános kvadratikus integrálkritériumokat javasoltak. Az integrál kritériumokra alapozva LETOV ért el figyelemreméltó eredményeket a szabályozók analitikus tervezése terén.

Újabban fontos szerepet töltenek be a szabályozástechnikában a szakaszos működésű mintavételező és digitális rendszerek. Ebben a vonatkozásban különösen CIPKIN munkássága számottevő, aki a  $z$ -transzformációhoz hasonló transzformáció bevezetését javasolta, és számos figyelemreméltó eredményt ér el.



A statisztikus vizsgálati és méretezési módszerek is egyre inkább előretörnek. A nagyszámú szovjet kutató közül SZOLODOVNYIKOV, PUGACSOV, KAZAKOV munkásságát emelhetjük ki. (PUGACSOV akadémikus egyébként a PUTI közös folyóirat főszerkesztőhelyettese.) RAIBMAN a statisztikus identifikációban ért el figyelemreméltó eredményeket.

Külön szovjet iskola keletkezett az úgynevezett invariancia elv kidolgozására. Ez a módszer azt vizsgálja, hogyan küszöbölhetők ki teljesen bizonyos zavarok a szabályozási körökből. KULEBAKIN akadémikus, PETROV akadémikus, KUHTYENKO és CSONAJEV munkáit emelhetjük ki.

A változó paraméterű rendszerekkel kapcsolatban SZOLODOV neve említendő, míg a megosztott paraméterű rendszerekkel kapcsolatban BUTKOVSZKI, EGOROV végeztek úttörő munkásságot.

### 7.2 Néhány eredmény a Ljapunov-féle stabilitásvizsgálati módszerrel kapcsolatban

A szabályozási rendszerek legfontosabb problémája a stabilitás. A nemlineáris rendszerekre LJAPUNOV orosz akadémikusnak még a múlt század végén kifejlesztett módszere alkalmazható.

A Ljapunov-féle módszer egy például pozitív definit Ljapunov függvény megkonstruálásával és a derivált függvény negatív definit, illetve negatív szemi-definit volta alapján ítéli meg a rendszer stabilitását, illetve aszimptotikus stabilitását.

*Stabilitási tétel:* Ha a vektor-differenciálegyenlet formájában felírt

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}), \quad \mathbf{f} = (f_1, \dots, f_n)^T, \quad \mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)^T$$

$$(\mathbf{f} = \mathbf{x}, \text{ midőn } \mathbf{x} = \mathbf{x})$$

$n$ -ed rendű nemlineáris rendszer számára úgy választható meg egy  $V = V(\mathbf{x})$  folytonos és deriválható definit függvény, hogy idő szerinti deriváltja

$$W(\mathbf{x}) = \frac{dV(\mathbf{x})}{dt} = \dot{V}(\mathbf{x}) = (\nabla_{\mathbf{x}}V)^T \dot{\mathbf{x}} = (\nabla_{\mathbf{x}}V)^T \mathbf{f},$$

ahol

$$\nabla_{\mathbf{x}} = \left( \frac{\partial}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial}{\partial x_n} \right)^T$$

ugyancsak definit, de ellenkező előjelű, akkor a rendszer aszimptotikusan stabilis a kezdőpont körüli kis tartományban. Ha a  $W(\mathbf{x})$  függvény csak szemi-definit, akkor a rendszer stabilis, de nem aszimptotikusan stabilis. (Azonban, — mint azt BARBASIN és KRASZOVSZKIJ kimutatta — ha  $W(\mathbf{x})$  szemidefinit

és  $\dot{V}(\mathbf{x}) = 0$  nem traktóriája az  $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x})$  differenciálegyenletnek, akkor a megoldás aszimptotikusan stabilis.) Globális stabilitás, illetve aszimptotikus stabilitás azt jelenti, hogy a feltételek az egész fázistérben teljesülnek.

*Labilitási tétel;* Ha az  $n$ -ed rendű nemlineáris rendszer számára megválasztható egy  $V(\mathbf{x})$  Ljapunov függvény, amely folytonos és amelynek  $W(\mathbf{x})$  idő szerinti deriváltja negatív definit, akkor

- a) a rendszer labilis abban a véges tartományban, amelyben  $V(\mathbf{x})$  nem pozitív szemidefinit,
- b) az idő növekedésével a rendszer kitérése minden határon túl nő, ha  $V(\mathbf{x})$  globálisan nem pozitív szemidefinit.

A módszernek számos változata ismeretes a kicsiben és a nagyban való stabilitás megítélésére. A legnagyobb problémát éppen a Ljapunov-függvények megkonstruálása jelenti. Ezen a téren autonóm rendszerekre vonatkozólag több eljárás is ismeretes. Viszonylag kevés tétel vonatkozik a nem autonóm rendszerekre. A Ljapunov-féle módszer irodalma igen kiterjedt. Néhány kiemelkedő nevet említenék meg a Ljapunov módszerrel kapcsolatban: AJZERMAN, BARBASIN, CSETAJEV, DUBOSIN, JERUGIN, KRASZOVSKIJ, LETOV, LURJE, MALKIN, MOJSZEJEV, NEMICKIJ, PERSZIDSZKIJ, RAZUMICHIN, RUMJANCEV, ZUBOV.

Lineáris autonóm rendszerekre mikor  $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x}$  a Ljapunov függvény megválasztása viszonylag egyszerű. Ilyenkor Ljapunov-függvényként a

$$V(\mathbf{x}) = \mathbf{x}^T \mathbf{P} \mathbf{x}$$

pozitív definit kvadratikus alakot választjuk, ahol  $\mathbf{P}$  pozitív definit szimmetrikus mátrix.  $V(\mathbf{x})$  deriváltja

$$W(\mathbf{x}) = -\mathbf{x}^T \mathbf{Q} \mathbf{x}$$

alakra hozható, ahol

$$-\mathbf{Q} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} + \mathbf{P} \mathbf{A}$$

$W(\mathbf{x})$  negatív definit, ha, és csak ha  $\mathbf{Q}$  pozitív definit szimmetrikus mátrix.

Nemlineáris  $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x})$  rendszerekre talán a legáltalánosabb tétel KRASZOVSKIJ tétele. Ilyenkor Ljapunov-függvényként a

$$V(\mathbf{f}) = \mathbf{f}^T \mathbf{B} \mathbf{f}$$

pozitív definit kvadratikus alakot választjuk, utóbbi deriváltja a

$$W(\mathbf{f}) = -\mathbf{f}^T \mathbf{C} \mathbf{f}$$

kvadratikus alak, ahol

$$-\mathbf{C} = \mathbf{J}^T \mathbf{B} + \mathbf{B} \mathbf{J},$$

továbbá  $J = f(\nabla_{\mathbf{x}})^T$  a Jacobi-féle mátrix. Itt

$$(\nabla_{\mathbf{x}})^T = \left( \frac{\partial}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial}{\partial x_n} \right).$$

A  $W(f)$  kvadratikus alak akkor, és csak akkor negatív definit, ha  $C$  pozitív definit mátrix.

Sokszor használható AJZERMAN módszere. Ha a nemlineáris rendszer differenciálegyenlete

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{g}(\mathbf{x})$$

és található egy  $K$  mátrix, amelyre

$$\mathbf{g}(\mathbf{x}) \preceq K\mathbf{x}$$

minden egyes összetevőre, akkor a

$$\dot{\mathbf{x}} = (\mathbf{A} + K)\mathbf{x}$$

lineáris rendszert vizsgálhatjuk, a lineáris autonóm rendszerekre már bemutatott módszerrel.

A nemlineáris rendszerek stabilitásvizsgálatában fontos szerepet játszik a Lurje-féle első kanonikus alak. Az

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{h}\mathbf{g}(\sigma),$$

$$\sigma = \mathbf{c}^T \mathbf{x}$$

alakú rendszer egyenleteket az

$$\mathbf{x} = \mathbf{L}\mathbf{z}$$

koordináta-transzformációval egyszeres sajátértékek esetén

$$\dot{\mathbf{z}} = \mathbf{S}\mathbf{z} + \mathbf{u}\mathbf{g}(\sigma),$$

$$\sigma = \boldsymbol{\alpha}^T \mathbf{z}$$

első kanonikus alakra hozhatjuk. Itt  $L$  transzformációs mátrix úgy választandó meg, hogy egyrészt

$$\mathbf{L}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{L} = \mathbf{S} = \text{diag} [s_1, s_2, \dots, s_n],$$

másrészt

$$\mathbf{L}^{-1}\mathbf{b} = \mathbf{u}; \quad \mathbf{u} = (1, 1, \dots, 1)^T$$

legyen, ahol  $s_1, s_2, \dots, s_n$  az  $|\mathbf{A} - s\mathbf{I}| = 0$  karakterisztikus egyenlet egyszeres, zérustól különböző gyökei.

Végül

$$\alpha^T = c^T L.$$

Ilyenkor a Ljapunov-függvény (egy tetszőlegesen kicsinnyé tehető tag elhanyagolásával)

$$V = z^T P z$$

alakban választható meg, ahol a  $P$  mátrix  $p_{ik}$  eleme

$$p_{ik} = \frac{a_i a_k}{s_i + s_j}.$$

Itt  $a_i, a_k$ , ( $i, k = 1, 2, \dots, n$ ) egyelőre meg nem határozott együtthatók. A Ljapunov-függvény deriváltja a kanonikus alak figyelembevételével

$$\dot{V} = z^T (S^T P + P S) z - \sigma g(\sigma) + [\alpha^T z + 2u^T P z] g(\sigma)$$

alakra hozható. Hogy  $\dot{V}$  negatív definit legyen  $g(\sigma)$  szögletes zárójelben álló szorzótényezőjének zérusnak kell lennie. Ebből

$$\alpha_i - 2a_i \sum_{k=1}^n \frac{a_k}{s_i + s_k} = 0; \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

kvadratikus egyenletrendszer nyerünk. A globális aszimptotikus stabilitás elégséges feltétele, hogy valós (komplex)  $s_i$  gyökökhöz tartozó  $a_i$  megoldások is valóságos (komplexek) legyenek. LURJE és LETOV az előzőhöz hasonló több más, úgynevezett másodlagos stabilitási kritériumot is levezetett.

### 7.3 Optimális irányításra vonatkozó eredmények

Az optimális irányításban különösen FELDBAUM, PONTRJAGIN és munkatársai BOLTYANSZKIJ, GAMKRELIDZE, MISENKO végeztek úttörő munkásságot.

Messze vezetne ennek kissé részletesebb tárgyalása is, ezért csak arra szorítkozunk, hogy rámutassunk a Pontrjagin-féle maximumelv megfogalmazásának és a mechanika Hamilton-féle egyenleteinek hasonlóságára.

Legyen a rendszer  $(n + 1)$ -ed rendű differenciálegyenlete:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, u),$$

ahol  $f$  és  $x$   $(n + 1)$  összetevőjű,  $u$   $r$ -összetevőjű oszlopvektor.

Alkossuk meg a  $H$  Hamilton függvényt:

$$H(p, x, u) = p^T f(x, u),$$

ahol

$$\frac{dx}{dt} = \nabla_p H; \quad \nabla_p = \left( \frac{\partial}{\partial p_0}, \dots, \frac{\partial}{\partial p_n} \right)^T,$$

$$\frac{dp}{dt} = -\nabla_x H; \quad \nabla_x = \left( \frac{\partial}{\partial x_0}, \dots, \frac{\partial}{\partial x_n} \right)^T,$$

ahol  $T$  a transzponálásra utal.

Legyen  $u(t)$ ,  $0 \leq t \leq T$  egy megengedhető irányító vektor, amely biztosítja, hogy az  $x(t)$  trajektória az  $x(0)$  pontból az  $x(t)$  pontba jut el. Hogy  $u(t)$  és  $x(t)$  optimális legyen, annak szükséges feltétele, hogy létezzék egy zérustól különböző folytonos  $(n+1)$  összetevőjű  $p(t)$  vektorfüggvény, amely  $u(t)$  és  $x(t)$  függvénye és

1° minden  $t$  időpontra ( $0 \leq t \leq T$ ) a  $H(p, x, u)$  Hamilton függvény  $u \in U$  mellett maximumértéket vegyen fel

$$H[p(t), x(t), u(t)] = M[p(t), x(t)];$$

2° a  $T$  végső időpontban

$$p_0(T) \leq 0; \quad M[p(T), x(T)] \geq 0$$

teljesüljön. (Általában a 2° feltétel nemcsak a  $T$  időpontra, hanem bármely  $0 \leq t \leq T$  időre is teljesül.)

*Megjegyzés.* A fenti vektoregyenletekben az

$$J = \int_0^T f_0[x(t), u(t)] dt = x_0 = \text{Min.}$$

optimalizálási feltétel

$$\frac{dx_0}{dt} = f_0[x_1, \dots, x_n, u(t)].$$

formában szerepel. Pl. ha  $f_0 \equiv 1$ , akkor a legrövidebb áttérési időt keressük:

$$J = T = \text{Min.}$$

A Pontrjagin-elv igen általános megfogalmazását adja a szabályozástechnika optimumproblémáinak, és itt nemcsak optimális beállási idejű rendszerekről lehet szó, hanem más, például valamilyen integrálkritériumot minimalizáló optimális rendszerről vagy egyéb más rendszerekről is.

A Pontrjagin-elv viszonylag új elv. A rá vonatkozó szakirodalmi közlemények száma azonban máris több százra tehető. Legfőképpen az időpotimum-rendszerek vizsgálatával foglalkoznak és csak kisebb részben az egyéb optimum-rendszerekkel. A legjelentősebb problémát éppen az látszik okozni, hogy mennyiben sikerül a kapcsolási hyper-felületet zárt alakban is megadni, ha vi-

szonylag bonyolult a függvénykifejezés, és így a fizikai realizálhatóság lehetőségére kérdéses. A vizsgálatoknak egy része éppen azt a célt tűzi ki maga elé, hogyan lehet ezeket a kapcsolási hyper-felületeket aproximálni gyakorlati szempontból egyszerűbben megvalósítható síkokkal vagy felületekkel.

Számos cikk jelent meg a szakirodalomban, amelyek rámutattak a maximum-elv, a klasszikus variációszámítás és a dinamikus programozás kapcsolataira. (Ebben a tekintetben ROSENAUER cikksorozatát érdemes kiemelni.) A maximumelv és a dinamikus programozás a szabályozástechnika egyik legfontosabb fejezetének alapjait képezi és joggal számíthatunk arra, hogy a közeli években még számos közlemény és cikk fog megjelenni erre a problémakörre vonatkozólag.

#### 7.4 Néhány egyéb eredmény

A nemlineáris szabályozástechnika több olyan módszert fejlesztett ki, amelyek bár bizonyos rokonságban állnak a nemlineáris lengéstannal, de nagymértvű kifejlődésüket éppen a szabályozástechnikában érték el. Ilyen például a harmonikus linearizálás módszere. Ez a módszer KRYLOV-tól és BOGOLJUBOV-tól származik. A harmonikus linearizálás, vagy más néven a leírófüggvények módszere mint ismeretes, a nemlineáris tag bemenetén sinusszerű lengéseket tételez fel, a nemlineáris tag kimenetén pedig a felharmonikusokat elhanyagolva egyedül az alapharmonikust veszi tekintetbe. Mivel a szabályozási rendszernek az egyéb lineáris részei általában aluláteresztő-szűrő jellegűek, ez a közelítés sokszor igen jó eredményre vezet, különösen a stabilitás illetve a határciklus megítélésével kapcsolatban. A harmonikus linearizálás elterjedését annak köszönheti, hogy lényegében lehetővé teszi egyenértékű lineáris rendszerrel való számolást és ezáltal a lineáris szabályozástechnika jól ismert bizonyos módszereinek a felhasználását nemlineáris rendszerekben.

Legyen a nemlineáris tag függvénye  $x_k = f(x_b)$ , ahol  $x_k$  a kimenő,  $x_b$  a bemenő jel. Ha az utóbbi harmonikus jel,

$$x_b(t) = B \sin \omega t,$$

akkor a kimenő jel:

$$x_k(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (A_n \cos n\omega t + B_n \sin n\omega t),$$

ahol  $A_0$ ;  $A_n$ ,  $B_n$  ( $n = 1, 2, \dots$ ) a Fourier-sor együtthatói. Harmonikus linearizáláskor csak az állandó összetevőt és az alapharmonikust vesszük figyelembe.

A kimenőjelet tehát

$$x_k(t) \approx A_0 + q(B)B \sin \omega t + q'(B)B \cos \omega t$$

kifejezéssel közelítjük. Itt

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(B \sin \omega t) d\omega t,$$

$$q(B) = \frac{1}{\pi B} \int_0^{2\pi} f(B \sin \omega t) \sin \omega t d\omega t,$$

$$q'(B) = \frac{1}{\pi B} \int_0^{2\pi} f(B \sin \omega t) \cos \omega t d\omega t.$$

Maga a leírófüggvény:

$$N(B) = q(B) + jq'(B).$$

A leírófüggvények módszerére vonatkozó irodalom igen kiterjedt, és még az utóbbi években is találunk újabb és újabb cikkeket, amelyek a módszer egyes variánsait tárgyalják (lásd pl. POPOV és PALTÓV könyvét).

A harmonikus linearizáláshoz hasonlóan az időtartománybeli linearizálásnak egyik kiterjedt módszere az úgynevezett statisztikus linearizálás. Ennél a módszernél statisztikus bemenőjelet tételezünk fel, amelyiket rendszerint Gauss-féle normál eloszlásúnak tekintenek. A kimenőjel ugyancsak normál eloszlású és a két jel alapján például egyenértékű lineáris erősítési tényezőt lehet megállapítani a nemlineáris elemre vonatkozólag. Természetesen még egyéb jellemzők is definiálhatók, a leggyakrabban azonban éppen a linearizált átviteli tényezőt használják.

Legyen (a legegyszerűbb esetben) a nemlineáris tag  $x_k = f(x_b)$  függvénye páratlan egyenértékű függvény, az  $x_b(t)$  bemenő jel pedig stacionárius sztochasztikus jel zérus várható értékkel:

$$M[x_b(t)] = 0.$$

A valóságos  $x_k(t)$  sztochasztikus jelet olyan  $x_i(t)$  ideális jellel közelíthetjük, hogy a két jel különbségének négyzetes középértéke minimális legyen:

$$M \{ [x_k(t) - x_i(t)]^2 \} = \text{Min}.$$

A statisztikus linearizálás módszere szerint

$$x_i(t) = A_s x_b(t),$$

és az egyenértékű átviteli tényező

$$A_s = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x_b f(x_b) p(x_b) dx_b}{\int_{-\infty}^{\infty} x_b^2 p(x_b) dx_b},$$

ahol stacionárius folyamat esetén az  $x_b(t)$  bemenő jel  $p(x_b)$  valószínűsűrűség függvénye az időtől független. A statisztikus linearizálással kapcsolatban első sorban KAZAKOV neve említendő.

A nemlineáris szabályozástechnika egy másik nagy fejlődést elért témaköre az extrémumszabályozás, másnéven az optimumkeresés. Itt lényegében egy nemlineáris célfüggvény extrémumának megtalálásáról van szó. A feladatok két csoportra oszthatók: egyrészt a gradiensek meghatározására szolgáló különböző módszerekre, másrészt az extrémum felé végrehajtandó lépésekre. Ez utóbbi feladatot sokszor hegymászási módszernek is nevezik. A leggyakrabban használt eljárások a Gauss—Seidel-módszer, a gradiensmódszer és a legmeredekebb esés módszere. Bő szakirodalom található erre a problémakörre vonatkozólag, amely kitér nemcsak az elvi megfontolásokra, hanem a gyakorlati megvalósítási lehetőségekre is. Ezzel a témakörrel kapcsolatban FELDBAUM, KRASZOVSKIJ és mások munkásságára utalunk.

Az optimumkeresési módszerek a változó struktúrájú: adaptív rendszerek egyik alapszoportját alkotják. A szabályozástechnikusok figyelmének középpontjában éppen az utóbbi témakör áll, amit mutat egyrészt az adaptív rendszerekre vonatkozó nagyszámú irodalmi közlemény. A szovjet kutatók közül újabban CIPKIN ért el figyelemreméltó eredményeket, különösen a sztochasztikus aproximáció terén PETROV akadémikus és iskolája igen figyelemreméltó eredményeket mutathat fel a repülő testek adaptív szabályozása terén.

A változó struktúrájú rendszerek terén EMELJANOV munkássága emelhető ki.

Kiterjedt kutatómunka folyik a számítógépes tervezés és a számítógépes termelésirányítás terén is. A számítógépes tervezéssel kapcsolatban GAVRILOV akadémikus munkásságát emeljük ki. A termelésirányításban EMELJANOV nevét említhetjük meg.

Az új fizikai elveken alapuló készülékek kidolgozásában a nemrég elhunyt SZOCKOV akadémikusnak vannak elévülhetetlen érdemei.

## 8. Befejezés és néhány következtetés

Az előzőekben csupán vázlatosan tudtuk áttekinteni a szocialista, különösen pedig a szovjet—magyar műszaki tudományos együttműködés néhány fontosabb eredményét, a kapcsolatok különböző szintű formáit és módszereit az automatika, a műszertechnika, az informatika a számítástechnika egyes területein.

A technikai-tudományos forradalom időszakában, amikor az időfaktor-nak döntő jelentősége mutatkozik, a műszaki-tudományos együttműködés továbbfejlesztése újabb formáinak és módozatainak kialakítása elengedhetetlen szükségszerűség.



A huszonöt éves együttműködés tapasztalatai alapján joggal elvárható, hogy a szovjet—magyar műszaki és tudományos együttműködés tovább fejlődik, a kapcsolatok egyre szorosabbá válnak, a szovjet és a magyar kutatók tapasztalatcseréje és közös kutatásai elősegítik a szocialista tábor tudományos, műszaki és gazdasági potenciáljának növekedését.

Úgy hisszük, hogy a Magyar Tudományos Akadémia és a Szovjetunió Tudományos Akadémiája jelentős szerepet játszhatik a műszaki-tudományos együttműködés továbbfejlesztésében, az aktívabb és szorosabb kapcsolatok kialakításában.

**Working Contacts between the Soviet and Hungarian Scientific Schools in the Field of Control and Information Theories.** On the 25th anniversary of the Hungarian—Soviet scientific and technical cooperation the lecture looks backwards at the common efforts in the field of control and communication engineering. Within the COMECON the two countries cooperate in the realization of the Unified Computer System and of the INTERKOSMOS program. Several Hungarian institutions (Budapest Technical University, Communications Research Institute, Computer and Automation Institute of the Hung. Ac. of Sci.) have created good contacts with the Soviet partner. For 3 years a common Soviet—Hungarian review on control and information theory is being published. The Russian and the Soviet scientists have obtained important mathematical results which have greatly contributed to the development of the control theory. LYAPUNOV, MICHAYLOV and later MEYEROV have contributed lasting results to the investigations on stability, SOLODNIKOV to numerical transformations, PETROV on adaptive systems, PONTRYAGIN, FELDBAUM and TSIPKIN in the field of optimum control. At the time of the scientific-technical revolution the cooperation with the Soviet Union is a great help in mastering modern automation and its industrial introduction.

**Arbeitsbeziehungen zwischen den ungarischen und sowjetischen wissenschaftlichen Schulen auf dem Gebiet der Regelungs- und Informationstheorie.** Der Vortrag gedenkt am 25. Jahrestag des ungarisch—sowjetischen Vertrags über wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit der gemeinsamen Anstrengungen auf dem Gebiet der Regelungstechnik und Nachrichtentechnik. Innerhalb des RGW gibt es in der Realisierung des Einheitlichen Rechnerprogramms und des INTERKOSMOS-Programms eine Zusammenarbeit. Mehrere einheimische Institutionen (Forschungsinstitut für Fernmeldetechnik, Budapester Technische Universität, Forschungsinstitut für Rechentechnik und Automatisierung der Ung. Akademie der Wissenschaften) haben gute Beziehungen zu ihrem sowjetischen Partner ausgebaut. Seit 3 Jahren erscheint eine gemeinsame sowjetisch—ungarische Zeitschrift für Automatisierung und Informationstheorie. Die sowjetischen Forscher haben bedeutende mathematische Ergebnisse erzielt, die viel zur Entwicklung der Regelungstheorie beigetragen haben. So haben LJAPUNOW, MIHAJLOW und später MEJEROW auf dem Gebiet der Stabilitätsuntersuchungen, SOLODNIKOW auf dem der numerischen Transformationen, PETROW auf dem der adaptiven Systeme, PONTRYAGIN, FELDBAUM und ZIPKIN auf dem Gebiet der optimalen Regelungen Bleibendes geschaffen. Im Zeitalter der wissenschaftlich-technischen Revolution ist die Zusammenarbeit mit der Sowjetunion eine große Hilfe bei der Aneignung der modernen Automatisierung und ihrer industriellen Anwendung.



# A SZOVJET—MAGYAR EGYÜTTMŰKÖDÉS EREDMÉNYEI ÉS TÁVLATAI AZ INFORMÁCIÓELMÉLET ÉS ALKALMAZÁSÁNAK TERÜLETÉN

V. I. SZIFOROV  
A SZUTA LEVELEZŐ TAGJA

E tanulmány célja a szovjet-magyar tudományos együttműködés fejlődésének ismertetése az egyik nagyon fontos tudományágnak, az információval és annak gyakorlati alkalmazásával foglalkozó tudománynak a területén. Ennek kapcsán a tanulmány részletesen felsorolja azokat a különféle konferenciákat és egyéb rendezvényeket, amelyeken alkalom nyílt a szovjet és magyar tudósok együttműködésére, feltüntetve az azokon résztvevők nevét és előadásuk címét.

## I. Bevezetés

A legfontosabb esemény, amely földgolyónkon a második világháború befejezése után végbement, a szocialista világrendszer kialakulása. Ennek megjelenésével a nemzetközi kapcsolatok új típusa született meg: az elvtársi együttműködésen és segítségen alapuló kapcsolatok. Ennek az együttműködésnek kapcsán sikeresen valósul meg a szocialista tapasztalatcsere, a társadalmi élet tudatos szervezése, amely átfogja a társadalmi élet különféle aspektusait, köztük olyan fontos aspektusokat is, mint a tudomány és a technika fejlődése.

A szocialista országok eredményes együttműködése napjainkig sok jelentős sikert ért el. Lehetővé tette, hogy elérjük a népgazdaság fejlődésének gyors és állandó ütemét, a gyors tudományos-műszaki fejlődést, a népjólét és a kultúra folytonos emelkedését, a gazdasági fejlődés szintjeinek fokozatos kiegyenlítését, s a nemzetközi enyhülés ügyének lényeges előrehaladását. Mindezek a sikerek szervesen összefüggenek azzal a hatalmas munkával, amelyet a kommunista és munkáspártok a szocialista államok sokoldalú együttműködésének elmélyítése terén végeznek.

Idén töltjük be a Szovjet Szocialista Köztársaságok Szövetsége és a Magyar Népköztársaság közötti termékeny tudományos-műszaki együttműködés huszonötödik évét. Ennek a nevezetes dátumnak ünneplése mostani jubileumi tudományos ülésszakunk is.

A jelen tanulmány célja a szovjet-magyar együttműködés fejlődésének ismertetése az egyik nagyon fontos tudományágnak, az információval és annak gyakorlati alkalmazásaival foglalkozó tudományágnak a területén.

Szerzőnek első ízben 1948—1949-ben volt örvendetes alkalma együtt dolgozni a magyar tudósokkal, a nagyfrekvenciás rádiózás Mexico-Cityben lefolyt nemzetközi konferenciáján. Ennek feladata volt a rövidhullámú sáv elosztása az országok között rádióműsorszórás céljaira, továbbá az elosztás tudományos-műszaki elveinek és módszereinek kidolgozása. Ezen a több mint fél-évig tartó konferencián kötött ismeretséget a Szerző egy magyar tudóssal, BOGNÁR Gézával, aki ma a Magyar Szocialista Munkáspárt Központi Bizottságának tagja és a Magyar Tudományos Akadémia alelnöke. Mexico-Cityben a szocialista közösség országainak valamennyi delegációjával szoros kapcsolatot tartva termékeny együttműködést folytattunk. BOGNÁR Géza akkor nagyon értékesen járult hozzá a konferencia munkájához azzal, hogy eredeti módszert javasolt a rövidhullámok terjedésének számítására. A konferencián ezt a módszert használták azoknak a számításoknak az elvégzésére, amelyek szükségesek voltak a rendelkezésre álló frekvenciáknak a világ országai közötti elosztását célzó terv összeállításához.

Az ezt követő években az országaink közötti együttműködés a két nép közt egyre erősödő barátság szilárd talajára helyeződött és jelenleg a kérdések nagyon széles körét fogja át. A Szovjetunió Tudományos Akadémiája immáron több, mint tizenöt éve sikeres együttműködést folytat a Magyar Tudományos Akadémiával. A közös munkában jó eredményeket értünk el a modern tudomány, technika és kultúra számos területén. A huszadik században új tudományok keletkeznek és fejlődnek erőteljesen. Ezek között az egyik legfontosabb az információ tudománya. Az ebben a tudományban, amelyet újabban informológiának is neveznek, elért kutatási eredmények nagyon lényegesek a modern tudományos-műszaki forradalom szempontjából. Az információfolyamatok mélyreható tanulmányozása lehetővé teszi, hogy megismerjük a legkülönbözőbb objektumok fejlődési törvényeit és ezeket a törvényszerűségeket hatásosan alkalmazzuk aktuális szociális feladatok megoldására. A Szovjetunió Tudományos Akadémiája és a Magyar Tudományos Akadémia között az informológia terén folyó együttműködés ezidőszert az információközlés és -feldolgozás problémáira, valamint az alakfelismerésre irányuló kutatásokat öleli fel.

## 2. Nemzetközi konferenciák a Szovjetunióban és Magyarországon

Amikor az információelméletnek és alkalmazásainak terén az együttműködés megindult, mind a Szovjetunió, mind a Magyar Népköztársaság-nak nagyon gazdag tapasztalatai voltak tudományos kutatásokban, műszaki fejlesztésekben és nemzetközi tudományos-műszaki konferenciák rendezésében. Az információelméletnek és alkalmazásainak problémáival foglalkozó szovjet

és magyar tudósok ezen a téren nagyarányú nemzetközi rendezvényeket kezdeményeztek: a Magyarországon időről-időre rendezett „Mikrohullámú összeköttetések” című nemzetközi kollokviumokat, a Szovjetunióban tartott nemzetközi információelméleti szimpóziumokat és más rendezvényeket, amelyek a Szovjetunió és a Magyar Népköztársaság tudományos életében fontos eseményekké váltak, és tudományos körökben világszerte elismerést váltottak ki.

Az idei évben a Szovjetunió tudósai és kollégáik a világ számos országában nevezetes dátumot ünnepeknek: a Szovjetunió Tudományos Akadémiája fennállásának kettőszázötvenedik évét. Az idei év ezért nagyszabású bemutató év, amelynek során a szovjet tudomány demonstrálja eredményeit, azt, hogy mit adott a technikának, a termelésnek, a kultúrának. Ennek keretében jelentős arányban szerepelnek a rádiótechnika és az információelmélet fejlesztésében elért eredmények. Ezeken a tudományos-műszaki haladás számára olyan rendkívül fontos ismeretterületeken világszerte ismert tudósok fejtették és fejtik ki tevékenységüket: A Szovjetunió Tudományos Akadémiájának tagjai, a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának intézeteiben, továbbá a szövetségi köztársaságok tudományos akadémiáinak és az ágazati tudományos akadémiáknak az intézeteiben, a felsőoktatási intézmények tanszékein és az ágazati tudományos kutatóintézetekben sok fontos alapkutatót végeztek.

A Szovjetunió Kommunista Pártjának XXIV. Kongresszusa kitűzte azt a feladatot, hogy az állami számítóközpont-hálózatnak és az ország egységes automatizált hírközlő hálózatának felhasználásával és egész országra kiterjedő információgyűjtési és -feldolgozási rendszer segítségével létre kell hozni és be kell vezetni a népgazdasági ágazatok, területi szervezettek, egyesületek, vállalatok tervezési és irányítási rendszerét. Ennek a feladatnak a megoldásában jelenleg sok tudományos kutatóintézet, tervező-szerkesztő szervezet és felsőoktatási intézmény vesz részt. Nagyarányú munkát végez ezen a téren a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának e tanulmány szerzőjének vezetése alatt álló Információközlési Problémák Intézete. Ebben az intézetben tudományos kutatások folynak az információközlés, -elosztás és -feldolgozás terén fizikai, technikai és biológiai rendszerek vonatkozásában. Számos alapvető jelentőségű eredményt értünk el, amelyek nagymértékben előbbrevitték az információtudományt, s ezeket az eredményeket átvittük a gyakorlatba.

A szovjet informológiai tudósok, szakemberek aktív részt vesznek a nemzetközi jellegű tudományos rendezvényekben. Az SzKP XXIV. Kongresszusán született békeprogram, a feszültség enyhítése az országok közötti kapcsolatokban jelentősen elősegíti a szovjet és a más országbeli tudósok közötti tudományos együttműködés erősödését. Különösen erősek a baráti kapcsolatok a Szovjetunió Tudományos Akadémiája és a szocialista országok tudományos akadémiái között. Széles körben elterjedtek a kétoldalú tudományos együttműködési megállapodások a Szovjetunió Tudományos Akadémiája

és a testvéri tudományos akadémiák között. E megállapodásokban mint fontos teendő szerepel kétoldalú tudományos szimpóziumok és munkaértekezletek tartása, tudósok cseréje stb.

A tudományos közélet élénk figyelemmel kíséri a Szovjetunióban tartott információelméleti szimpóziumokat, amelyeket a Szovjetunió Tudományos Akadémiájához tartozó Információközlési Problémák Intézete és a Szovjetunió Tudományos Tanácsa rendez. A szimpóziumok programjában az információelmélet matematikai alapjaival, a kódoláselmélet, a statisztika és a felismerésemélet elméleti és alkalmazott feladataival kapcsolatos kérdések szerepelnek. Az első ilyen szimpózium Dubnában volt, 1969 június 19–25 között. A szimpózium munkájában sok ország szakemberei vettek részt. A résztvevők számos szovjet tudós, így R. R. VARSAMOV, E. M. GABIDULIN, R. L. DOBRUSIN, K. S. ZIGANGIROV, V. V. ZJABLOV, I. A. IBRAGIMOV, M. Sz. PINSZKER, A. N. SIRJAEV és mások előadását hallgatták meg. Magyar részről a szimpózium vendége volt FRITZ József és CSISZÁR Imre.

A második szimpózium, amely már címében hivatalosan is nemzetközi volt, 1971 szeptember 2–8 között folyt le Cakhadzorban, az Örmény Szovjet Szocialista Köztársaságban. Szervezésében részt vett az URSI (Nemzetközi Rádió-tudományos Unió) és az Örmény Szovjet Szocialista Köztársaság Tudományos Akadémiájának Kibernetikai Intézete is. A cakhadzori szimpóziumon a kapitalista országokból 60, a szocialista országokból 25 tudós vett részt, az utóbbiak közt a Magyar Népköztársaságot Csibi Sándor, NEMETZ Tibor, RÓNA Péter, CSISZÁR Imre, RÉT András képviselték. A szimpózium szovjet résztvevői között volt A. A. AMOSZOV, É. L. BLOCH, R. L. DOBRUSIN, K. S. ZIGANGIROV, V. V. ZJABLOV, I. A. IBRAGIMOV, I. JU. LINNIK, M. Sz. PINSZKER, R. Z. HASZMINSZKIJ, A. M. JAGLOM és M. I. JADRENKO.

A harmadik nemzetközi információelméleti szimpózium 1972 június 18–23 között volt Tallinban, az Észt Szovjet Szocialista Köztársaság fővárosában. A tallini szimpóziumon mintegy 160 szovjet és több, mint hetven külföldi tudós vett részt. Az utóbbiak közt volt Magyarországról NEMETZ Tibor, FRITZ József, KATONA Gyula, GÁCS Péter, CSIBI Sándor, RÉT András, GULYÁS Ottó, GYÖRFI László, FARAGÓ Tibor, SZÉKELY Endre, KÖRNER János, GERGELY Tamás és MARTON Katalin. A szimpóziumon a szovjet tudományt képviselő tudósok közt volt D. G. ASZATRJÁN, L. A. BASSZALÜGO, K. S. ZIGANGIROV, V. V. ZJABLOV, I. A. IBRIGIMOV, D. Sz. LEBEGYEV, M. Sz. PINSZKER, G. P. TARTAKOVSKIJ, L. M. FINK, R. Sz. HASZMINSZKIJ, B. Sz. CÜBAKOV stb. A tallini szimpózium programjában, mint az előzőkében is főleg az információelmélet matematikai alapjaival, a kódoláselmélet, statisztika és felismerésemélet elméleti és alkalmazott feladataival kapcsolatos kérdések szerepeltek. A szekciók munkájában az alábbi kérdések domborodtak ki: információelmélet, hibajavító kódok elmélete, forráskódolás, adatkomprimálás, kvantált csatornák, jelfelismerés-elmélet, csatornák visszacsatolással, az információszervezés és

-feldolgozás elvei programozó rendszerekben. Mint mindig, itt is nagy érdeklődést váltottak ki az információelmélet statisztikai módszereivel foglalkozó szekciókban tartott előadások. Főleg R. L. DOBRUSIN „Sztocasztikus Markov-terek” című előadását emelhetjük ki, amelyben a szerző a sztocasztikus Markov-térről adott saját definícióját fejtette ki. A tallini szimpózium ismételtén igazolta, hogy az információelmélet terén számos elméleti kutatási irányban a szovjet tudósok világviszonylatban vezető szerepet játszanak. Ide tartoznak elsősorban az információelmélet átlalános kérdéseivel, a kódoló és dekódoló algoritmusok bonyolultságának becslésével, az információkomprimálással és a statisztikus módszerekkel kapcsolatos munkák. Az amerikai Elektronikai és Elektrotechnikai Intézet (IEEE) V. D. GOPPE szovjet tudósnek külön jutalomdíjat ítelt meg algebrai kódok új osztályának feltárásáért. E. BERLECAMP professzor, az IEEE információelméleti szakcsoportjának elnöke, amikor a szimpózium megnyitó ülésén a díjat átnyújtotta, kiemelte a szovjet tudósok információelmélet terén elért nagy sikereit. A tallini szimpózium baráti légkörben, a jóindulat és az együttműködés szellemében folyt le, szervezés tekintetében pedig példásnak volt mondható. Nagy érdeme volt ebben az Észtt Szovjet Szocialista Köztársaság Tudományos Akadémiájának, B. G. TAMM-nak, a tallini Kibernetikai Intézet igazgatójának, az Észtt Tudományos Akadémia levelező tagjának, A. B. GELBÁ-nak, a szimpózium tudományos titkárának és az említett intézet egyéb munkatársainak.

A következő szimpózium a tervek szerint 1976-ban lesz.

A Szovjetunióban jól ismertek a magyar tudósok kiemelkedő érdemei az információelméletnek és alkalmazásainak területén. Nagyra becsüljük a nemzetközi tudományos-műszaki rendezvényeket a legmagasabb színvonalon lefolytató magyar tudósok szervező tevékenységét is. Itt mindenekelőtt a mikrohullámú összeköttetésekkel foglalkozó nemzetközi kollokviumokat kell említeni. Az első kollokviumon, 1959-ben, mindössze nyolc ország szakemberei jöttek össze Budapesten, és az előadások száma harmincegyhárny volt. A második kollokviumon, 1962-ben, a létszám hasonló volt (9 ország, 32 előadás), itt azonban már aktívabban vettek részt a szovjet szakemberek, akik 19 előadást tartottak. A harmadik „Mikrohullámú összeköttetések” című kollokvium 1966 áprilisában volt. Az előzőhöz képest a résztvevő országok száma több, mint kétszerese nőtt, — ezúttal 20 ország képviselői találkoztak Budapesten. A kollokvium szerkesztő bizottsága 107 előadást fogadott el olyan aktuális témákban, mint a hírközlő rendszerek elmélete, hálózatelmélet, az elektromágneses hullámok elmélete, mikrohullámok elmélete és technikája, mikrohullámú elektronika, rendszermérések. A kollokviumon számos szovjet tudós adott elő, jelesül B. M. BONDARENKO, V. M. DIMITRACSENKO, Ju. M. ISZAJENKO, M. A. KOLOSOV É. P. KURUSIN, A. N. LOMAKIN, R. F. MATVEJEV, V. N. ROGINSZKIJ, V. V. SEVCSENKO és mások. Nagy érdeklődést váltott ki a magyar előadók közül CSIBI Sándor, RÓNA Péter,

REITER György, VÁNYAI PÉTER, ÁCS ERNŐ, NAGY GyULA András, CSURGAY Árpád előadása.

A negyedik „Mikrohullámú összeköttetések” című kollokviumon, amely 1970 áprilisában volt Budapesten, sok olyan kérdésről volt szó, amelynek kidolgozásában részt vett magyar részről a Magyar Tudományos Akadémia (és a Távközlési Kutató Intézet), szovjet részről pedig a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának Információközlési Problémák Intézete. A kollokviumon 17 ország tudósai vettek részt, 177 előadás hangzott el, köztük a következő szovjet előadások: R. Z. HASZMINSZKIJ „Információátvitel nagy zajú csatornákon, visszacsatolás esetén”, R. L. DOBRUSIN „Nagyszámú diszkrét komponenssel bíró Markov-folyamatok”, V. V. ZJABLOV „Az információközlés kaskád-módszerei”, V. V. MAKSZIMOV „Mértani ábrák tanuló osztályozásának programja”. Nagy érdeklődés fogadta a magyar Csibi Sándor, Róna Péter, Rét András, Németh József, Gulyás Ottó, Bors László, Baranyi András és mások előadását.

Végül az ötödik kollokvium a közelmúltban, 1974 júniusában volt Budapesten. Ennek a kollokviumnak a programja lényegében hasonló volt a korábbiakéhoz, de most már mintegy harminc ország képviselői találkoztak.

A legutóbbi kollokviumot értékelve, mindenekelőtt azt kell megállapítanunk, hogy a mikrohullámú technika gyorsan fejlődik és a kollokviumon jelenlegi állása jutott kifejezésre, — főleg ebben volt a kollokvium jelentősége.

A szovjet és magyar tudósok részvétele a Szovjetunióban, illetve Magyarországon tartott említett nemzetközi konferenciákon nagy szerepet játszott tudósaink és mérnökeink egymáshoz való közeledésében, tartós tudományos kapcsolatok létrejöttében országaink szakemberei közt. Ezzel kapcsolatban nem hagyhatjuk említés nélkül azt a nemzetközi információelméleti szimpóziumot sem, amelyet a magyar tudósok 1967-ben folytattak le Debrecenben.

### 3. Szovjet—magyar szemináriumok az információelmélet és alkalmazásai témakörben. Tudományos publikációk

A Szovjetunió Tudományos Akadémiájának és a Magyar Tudományos Akadémiának együttműködése az információelmélet és alkalmazásai terén különösen aktívvá vált a hatvanas évek vége felé. 1968-tól kezdve a Szovjetunió Tudományos Akadémiája és a Magyar Tudományos Akadémia között az „Információelmélet és alkalmazásai” problémában folytatott kétoldalú együttműködés keretében gyakorlattá vált intézetközi szemináriumok tartása, amelyek igen nagy szerepet játszottak a közös kutatások problémakörének pontosabb megállapításában és az eredmények gyakorlati felhasználásában.

Az első szovjet—magyar szeminárium 1968 decemberében volt Budapesten. Ezen az IPPI héttagú delegációja vett részt, amely a magyar kollégák-



kal — a TKI, a MTA Matematikai Kutató Intézetének és Automatizálási Kutató Intézetének munkatársaival — együttesen az információelmélet számos időszerű problémáját vitatta meg. A szovjet résztvevők a következő előadásokat tartották: V. I. SZIFONOV „Az információelméleti kutatások fejlődése a SzUTA Információközlési Problémák Intézetében”, — I. A. OVSZEJEVICS „Folytonos közleményátvittele véletlen paraméterű csatornákon visszacsatolás alkalmazásával, M. Sz. PINSZKER „Közlemények átvitele visszacsatolás csatornán”, — R. Z. HASZMINSZKIJ „Sztochasztikus approximáció, sztochasztikus stabilitás”, — Ju. L. SZAGALOVICS „Az információelmélet eredményeinek alkalmazása automaták megbízhatósági problémáira”, — K. S. ZIGANGIROV „Szekvenciális dekódolás”, — D. Sz. LEBEGYEV „Képatviteli módszerek összehasonlítása zajos csatorna esetén”. Ez a szeminárium, amelyen a résztvevők száma még nem volt ugyan nagy, jó és az országaink közötti együttműködés szempontjából nagyon fontos tradíció alapján rakta le.

A második szovjet-magyar szeminárium 1969 november 28 – december 9. között volt Budapesten. Ennek a szemináriumnak a munkájában a Szovjetunió Tudományos Akadémiájához tartozó két intézet, az IPPI és a „V. A. Sztyeklov” Matematikai Intézet munkatársai, magyar részről pedig a Távközlési Kutató Intézet, a Matematikai Kutató Intézet, az Automatizálási Kutató Intézet és a MTA Számítástechnikai Központjának munkatársai vettek részt. A szeminárium munkájában aktívan közreműködött két magyar akadémikus, RÉNYI Alfréd és BOGNÁR Géza, akik a szemináriumon fel is szó-láltak. A szovjet résztvevők a következő előadásokat tartották: V. I. SZIFOROV „Az információelmélet fejlődése a Szovjetunióban az 1966–69 években”, — Ju. V. PROHOROV „Nagy eltérések valószínűségének néhány becslése és becslések alkalmazásai”, — L. N. BOLSEV „Tetszőleges normális halmazok osztályozása”, — A. N. SIRJAJEV „Szekvenciális becslés Bayes- és nem-paraméteres feladatokban”, — K. S. ZIGANGIKOV „Információ átvitele bináris szimmetrikus csatornán visszacsatolással”. Érdekes előadásokat tartottak a következő magyar szerzők: VINCE István „Statisztikai módszerek a termodinamikában”, — GULYÁS Ottó „Mintavételi tételek konvergenciájáról és sorcsontkítási hibájáról”, — DARÓCZI Zoltán „Általánosított információfüggvény”, — FREY Tamás „Algoritmusok műveletigényességének információelméleti becsléséről”, — KATONA Gyula „Zajnélküli csatornák soros és párhuzamos kapcsolásáról”, — TOMKÓ József „Véletlen tagszámú összegekhez alkalmazott eloszlási határtételek konvergenciasebességéről”, — ARATÓ Mátyás „Elemi Gauss-folyamatok vezérléséről”, — DÉNES József „Palásti Iлона egy tételének alkalmazása kódolási és algebrai problémákra”, — BENCZUR András „Stacionárous Gauss–Markov folyamatok csillapodási paraméterének becsléséről és annak eloszlásáról”, FRITZ József „A McMillan-tétel általánosításáról”, — CSIBI Sándor „A döntésvisszacsatolásos információközlés optimalásáról duplex összeköttetések jellegzetes megszigorításai mellett”.

A harmadik szovjet—magyar szeminárium 1970 november 28—december 3. között volt Moszkvában. A szeminárium munkájában több mint hatvan szovjet tudós és a MNK tizenhat képviselője vett részt. A szeminárium feladata az információelmélet alkalmazásainak különféle területein elért új eredményekkel való megismerkedés volt. A magyar vendégek Moszkvában számos érdekes előadást tartottak, és pedíg: GULYÁS Ottó „A potenciálfüggvényes tanuló algoritmusok általánosítása”, — MUSZÉLY Gyula „Egy alakfelismerési eljárásról”, — KATONA Gyula „Egy kódolási problémáról”, — FRITZ József „Az általánosított entrópia axiomatikus definíciója”, — KALMÁR LÁSZLÓ „Az orvosi diagnosztikáról”, — CSIBI Sándor „Emlékezzettel bíró iterációs szabályok gépi tanulsnál”, — KOC SIS János „Egy adaptív szabályozási problémáról”, — RÉT András „Kis számítógépek alkalmazása alakfelismeréséhez”, — NEMETZ TIBOR „Az információelmélet alkalmazása statisztikai hipotézisvizsgálatra”, — MARTON Katalin „Nem teljesen ergodikuss források információstabilitása”, — MOLNÁR László „Néhány tanítóval működő algoritmus alkalmazása meteorológiai előrejelzésre”, — ARATÓ Mátyás „Elemi gaussi folyamat paramétereire vonatkozó becslések eloszlásának modellezése elektronikus számítógépen”, — NÉMETH József „Kommunikációs programrendszer kis számítógépre”, — FREY Tamás „Az algoritmus fogalmának általánosítása és alkalmazása a mesterséges agy problémájának megoldásához”.

Szovjet részről előadást tartott: M. Sz. PINSZKER „Diszkrét és folytonos közlemények átvitele gaussi csatornán visszacsatolás esetén”, — Ja. Z. CÜPKIN „Döntéshozatal tanítása határozatlanság viszonyai között”, — R. Z. HASZMINSKIJ és H. B. NEVELSZON „A sztohasztikus approximáció folytonos eljárásairól”, — V. Sz. FAJN „Képek felismerésének és feldolgozásának folytonos csoportos módszere”, — O. I. BARINOVA, M. M. BONGARD, S. A. GUBERMAN, M. L. IZVEKOVA, I. M. CSURINOVA „Geológiai feladatok megoldása felismerési programok segítségével”, — V. V. MAK SZIMOV „Mértani ábrák osztályozását tanuló program”, — G. G. GELDSTEIN „A tüdőhipertónia fokának megállapítása szívkamrafalperforáció esetén”, — M. L. IZVEKOVA „Hemorrágiás sérülések kimenetelének előrejelzése műtétjavesztel meghatározása céljából”, — R. L. DOBRUSIN, Sz. Z. SZTAMBLER „Shannon tétele ismeretlen paraméterű csatornákra vonatkozóan”, — Sz. I. SZAMOJENKO „Binoid kódok”, — V. V. ZJABLOV „A megvalósítható korrigáló tulajdonságok becslése egyszerű kaskád-dekódolás esetén”, — V. G. GITISZ, V. K. NASZLOV, I. T. TURBOVICS „Determinált-statisztikus eljárás egymást nem metsző alakzatok felismerésére”, — L. A. BASSZALÜCO, B. Sz. CÜBAKOV „Blokkozás valószínűsége áthangolható kapcsolórendszerekben”, — V. N. KOSELJOV „Redundáns források komprimálása szekvenciális kódolás módszerével”, — K. S. ZIGANGIROV „Szekvenciális dekódolás”, — A. A. DOROFEJUK „Automatikus osztályozó algoritmusok és felhasználásuk alkalmazott feladatok megoldására”, — V. V. SAKIN „Elektrolradiogrammok vektorfüggvényekként való leírása és osztályozása”.

Az előadásoknak ez a felsorolása képet nyújt arról, hogy együttműködő intézményeink már akkor a feladatok milyen széles körének megoldásával foglalkoztak.

A negyedik szovjet-magyar szeminárium 1971 novemberében volt Budapesten. Ezen a szemináriumon szovjet részről az IPPI héttagú delegációja vett részt (L. A. BASSZALÜGO, Sz. I. GELFAND, R. L. DOBRUSIN, M. B. NEVELSZON, I. A. OVSZEJEVICS, A. Ju. SEVERDJÁJEV és V. I. SZIFONOV). Magyar részről a szeminárium munkájában — a korábbiakhoz hasonlóan — a Távközlési Kutató Intézet, a MTA intézményei közül pedig a Matematikai Kutató Intézet, a Számítástechnikai Központ, továbbá a Központi Fizikai Kutató Intézet munkatársai vettek részt. Ezenkívül ennek a szemináriumnak a munkájában részt vett két külföldi vendég: A. PEREZ professzor, a Csehszlovák Tudományos Akadémia Információelméleti és Automatizálási Intézetétől (Csehszlovákia) és Giuseppe LONGO professzor, a Trieszti Egyetem tanára (Olaszország). A szemináriumon elhangzott előadások témaköre a gépi diagnosztikának az orvosi, geofizikai és meteorológiai felhasználása volt. A szovjet és magyar fél emellett megbeszélést folytatott az ebben a témakörben folyó közös munkák menetéről. A szemináriumon bemutatásra került egy kísérleti EKG-adatokat regisztráló és kiadó berendezés. A megbeszélések eredményeképpen megállapítást nyert, hogy a közös kutatások lehetővé teszik széleskörű gyakorlati felhasználásra alkalmas, a Szovjetunió és a Magyar Népköztársaság népgazdasága számára fontos rendszer kísérleti mintapéldányának létrehozását.

Az ötödik szeminárium 1972 májusában volt Moszkvában. Ennek a szemináriumnak a munkájában több mint ötvenen vettek részt. A Magyar Népköztársaságból a szemináriumra huszonhat főnyi delegáció érkezett KALMÁR László akadémikus vezetésével.

Az ismertetett szemináriumok nagy szerepet játszottak a szovjet–magyar közös tudományos kutatómunkák kibontakozásában s a jövőben ezen az úton további sikerek várhatók.

A hetvenes évek elején a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának és a Magyar Tudományos Akadémiának az elnöksége elhatározta a „Vezérlési és Információelméleti Problémák” című folyóirat közös kiadását. A folyóirat első száma 1972-ben jelent meg. A folyóiratban a következő tudományterületekre vonatkozó anyagok kerülnek közzétételre:

- vezérlési folyamatok általános elmélete és rendszerelmélet,
- automaták elmélete,
- információelmélet,
- műveléskutatás, bonyolult rendszerek elmélete,
- gazdasági rendszerek irányításának elmélete; rendszermodellek adaptáció, tanulás, azonosítás és alakfelismerés elmélete és módszerei,
- információfeldolgozási módszerek, — számítógép alkalmazása vezérlő információközlő rendszerekben,

— az automatika, vezérlés és információközlés műszaki eszközei létrehozásának új fizikai elvei.

A folyóirat évente négyszer jelenik meg, összesen kb. 320 oldal terjedelemben.

A folyóirat elsősorban a szovjet és a magyar tudományos eredmények közzétételét célozza, de közöl más országokból is olyan cikkeket, amelyek nemzetközi tudományos érdeklődésre tarthatnak számot.

A folyóiratban a közlemények orosz és angol nyelven jelennek meg.

A szerkesztő bizottság tagjai: szerkesztők B. N. PETROV (SzU), CsÁKI Frigyes (MNK); helyettes szerkesztők V. Sz. PUGACSOV, V. I. SZIFONOV (SzU), CSIBI SÁNDOR (MNK); a szerkesztői kollégium tagjai Sz. V. JEMELJANOV, M. A. GAVRILOV, A. M. LETOV, E. D. TYERÁJEV (SzU), KALMÁR LÁSZLÓ, CSISZÁR Imre, PREKOPA András, KOCSIS János (MNK). A folyóirat munkálataiban aktívan részt vett az azóta elhunyt B. Sz. SZOTSZKOV (SzU).

#### 4. A SzUTA és a MTA tudományos együttműködése az információelmélet és alkalmazásai terén

Huszonöt év telt el azóta, hogy K. SHANNON megírta „A hírközlés matematikai elmélete” című munkáját és ezzel megvetette az információelmélet modern fejlődésének alapját. Az információelmélet alkalmazásainak főterülete azóta is a távközlés, a híradástechnika. Az utóbbi években kialakult egy fontos kutatási irány: műszakilag megvalósítható kódolási és dekódolási elvek keresése, amelyek különben az információelmélet fontos fejezetét alkották. A matematikai információelmélet terén már elég régóta folyik közös munka. A MTA Központi Fizikai Kutatóintézetének munkatársa, MARTON Katalin egy évet töltött ösztöndíjasként a SzUTA Információközlési Problémáinak Intézetében, ahol diszkrét stacionárius folyamatok epszilon-entrópiájának aszimptotikájával foglalkozott. Ezt a feladatot R. L. DOBRUSIN és M. Sz. PINSZKER tűzték ki számára. MARTON Katalin az IPPI-ben készült munkájában megállapította diszkrét stacionárius folyamatok epszilon-entrópiájának felső és alsó becslését.

A shannoni információelmélet terén sikeres munkát végeztek a Szovjetunióban R. L. DOBRUSIN, M. Sz. PINSZKER és tanítványaik, Magyarországon pedig RÉNYI Alfréd és tanítványai. R. L. DOBRUSIN bebizonyította SHANNON alaptételét általános megfogalmazásában. Ugyanezen a téren értékes eredményeket ért el CSISZÁR Imre, a MTA Matematikai Kutató Intézetének munkatársa, aki kifejlesztette a zajnélküli csatornákon való információközlés elméletét, azonkívül becsléseket kapott a csatornkapacitásra zaj esetén, a küldött jelek tetszőleges értékei mellett. Egyes munkái megjelentek az „Információközlési problémák” folyóiratban.

Közös munkáinkban jelentős helyet foglalnak el az információelméleti fogalmaknak és módszereknek a matematikai statisztikát érintő alkalmazásai. E téren RÉNYI Alfréd akadémikus érdeme volt sok rendkívül fontos eredmény, amelyek számos további kutatásra adtak ösztönzést. Az „Egy megfigyelés-sorozat ismeretlen paraméterére vonatkozó információmennyiségről” című munkájában [1] feladatul tűzte ki annak az információmennyiségnek a kiszámítását, amelyet a mintavétel a  $\Theta$  ismeretlen paraméterre vonatkozóan tartalmaz abban az esetben, amikor ez a paraméter véges számú értékeket vehet fel. Kitűnt, hogy a megfigyelések végtelen felé tartó száma esetén a vett mintában ez az információmennyiség exponenciálisan gyorsan konvergál a  $\Theta$  érték entrópiájához. RÉNYI kutatásait sok más kutató (jelesül A. PEREZ és I. VAJDA csehszlovák tudós stb.) folytatta.

Új lépést tett előre M. Sz. PINSZKER, aki „A megfigyelésben foglalt információ és az aszimptótikusan elégséges statisztikák” című munkájában [2] arra az esetre tűzte ki ugyanezt a feladatot, amikor  $\Theta$ -nak eloszlási sűrűsége van és elegáns aszimptótikus képletet kapott arra az esetre, amikor  $\Theta$  eltolási paraméter. IBRAGIMOV és HASZMINSZKIJ [3] általánosította PINSZKER képletét arra az esetre, amikor az eloszlási sűrűség tetszőlegesen függ a paramétertől. Az eddig kapott eredmények alapján remélhető, hogy az információelmélet elveit és eredményeit alkalmazni lehet abból a célból, hogy a közeljövőben megkapjuk a statisztikus becslések kockázatainak konkrét határait.

Az utóbbi időben nagy érdeklődés mutatkozik a kereséselmélettel kapcsolatos feladatok iránt is. Ebben az irányban ugyancsak RÉNYI Alfréd érdeme az az alapvető munka, amelyet 1965-ben tett közzé. A kereséselméletben leggyakrabban előforduló feladatot RÉNYI a következőképpen fogalmazta meg. Vegye fel a  $0 \in H$  ismeretlen hipotézis  $L$  lehetséges értékek valamelyikét, vagyis legyen  $H = \{\Theta_1, \dots, \Theta_L\}$ , és legyen adva a  $H$  részhalmazok bizonyos  $F = \{A_i\}$  osztálya. Minden egyes megfigyeléskor kiválaszthatunk  $F$ -ből tetszőleges  $A_i$  halmazt és a műszer közli velünk, hogy az ismeretlen hipotézis bennfoglaltatik-e  $A_i$ -ben vagy sem, s ugyanakkor a soronkövetkező  $A_i$  halmaz kiválasztásához felhasználhatjuk az előbbi megfigyelések eredményeit. Minden keresési stratégiához meghatározhatjuk az ismeretlen hipotézis megtalálásához a legkedvezőtlenebb esetben szükséges megfigyelések  $N$  számát. A feladat a megfigyelések olyan stratégiájának felépítése, amelynek esetében  $N$  minimális. RÉNYI munkáiban a kereséselméleti feladatok megoldásához egy bizonyos általános információelméleti eljárásmodot is javasolt. A továbbiakban RÉNYI termékeny elgondolásait továbbfejlesztették egyes magyar és csehszlovák matematikusok (KATONA, VAJDA, PEREZ).

A Szovjetunióban RÉNYI munkái a bonyolult számítógépek működési megbízhatóságának kérdéseivel kapcsolatban vonták magukra a figyelmet. Szovjet tudósok számos munkája olyan feladatokat vizsgált, amelyek kitűzése némileg különbözött a kereséselmélet eredeti feladataitól. Ezek az eltérések

a tudományos eredmények alkalmazásának konkrét viszonyaiból adódtak. Így például az IPPI két munkatársa, M. V. BURNASOV és K. S. ZIGANGIROV, egy érdekes munkájában olyan feladatot vizsgált, amelynek esetében a vizsgálathoz használt műszerünk minden egyes megfigyeléskor bizonyos  $\rho$  valószínűséggel tévedhet. Azonkívül erről a keresett elemről az előző megfigyelések eredményeitől függő véletlenszerű időpontban lehet dönten. Ilyen feladat esetén természetesen nem találhatjuk meg bizonyossággal az ismeretlen elemet. Információelméleti megfontolások segítségével M. V. BURNAZSOV és K. S. ZIGANGIROV erre a feladatra vonatkozóan elég egyszerű keresési stratégiát épített fel, és kimutatta, hogy a javasolt stratégia aszimptótikusan optimális, amikor a döntéshozatal adott hibavalószínűsége zérus felé tart. Egy másik érdekes, többciklusos munkában három szovjet matematikus, M. Sz. PINSZKER, M. B. MALJUTOV és V. L. FREJLINA, ugyancsak korrigálatlan elemek hibázható műszerrel való keresésével kapcsolatos feladatot tárgyalt. Azonkívül itt a konkrét technikai feltételek azt is megszabták, hogy a keresési stratégia nem függhet az előző megfigyelések eredményeitől. Ennek a feladatnak a megoldásához M. Sz. PINSZKER, M. B. MALJUTOV és V. L. FREJLINA sikerrel használta fel a kódoláselmélet néhány tételét.

Jelentékeny munka folyt alakfelismerési feladatok matematikai apparátusának kidolgozása terén.

A SzUTA számos intézetében (IPCs, IPPI stb.) és a MTA több intézetében, azonkívül főleg a Távközlési Kutató Intézetben nagyarányú munkát végeznek, amelynek célja módszerek kidolgozása alakfelismerési feladatok széles osztályainak megoldására. Mint tudjuk, ilyen feladatok tekintetében az iteratív valószínűségi eljárások apparátusa a matematikailag adekvát apparátus. A két akadémia munkatársai sikerrel dolgozták ki az efféle eljárások elméletét. Szovjet részről ebben a kölesönös kapcsolatok tartásával végzett munkában Ja. Z. CÜPKIN, M. A. AJZERMAN és munkatársaik: M. V. NEVELSZON és R. Z. HASZMINSZKIJ, magyar részről RÉVÉSZ PÁL, KOMLÓS JÁNOS, CSIBI SÁNDOR, GULYÁS OTTÓ, GYÖRFI LÁSZLÓ, KOCSIS JÁNOS és mások vettek részt. Míg a szovjet munkákban a fő figyelmet a tanuló mintavétel független elemeivel kapcsolatban az algoritmusok konvergenciájának problémáira fordították (lásd pl. M. A. AJZERMAN, É. M. BRAVERMAN és L. I. ROZENOER munkáját [4]), addig a magyar tudósok számos munkájában azt az esetet is tárgyalták, amikor ennek a mintavételnek az elemei enyhén függenek egymástól (ld. CSIBI SÁNDOR munkáját [5]). Az említett szovjet kutatók [4] kidolgozták tanulási feladatokra a potenciálfüggvények módszerét. Magyar részről GULYÁS OTTÓ, CSIBI SÁNDOR és mások ezt a módszert munkáikban érdekesen általánosították. A szovjet és magyar tudósok e téren folyó szoros együttműködését a következő példával igazolhatjuk.

A szovjet matematikusok közül NEVELSZON és HASZMINSZKIJ [6] bebizonyította, hogy a Robbins—Monroe folyamatra épülő regressziós függ-

vény négyzetgyökére alapuló normált becslésnek léteznek véges momentumai, nevezetesen akkor, ha a regressziós függvényt lineáris függvénnyel majoráljuk. Ugyanők kimondták e munkájukban azt a feltételezést, hogy az eredmény érvénytelenné válik akkor, ha a regressziós függvény korlátos. A magyar matematikusok munkájában [7] azután ki is van dolgozva egy példa, amely megmutatja, hogy az említett eredmény [6] érvényét veszti, ha a regressziós függvény korlátos vagy a lineárisnál lassabban nő a végtelenig.

A szovjet és magyar tudósok együttműködésének eredményeképpen az iteratív valószínűségi eljárások sok fontos aspektusa került kidolgozásra. Valószínűleg várható a közeljövőben új iteratív eljárások kidolgozása statisztikus feladatok szélesebb osztályának megoldására.

Az alaptudományok terén folyó szovjet–magyar együttműködés fontos eredménye volt komplex modellrendszer létrehozása az alakfelismeréssel kapcsolatos népgazdasági feladatok megoldására. Ez a rendszer elsősorban kardiológiai információ feldolgozására irányul. 1972 végére a Távközlési Kutató Intézet az IPPI-vel folytatott együttműködés keretében elkészítette kis számítógép segítségével végzett tömeges elektrokardiográfiai vizsgálatok automatizált rendszerének működő kísérleti mintáját. Az ezzel a mintával való megismerkedés, jellemzőinek ellenőrzése, üzemképességének kiértékelése és a további munkatervek megtárgyalása céljából 1972 végén kiküldetésben Budapesten tartózkodott V. V. SAKIN, az IPPI munkatársa, a fizika-matematikai tudományok kandidátusa. A kidolgozott rendszer hozzáférhető és hatásos eszközt nyújt a szív- és érrendszerbetegségek korai stádiumban történő diagnosztizálásához és megelőző kezeléséhez, s lehetővé teszi a lakosság tömeges EKG-vizsgálatait (a szív- és érrendszerbetegségeknel egyébként kevésbé elterjedt tüdőbetegségek kiszűrését célzó totális fluorográfiai vizsgálatok mintájára). Az automatizált elektrokardiográfiai rendszer kidolgozásának további irányai az IPPI-ben kidolgozás alatt levő szoftverhez és a szocialista országokban bevezetett ÉSz-1010 típusszámítógéphez kapcsolódnak. V. V. SAKIN jelenlegi, hosszabb időre szóló magyarországi kiküldetése elősegíti ennek a munkának sikeres befejezését és átültetését a gyakorlatba.

Az információelméletnek és alkalmazásainak terén folyó szovjet–magyar együttműködés ékesszóló példája a szolid, szakszerű tudományos együttműködésnek, amely az alapvető tudományos, mondhatnók tisztán akadémiai jellegű kérdésekkel kezdődött, de a továbbiakban az országaink népgazdasága számára fontos konkrét gyakorlati munkához vezetett. Joggal mondhatjuk, hogy a szovjet–magyar tudományos együttműködés a jövőben kétségtelenül még hatékonyabbá válik, országaink népeinek javára.

## IRODALOM

1. RÉNYI, A.: On the Amount of Information Concerning an Unknown Parameter in a Sequence of Observations. *Publ. Math. of Hung. Acad. Sci.*, 9 (1964), ser. A, N. 3, pp. 617—625.
2. М. С. ПИНСКЕР: Информация, содержащаяся в наблюдении, и асимптотически достаточные статистики. *Проблемы передачи информации*, том 8 (1972), № 1
3. ИБРАГИМОВ И. А.—НАС'МИНСКИЙ Р. З.: On the Information in a Sample about a Parameter. *Proc. 2<sup>nd</sup> Intern. Symp. on Information Theory*, Budapest, 1973
4. АЙЗЕРМАН, М. А.—БРАЗЕРМАН, Э. М.—РОЗОНОЭР, Л. И.: Метод потенциальных функций в теории обучения машин. Москва, Наука 1970
5. CSIBI, S.: Learning under Computational Constraints from Weakly Dependent Samples. *Proc. 3<sup>rd</sup> Intern. Symp. on Information Theory*, Moscow—Tallin 1973
6. НЕВЕЛЬСОН, М. Б.—ХАСЬМИНСКИЙ, Р. З.: О сходимости моментов процедуры Роббинса-Монро. *Автоматика и телемеханика*, 1973, № 1
7. KOMLÓS, J.—RÉVÉSZ, P.: A Modification of the Robbins-Monroe Process. *Studia Sci. Math. Ac. Sci. Hung.*, 1974

**The Results and Perspectives of the Soviet—Hungarian Cooperation in the Field of Information Theory and its Application.** The paper discusses the evolution of the Soviet—Hungarian development in the field of a very important science, the information theory and its practical applications. It enumerates those conferences and other events, where there was occasion for the cooperation of Soviet and Hungarian scientists, also listing the names of the participants and the titles of their lectures.

**Die Ergebnisse und Perspektiven der sowjetisch—ungarischen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Informationstheorie und ihrer Anwendung.** Der Verfasser gibt die Entwicklung der sowjetisch—ungarischen Zusammenarbeit auf einem sehr wichtigen wissenschaftlichen Gebiet, der Informationstheorie und ihrer praktischen Anwendung, bekannt. Im Zusammenhang damit werden die verschiedenen Konferenzen und sonstigen Veranstaltungen aufgezählt, wo sich Gelegenheit zur Zusammenarbeit der sowjetischen und der ungarischen Wissenschaftler ergab, und die Namen der Teilnehmer und die Titel ihrer Vorträge angegeben.



# EREDMÉNYEK AZ INFORMÁCIÓELMÉLET ÉS FELISMERÉSI PROBLÉMÁK KÖZÖS KUTATÁSÁBAN, VALAMINT A SZÍV- ÉS ÉRRENDSZERI VIZSGÁLATOK SZÁMÍTÓGÉPES MÓDSZEREINEK KIDOLGOZÁSÁBAN\*

CSIBI SÁNDOR\*\*

A MATEMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Szerző a címbeli tárgykörbe vágó magyar–szovjet közös kutatások célját, témaválasztását, valamint a közös kutatómunkában résztvevő intézményeket és azok kapcsolatát ismerteti. Röviden foglalkozik a számítógépeknek a kardiológia terén való alkalmazási lehetőségeivel és áttekintést nyújt az e téren elért eredményekről, az alkalmazott rendszerekről, valamint az azok továbbfejlesztésére vonatkozó hazai tervekről.

## 1. Bevezetés

A magyar–szovjet tudományos műszaki együttműködés 25 éves jubileumi ülészakán CSAKI és SZIFOROV akadémikus átfogó képet adott a magyar és szovjet tudományos iskolák munkakapcsolatairól a szabályozás- és információelméletben [1], valamint ismertette a közös munka eddigi tapasztalatait speciálisan az információelméleti kutatásban és egy – felismerési módszerekre támaszkodó – szolgáltató rendszer kidolgozásában [2]. SZIFOROV akadémikus arra is rámutatott, hogy ez utóbbi konkrét munkában kardiológiai tömegvizsgálatok segítésére törekszünk, számítógép felhasználásával.

Szerző jelen dolgozata a fentemlített két tanulmányhoz csatlakozik néhány olyan megjegyzéssel, amelyek a két akadémia közös tudományos munkatervének 10. témájára, nevezetesen az információelmélet és felismerési problémák kutatására és a már említett szolgáltatásrendszer kidolgozására vonatkoznak.

## 2. Cél

Látható, hogy a téma célja (a) kötetlen véleménycserék biztosítása matematikai problémákkal foglalkozó magyar és szovjet kutatók közt és (b) egy – közvetlen gyakorlati jelentőségű és a felismerési módszerek szélesebb

\* Elhangzott az MTA VI. osztályának tudományos ülésén, Budapesten 1974. szeptember 19-én, a magyar–szovjet tudományos műszaki együttműködés 25 éves jubileumi ülészakán.

\*\* Prof. Dr. Csibi Sándor, Budapesti Műszaki Egyetem, Híradástechnikai Elektronika Intézet, 1111 Budapest, Stovczek u. 2.

## I. táblázat

*Intézetközi szemináriumok 1968-tól*

Szovjet	Magyar
intézetek	
SzUTA IPPI esetenként: Szteklav Mat. Int. IPU MGU	TKI MTA Mat. Kut. Int. MTA SZTAKI JATE, Kib. Lab. BME, Aut. Tsz. BME, HEI

körére jellemző — tömegszolgáltatás kidolgozása, az R 10 számítógép felhasználásával.

Amint arra már SZIFOROV akadémikus is rámutatott, 1968 óta évenként intézetközi szemináriumok és nemzetközi konferenciák egymásutánja biztosítja az információelmélet és a statisztikai információfeldolgozás módszereivel foglalkozó magyar és szovjet kutatók rendszeres találkozását. Ez a tevékenység az utóbbi két évben — örvendetes módon — újabb publikációs fórumot kapott az MTA és a SZUTA „A szabályozás és az információelmélet problémái” című közös folyóiratában.

E kötetlen tevékenység természetesen nagy jelentőséggel bír a résztvevő hazai intézetek munkamódszereinek és gondolkodásmódjának fejlődésében, mind a kutatásban, mind a gyakorlatban.

A közös tudományos tevékenységben résztvevő magyar és szovjet intézményeket az I. táblázatban soroljuk fel.

Másrészt, 1969 óta egy — a számítástechnikai tömegszolgáltatások szélesebb köre számára is tanulságos — konkrét feladatot (nemzetközi szervezetek szokásos műszavával „pilot project”-et) dolgozunk ki, kardiológiai tömegvizsgálatok segítésére, az R 10 számítógéppel.

Ez utóbbi — konkrét gyakorlati célú — munkában résztvevő intézmények a II. táblázatban vannak felsorolva.

## II. táblázat

*Kardiológiai vizsgálatok segítése számítógéppel 1969-től*

Szovjet	Magyar
intézetek	
SzUTA IPPI MONIKI Boltinszkkaja kórh. (COLIU)	OKI TKI

### 3. A gyakorlati témaválasztásról

E kettős célkitűzés alapötlete még 1968-ból, BOGNÁR és SZIFOROV akadémikus e témakörrel kapcsolatos első véleménycseréiből származik, és már eredetileg — igen szándékosan — azt célozta, hogy az akadémiák közötti együttműködésben is lehetőség legyen tartós kötetlen tudományos életre és ezzel egy komplex gyakorlati feladat együttes kidolgozására.

Az R-10 számítógépre irányította a figyelmet hazánkban az Egységes Számítástechnikai Rendszerbe — és ezen belül elsősorban kiszámítógépek kidolgozásába való bekapcsolása. Az akadémiai és az ipari célok összekapcsolásában jelentős szerepe volt VÁRADI Imrének, a Távközlési Kutató Intézet vezérigazgatójának. Segítette az effajta témaválasztást a Magyar Tudományos Akadémiának az a határozott célkitűzése is, hogy a hazai tudományos élet nyújtson hatékony alátámasztást a számítástechnikai alkalmazások alapvető tudományos módszereinek fejlesztésében.

Természetesen lényeges volt e határozott gyakorlati törekvések kialakításában mindaz a közvetlen tapasztalat és személyes élmény, amelyet a korábbi tíz évben a Távközlési Kutató Intézet és a moszkvai Rádió Tudományos Kutató Intézet (a NIIR), személy szerint FORTUSENKO professzor, igazgató és BOGNÁR akadémikus, munkatársaikkal — ezek között az előadóval — szereztek szélessávú rádiórelérendszer, különösen a Druzsba rádiórelérendszer, közös kidolgozásában [3].

A konkrét téma pontos kitűzését az irodalom és különféle próbafeladatok tanulmányozása előzte meg. Kerestük azt, hogy az effajta felismerési jellegű tömegszolgálatok közül melyik ígér elég gyakori és széleskörű alkalmazást és ugyanakkor elég sok (és más gyakorlati feladatok megoldásában is felhasználható) tanulságot.

Lényeges volt e tekintetben az IPPI, személy szerint SZIFOROV akadémikus, igazgató és OVSZEJEVICS igazgatóhelyettes szerepe azzal, hogy kollektívánknak az első moszkvai szemináriumon előtanulmányként bemutatták az IPPI alakfelismerési jellegű kutatásait. A végső választásban lelkes társakra találtunk az Országos Kardiológia Intézetben, nevezetesen GÁBOR professzorban és munkatársaiban.

Végeredményben konkrét rendszerkidolgozási feladatként a kardiológiai tömegvizsgálatok segítségét választottuk az alábbi két okból: (a) az egészségügyi információs rendszerek növekvő társadalmi jelentőségét és várható fokozatos elterjedését figyelembe véve, és (b) a szív és az érrendszeri megbetegedések gyakorisága miatt a tömeges betegellátásban.

### 4. Kapcsolatok az információelméletben

E tanulmány keretében elsősorban arra szeretnénk néhány konkrétum kapcsán rámutatni, miben mutatkozik kapcsolataink gyakorlati jelentősége a SzUTA tudományos iskoláival — elsősorban az Információközlési Problémák

## III. táblázat

## Kapcsolatok az információ-elméletben

Eredmények	Jelentőség
Az információközlés elvi lehetőségei a való élethez közel- álló reprodukciós feltételek mellett ( $\varepsilon$ -entrópia, kódolási tételek) (DOBRUSIN, PINSZKER, MARTON)	Lehetőség reprodukciós kritériumok vizsgálatára. Az analóg információközlésben lényeges
A visszacsatolásos információközlés elvi lehetőségei és hatékony algoritmusai (PINSZKER, DOBRUSIN, HASZMINSZKIJ, ZIGANGIROV)	A távadatfeldolgozásban
Az információközlés elvi lehetőségei bonyolultsági meg- szorítások esetén (PINSZKER, DOBRUSIN és mások)	A távadatfeldolgozásban
Forráskódolás és a zajmentes csatorna kódolási tétele (CSISZÁR, MARTON)	A távadatfeldolgozásban
Több forrás és felhasználó szimultán kiszolgálása (KÖRNER)	A számítástechnikai hálózatokban
Becslések hatékonysága (IBRACINOV, HASZMINSZKIJ)	Az információfeldolgozásban
Információmennyiségek statisztikai célra, becslések (RÉNYI, CSISZÁR, PEREZ, NEMETZ, VAJDA, FRITZ, GYÖRFI)	Az információfeldolgozásban

Intézetével (az IPPI-vel) — sajátosan az információelmélet területén. Információelméleten — itt a szűkebb értelemben — az információ mennyiségek vizsgálatához kapcsolódó valószínűségszámítási módszereket értjük.

Az információelmélet ebben az értelemben véve, sajátos módon, az információközlés és feldolgozás elvi lehetőségeivel foglalkozik, végeredményben annak a feltárásában segít, hogy milyen hatékonyak a kezünkben levő módszerek az egyáltalán elérhető lehetőségekhez képest.

Természetesen alapvető jelentősége van az információelméleti vizsgálatoknak (a) az információközlés és feldolgozás kérdésével kapcsolatos tiszta kép kialakításában és (b) különféle konkrét kutatási problémákban.

A mikroelektronika fejlődésével és az algoritmusmegvalósítási költségek rohamos csökkenésével azonban — mind az információfeldolgozásban, mind az információközlésben — egyre bővül azoknak a mindennapi tervezési problémáknak is a köre, amelyekben feltűnő különbségekre vezet az, hogy a tervező a rendelkezésre álló lehetőségeket jól vagy rosszul aknázza-e ki.

Ennek megfelelően az információelmélet mind több kérdése kerül közelebb a széleskörű tervezési gyakorlathoz. Ez a fejlődési irányzat külön jelentőséget ad e téma információelméleti problémákkal kapcsolatos részének, nevezetesen az IPPI információelméleti kutatásával való szoros kapcsolataink-

nak, valamint a hazai információelméleti hagyományok ápolásának és továbbfejlesztésének. SZIFOROV akadémikus áttekintése is már rámutatott arra, hogy e hazai „hagyományok” RÉNYI akadémikussal — a hazai információelméleti kutatás négy és fél éve elhunyt megalapítójával — kezdődtek.

A III. táblázat ezeket a szempontokat figyelembe véve szövegezi le a magyar — szovjet információelméleti kapcsolatoknak különösképpen jellemző fő munkaterületeit, a hozzájárulókat és a címszavak gyakorlati jelentőségét.

A III. táblázat nem tartalmazza a szovjet információelméleti iskolák több nemzetközileg lényeges eredményét, nevezetesen azokat, amelyekhez — legalábbis e téma keretében — valamilyen hazai aktivitás tartósan nem kapcsolódott (feladataink szűkebb köre, vagy esetleg csak az egyoldalúság miatt). Az áttekintés, természetesen, hazai tekintetben sem tér ki mindenre.

Szerző további tájékoztatásként utal Sziforov akadémikus előadására [2], CSISZÁR Imrével és GORDOS Gézával 1972. elején írt helyzetképére [7], az ezévi budapesti Pinszker-szemináriumról írt beszámolóra [5] és A. WYNER ez év elején publikált helyzetképére [6].

### 5. Kapcsolatok a felismerési problémákban

A témának ebben a részében figyelmünk elsősorban azoknak a módszereknek a továbbfejlesztésére irányult, amelyek segítségével előre garantálni lehet, hogy algoritmusok osztályozási és értelmezési szabályokat minősített egyedi esetek tömegéből megtanulnak. Ebben az értelemben statisztikai tanulási folyamatokkal foglalkozunk.

Különös jelentősége van ezzel kapcsolatban (a) a rekurzív becsléseknek (b) a számítási megszorításoknak (c) a megnyitó eljárásoknak, a leállítási szabályoknak és (d) a való életbeli körülmények — így például a minták közötti függőség — vizsgálatának. Ezek a kérdések voltak az eddigi munka súlypontjai.

SZIFOROV akadémikus ezzel kapcsolatos megjegyzéseihez kapcsolódva, ismét csak néhány jellemző pontra mutatunk rá, a hozzájárulók megnevezésével (IV. táblázat).

E munka közvetlenül kapcsolódik statisztikai tanuló algoritmusok tervezéséhez, és a 6. fejezet szolgáltatásaihoz. Erre az elméleti apparátusra támaszkodik az a programkönyvtári anyag, amelyet értelmezési szabályok gépi tanulására különféle próbafeladatokban már eredményesen használtunk, és a 6. fejezet szolgáltatásaiban is alkalmazni (és továbbfejlesztetni) kívánunk.

Erről a munkáról további áttekintést nyújt a már említett helyzetkép [7], a TKI-ban korábban írt áttekintés [8], a „Problémi Peredacsi Informacii”, az „Avtomatika i Telemekhanika”, „A szabályozás és az információelmélet problémái” több idegvágó cikke, valamint az MTA Matematikai Kutató Intézete és a TKI több időközben megjelent preprintje.

**IV. táblázat**  
*Felismerési problémák*

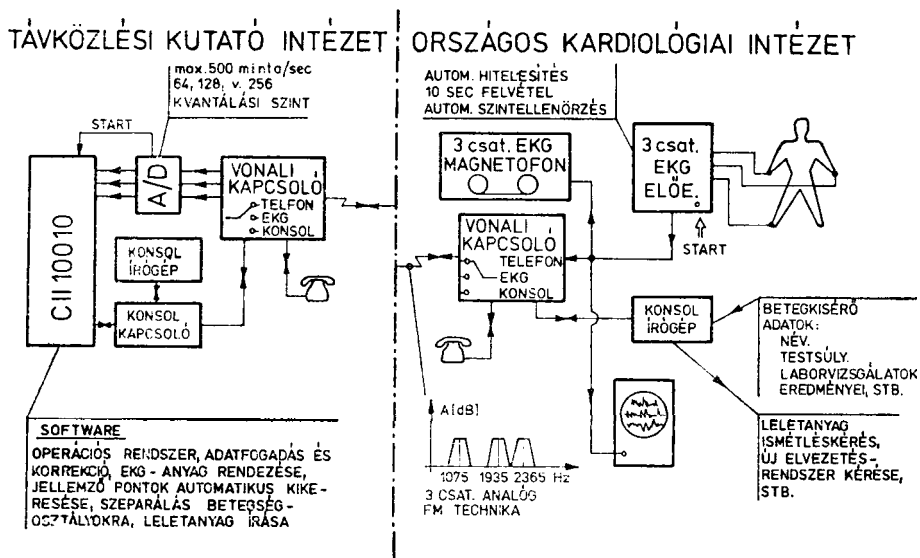
Eredmények	Jelentőség
Algoritmusok előre garantálható tanulóképességgel, független minták esetén (AJZERMAN, CÜPKIN, BRAVERMAN, ROZONOER, HASZMINSZKIJ, NEVELSZON, GULYÁS, GYÖRFI)	A rekurzív tanulás alapvető algoritmusai
Sűrűségfüggvény-bebecslések továbbfejlesztése (RÉVÉSZ, REJTŐ, MAJOR)	Konzisztens becslések
Ljapunov-típusú tételek (BRAVERMAN, ROZONOER, CSIBI)	Folyamatok stabilitása
A hibavalószínűség szimultán becslése, hibavalószínűségben optimális közelítések (GYÖRFI, FRITZ)	Leállítási problémák, célszerű közelítések
Függés kiaknázása, rekurzív tanulás gyengén függő mintákból, tanulóképességek vonzási tartománya (RÉVÉSZ, CSIBI)	Tanuló algoritmusok munkaterületének a bővítése, számítási megszorítások tekintetbe vétele.

E téma keretében sajátosan felismerési problémák statisztikai kérdéseire szorítkozunk. Mind az MTA, mind a SzUTA keretében természetesen növekszik az aktivitás a felismerés strukturális módszereiben, nevezetesen a képfeldolgozásban, a színhely-analízisben és más vonatkozásokban. Ezekkel a módszerekkel azonban — a MTA—SzUTA témában lehet, hogy túlzott egyoldalúság miatt — jelenleg nem foglalkozunk.

Mind az információelméletben, mind felismerési problémák vizsgálatában közvetlenül kapcsolódunk azokhoz a valószínűségelméleti és statisztikai kérdésekhez, amelyekről ARATÓ Mátyás, az MTA-SzTAKI igazgatóhelyettese számolt be [4].

### 6. Kardiológiai vizsgálatok segítése számítógéppel

Ma már kardiológiai vizsgálatok segítségének számítógéppel sokoldalú irodalma van. Ebből azonban — jelentős eredmények mellett is — jól látszik, hogy az effajta szolgáltatások módszerei még erősen fejlődésben vannak. A módszerek fejlődése mindenképp új lehetőségeket nyit a kardiológus számára, és mindez további problémákat vet fel. Effajta szolgáltatások létrehozása minden egyes újabb autonóm orvosi kollektívában — a dolog természete miatt — hosszú idejű és rendszeres együttes munkát kíván, kardiológusok és rendszertervezők körében.



1. ábra. Az OKI és a TKI CII 10010 alapú kísérleti rendszere

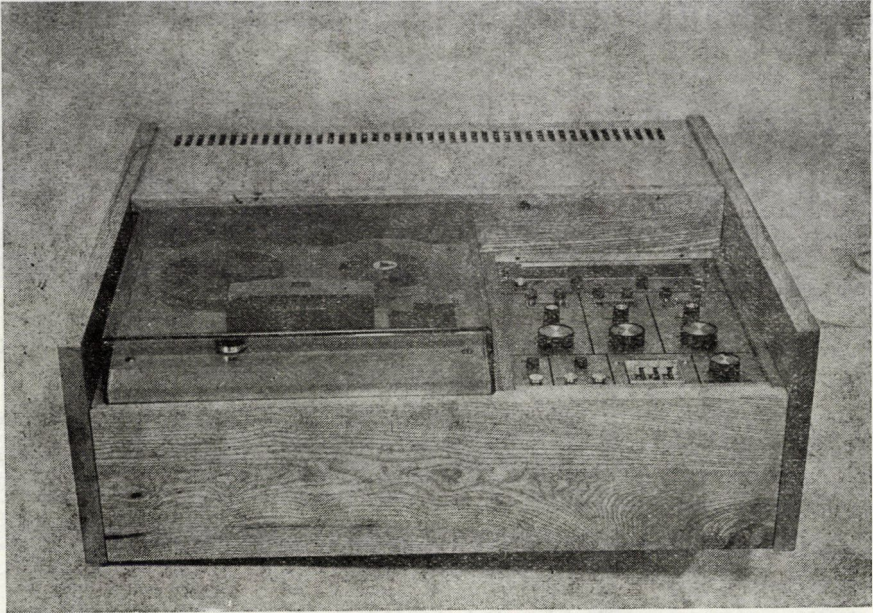
E konkrét szolgáltatás-kidolgozás célja végeredményben a következő: (a) szűrő- és alkalmassági vizsgálatok adattömegének utólagos elemzése és értelmezése, (b) kardiológiai vizsgálatok segítése a páciens jelenlétében, (c) a konzultáció, (d) az oktatás, (e) az archívanyagok elemzésének segítése.

Természetesen, az akadémiai kutatás jellegének megfelelően — mindezek során — minél több új lehetőséget kívánunk nyújtani a vizsgálatot végző kardiológusnak, gyakorlati és matematikai módszerekre támaszkodva.

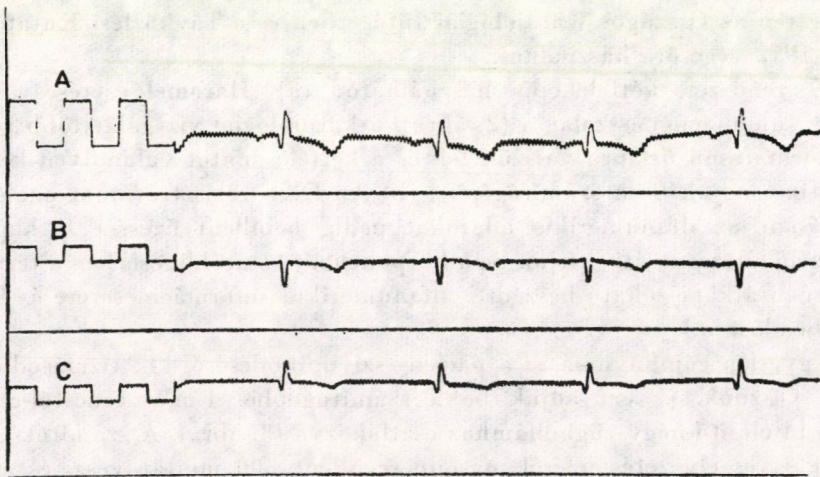
Az 1. ábrán látható az a CII 10010 alapú kísérleti rendszer, amelyet Budapesten az Országos Kardiológiai Intézetben és a Távközlési Kutatóintézetben 1972 vége óta használunk.

E rendszer kétféleképp használható: (a) Háromelvezetéses EKG-regisztrátumot mágnesszalagra (2. ábra), a kardiológiai vizsgálat több adatát előírt formátumú űrlapra vesszük fel, és a kétféle adatot valamilyen későbbi időpontban adjuk be a számítógépbe. (b) Az EKG-regisztrátumot analóg jel formájában, az alfanumerikus adatokat pedig bebillyentyűzéssel — kapcsolt távbeszélőhálózaton át — írjuk be a központba. (Az utóbbi esetben a terminál egyszerűen átkapcsolható beszédre, alfanumerikus információcserére és EKG-jelek beadására.)

Egyetlen gombnyomásra a páciens szív működéséről kb. tízmásodperces mintát veszünk, és ezt adjuk be a számítógépbe, 1 mW csúcstól-csúcsig terjedő hitelesítő-négyszög hullámhoz csatlakozva (3. ábra). A számítóközpont minden egyes elvezetés jeléről másodpercenként 300 mintát vesz, és az így nyert analóg mintákat kb. 128 szintre kerekíti.

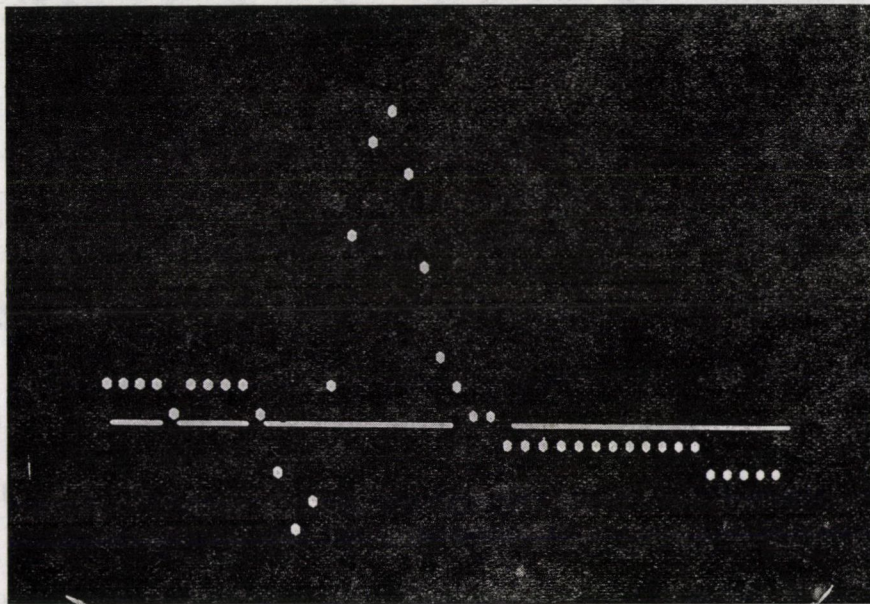


2. ábra. Mágnesszalagegység



3. ábra. Rajzgépen digitális adatokból visszarájzolt regisztrátum





4. ábra. Egy elvezetés részlete kísérleti célra, alfanumerikus megjelenítő ernyőjén

Ezen a rendszeren 1972 folyamán első változatban kipróbáltuk a teljes programrendszer valamennyi funkcióját leletadásig bezárólag, de zajos élő pácienseken a mérési eredmények rossz reprodukcióját tapasztaltuk. Jelenleg egy nagyobb zajvédelemmel rendelkező program csupán a vektorkardiográfiai jellemzésig bezárólag működik. Egyfajta kapcsolódó, leletadó program most van kidolgozásban.

A program szemantikus-zajvédelem, hitelesítés, alapvonal-meghatározás, koordináta- és vektornagyságszámítás, valamint szegmentálás után ritmikus esetben további 8 perc elteltével adja tovább egyetlen kiválasztott pacensperiodus három koordinátagörbéjét és vektornagyság-görbéjét, leletadásra. Ellenkező esetben aritmiát jelent.

A kidolgozásnak ezen a fokon már megbízhatóan tudunk archivanyagot gyűjteni. Eddig kétszáz megfelelő diagnózissal ellátott- archiv-tételünk van, ami osztályozási szabályok gépi tanulásához, természetesen még mindenképp igen kevés. Az anyag eddiginél gyorsabb bővítését tervezzük jövő év elejétől további mágnesszalagos orvosi munkahely létesítésével Budapesten, illetve Moszkvában.

1973 végén települt a TKI-ban egy R-10 konfiguráció. Ezen 1975 második felében ugyanazokat a szolgáltatásokat kívánjuk létrehozni, ugyancsak az Országos Kardiológiai Intézetben, mint amellyel ez év végén a jelenlegi CII 10100 konfiguráción fogunk rendelkezni. A R-10 alapú szolgáltatásban azonban

becslések szerint -- már a jelenlegi algoritmus is a fenti nyolc perc helyett egy percen belül jut majd el a vektorkardiográfiai jellemzésig. Ezenkívül a jelenlegi távirógép kicserélését tervezzük, billentyűzettel ellátott alfanumerikus megjelenítőre.

Az alfanumerikus megjelenítő ábrázolási lehetőségeiről a 4. ábrán adunk áttekintést. Ez -- úgy tűnik -- kísérleti kardiológiai vizsgálatokban már használható. A gyakorlatban azonban -- a VT-ben kidolgozásban levő -- kvázi-grafikus megjelenítő alkalmazását és görbék ponttraszteres megjelenítését tervezzük.

Végeredményben munkánk az automatizálás fejlett fokán van, de a tulajdonképpeni kardiológiai tevékenységre még csak ezután lesz alkalmas.

Kardiológusaink, már eddig is rajzgépen, analóg formában újra előállított vektorkardiográfiai görbekomplexumon tanulságos vizsgálatokat végeztek fiziológiailag jellemző pontok automatikus kijelölésének az értelmezésére. Ezenkívül próbapéldákon -- és részben más orvosi feladatokon -- kipróbált tanulóprogramjaink vannak. Ezekkel készülünk archívanyagok egésze és különféle részadatai alapján osztályozási szabályok tanulására.

E munkában az Országos Kardiológiai Intézet részéről LAMM György, GHYCZY Kálmán, NÉMETH József és esetenként további ügyeletes kardiológusok, két asszisztens, a TKI részéről pedig -- a [8] -- hivatkozás társszerzőin túl -- B. NAGY András, BALOG Barna, CSÁNKI Ferenc, KERÉKES István, SZILLÉRI Andrásné, WOLF Tamás, SZÉLESI Ferencné, egy programozó technikus és egy orvos-számítástechnikai asszisztens vett részt. A kisszámítógéptermet korábban UNGVÁRI László vezette, most pedig NEMÉNYI Endre.

Itt Budapesten végez kutatást és rendszertervezést az IPPI témafelelőse, V. SAKIN a matematikai-fizikai tudományok kandidátusa. A 1972 elején egy hónapon, most pedig -- szeptember elejétől Keldis-ösztöndíjjal -- kilenc hónapon át dolgozik a TKI-ban és az OKI-ban.

Szolgáltatási tervünket felülbírált a Klinikai Kutatások Moszkvai Intézete a (MONIKI). A MONIKI, az IPPI és a Boltinszkaja kórház (a COLIU) delegációját az R-10 alapú rendszer szolgáltatásainak egyeztetésére jövő év első negyedére várjuk. Egyeztetni készülünk e szolgáltatásokat a SzU és a MNK Egészségügyi Minisztériumával, valamint az IFIP IV. technikai bizottságában e témakörben most születő „Minimális működési követelményekkel”.

## IRODALOM

1. CSÁKI Frigyes: A szovjet és a magyar tudományos iskolák munkakapcsolatainak fejlesztése a szabályozás és információelmélet területén, *Műszaki Tudomány*, abban a számban
2. SZIFOROV, V. I.: A szovjet—magyar együttműködés tapasztalatai és távlatai az információelmélet és annak alkalmazásai területén. *Műszaki Tudomány*, ebben a számban
3. VÁRADI Imre, BOGNÁR Géza, FORTUSENKO, A. D. előadásai, a Távközlési és Híradástechnikai Műszaki Nap, Technika Háza, 1973. szeptember 23-i ülészakán
4. ARATÓ Mátyás előadása, az MTA III. osztályának, 1974. szeptember 18-i ülészakán
5. „M. S. Pinsker Lecturing in Budapest”, Review, Problems of Control and Information Theory, to appear
6. WYNER, A. Review,; *IEEE Trans*, IT, Jan. 1974
7. GORDOS Géza—CSISZÁR Imre—CSIBI Sándor: Helyzetkép az információelméletéről. *A Távközlési Kutató Intézet Közleményei*, 19 (1973). Különszám
8. BAK J.—CSIBI S.—DÉVAI F.—GULYÁS O.—GYÓRFI L.—KOBZOS L.—MOLNÁR L.—SZÉKELY E.: Megfigyelések gépi értelmezésének matematikai és software kérdései. *A Távközlési Kutató Intézet Évkönyve* (1973) 285—294

**Results of the Common Research on Problems of Information Theory and Recognition, and in the Development of Computer Assistance to the Investigation of Cardiac and Vascular Diseases.** — The author discusses the aim and the choice of subjects of common Hungarian—Soviet research in the field described in the title, and enlists the Institutions taking part in the common research work and their cooperation. He investigates briefly the possibilities of applying computers in Cardiology and reviews the results, the systems used and the Hungarian plans for their further development.

**Ergebnisse der gemeinsamen Forschung von Problemen der Informationstheorie und der Erkennung, sowie in der Ausarbeitung von rechentechnischen Methoden für die Untersuchung des Herz- und Zirkulationssystems.** — Der Verfasser bespricht das Ziel und die Themenauswahl der ungarisch—sowjetischen gemeinsamen Forschungsarbeit auf den im Titel genannten Gebieten, und zählt die in der gemeinsamen Forschungsarbeit teilnehmenden Institutionen und deren Kontakte auf. Kucz beschäftigt er sich mit den Möglichkeiten der Anwendung von Rechnern in der Kardiologie und gibt einen Überblick über die auf diesem Gebiet erzielten Forschungsergebnisse, die verwendeten Systeme, sowie die einheimischen Pläne für deren Weiterentwicklung.



# MÁGNESES HIDRODINAMIKUS GENERÁTOR (MHD GENERÁTOR) KIFEJLESZTÉSE

SZENDY KÁROLY\*

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

Az MHD generátor működési elvét és a különböző típusokat ismertette, az eddig elért eredményekről áttekintés nyerhető. A szovjet tervszerű kutatási és fejlesztési munkák kedvező előrehaladása esetében 1985—90 között prognosztizálható szénhidrogén, majd széntüzelésű nyitott körfolyamatnak üzemszerű ipari alkalmazása, amely kezdetben az alaperőművekben 50%-os, későbbiekben 55÷60%-os energiaátalakítási hatásfokot biztosít, de lehetségesek gyorsan szabályozható csúcs, fél-csúcs, valamint távfűtéssel kombinált egységek is. E nagyszabású szovjet programban a plazmadiagnosztika területén hazai vizsgálatokkal vehetünk részt.

## I. Bevezetés

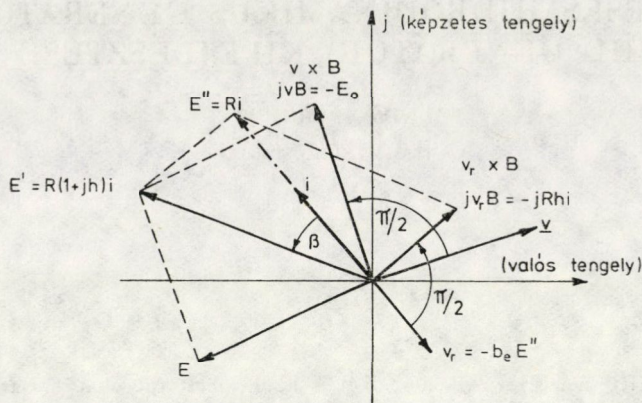
Ez a tanulmány egy perspektívnek ítélfelhető, a korszerű plazmatechnikát alkalmazó olyan tudományterületet kíván bemutatni, amelyben való részvételünk mellett saját eredményeinket is ismertethetjük.

A mágneses hidrodinamikusan generátor a nagyüzemű közvetlen energiaátalakítás egyik legperspektívvebb eszköze. Mint ismeretes, a potenciálisan felhasználható kémiai energia vagy a felszabadítható magenergia átadható valamilyen munkaközegbe hőenergia formájában. Ebből a hőenergiából közvetlen energiaátalakító berendezéssel villamos energia fejleszthető, legalább az első lépcsőben kihagyva a hő mechanikai energiává és a mechanikait villamos energiává átalakító eszközöket, nevezetesen a turbinát és a villamos generátort. Ilyen közvetlen energiaátalakító eszköz a hővillamos, a hőionos és a mágneses hidrodinamikusan generátor. Ezek közül közhasznú célra és nagyüzemi termelésre az utóbbi, röviden nevezve az *MHD* generátor felel meg.

## 2. Működési elv

A munkaközeg a jelenleg kísérlet alatt álló *gáz-MHD* generátorokban gyengén ionizált gáz (*MHD-plazma*), vagy a *folydék-MHD* berendezésben folyékony fém. Az utóbbi berendezés kétfázisú munkaközeggel működik, mert a folyadékfázishoz gázfázis is szükséges, amely a hőenergiát kinetikai energiává alakítja át. Az áramló munkaközegből villamos energiát mágneses

\* Prof. Szendy Károly, 1026 Budapest, Ábrányi E. u. 1.



1. ábra

tér segítségével a Faraday-féle indukció törvény alapján nyerhetünk. A lejátszódó fizikai jelenségek azonban bonyolultak.

Az egyenáramú villamosenergiát szolgáltatató gáz-MHD generátorban lejátszódó működési folyamat megértéséhez célszerű semleges gázmolekulákból, pozitív töltésű gázmolekulákból és szabad elektronokból álló összetételben stacioner állapotban, mint mikroszerkezetben vizsgálni az elemi részecskékre ható jelenséget. Megjegyzendő, hogy ez a modell több hatást figyelmen kívül hagy, de segítségével a folyamat követhető.

Ismeretes, hogy a  $B$  indukciójú mágneses mezőhöz képest  $v$  sebességgel áramló közegben (fluidumban) az  $E$  villamos térerősséghez hozzáadandó a sebességnek a mágneses indukcióval képzett vektor-szorzata, tehát az áramló munkaközeggel együtt haladó töltésrészecskékre ható eredő térerősség (1. ábra).

$$E' = E + v \times B.$$

Mivel az ionizált molekulák tömege  $3 \div 4$  nagyságrenddel nagyobb az elektronokhoz képest, ezért a mozgékonyaságuk ebben az arányban kisebb, mint az elektronoké. Ennélfogva az ionizált anyagi részecskék az MHD generátorban a semleges molekulákkal együtt haladóknak tekinthetők, az elektronok azonban a rájuk ható térerősség hatására a munkagázhoz képest  $v_r$  átlagos relatív (drift) sebességgel áramlanak. Emiatt az áramló munkaközeggel együtt haladó részecskékre ható  $E'$  eredő térerősséghez még hozzá kell adni a  $v_r$  relatív sebesség és a  $B$  mágneses indukció vektorszorzatát, így az elektronokra ható eredő térerősség

$$E'' = E' + v_r \times B.$$

Az összefüggések komplex számsíkban jól tárgyalhatók. Legyen a  $B$  mágneses indukció merőleges a számsíkra, az iránya pedig a vízszintesen elhelyezett síkra lefelé mutasson, így a  $v \times B$  indukált térerősség merőleges lesz

áramlás irányára (1. ábra). Ennek alapján az áramló közegben az eredő térerősség:

$$E' = E + jvB, \quad (1)$$

ahol  $E'$ ,  $E$ ,  $v$  komplex számok,  $B$  természetesen nem-negatív valós szám.

Az elektronok áramlási rendszerében a térerősség, az előzőekhez hasonlóan

$$E'' = E' + jv_r B. \quad (2)$$

Ennek hatására a munkaközegben, az elektron negatív töltése miatt a térerősség irányával ellentétes a relatív elektronsebesség, a  $b_e$  elektronmozgékonyosság (pozitív valós szám) figyelembevételével a következő:

$$v_r = -b_e E''. \quad (3)$$

A munkaközegben a többi ionizált részecskéhez képest előidézett elektronáramlás villamos áramsűrűséget hoz létre, amely a szabad elektronok számának  $n_e$  sűrűségéből és a  $q$  elektrontöltésből (mind a kettő pozitív valós szám):

$$i = -v_r n_e q. \quad (4)$$

A plazma fajlagos ellenállása a (3) és (4)-ből a következőképpen fejezhető ki:

$$R^{-1} = n_e b_e q. \quad (5)$$

A fajlagos ellenállás értékének felhasználásával az áramló közeg eredő térerőssége az áramsűrűség között, figyelembe véve a (2) és (3) kifejezéseket, a következő összefüggés állapítható meg:

$$E' = R(1 + jb_e B) i. \quad (6)$$

Ebben az összefüggésben szereplő  $b_e B$  értéket szokás  $h$  Hall-paraméternek nevezni, a fémvezetőben folyó áram és az indukció irányára merőleges, HALL által felfedezett, feszültségnek megfelelően. A Hall-szög az áramsűrűség és az áramló közegben az eredő térerősség vektora által bezárt szög, amelynek tangense az előbb említett Hall-parameter.

A hasznos villamos teljesítmény kihozatalára szükséges elektródák közötti feszültség az  $E$  villamos térerősségből adódik, amely viszont az (1) és (6) összefüggések alapján

$$E = -jvB + R(1 + jh)i.$$

Üresjáratban  $i = 0$ , tehát az üresjárási villamos térerősség

$$E_0 = -jvB, \quad (7)$$

amelyet, ha az előző kifejezésbe helyettesítünk, az egyenáramú gáz-MHD generátor működésének megértéséhez a következő egyszerű összefüggést nyerjük:

$$E = E_0 + R(1 + jh)i. \quad (8)$$

Az MHD generátorból nyerhető villamos teljesítménysűrűség nyilvánvalóan a villamos térerősség és az áramsűrűség vektorai skalár szorzatának negatív értéke, tehát

$$P_e = -E \cdot i. \quad (9)$$

Komplexszámok skalár szorzata, mint ismeretes, a konjugált értékek segítségével a következőképpen adódik:

$$P_e = -\frac{1}{2}(Ei + \hat{E}i),$$

ahol  $\hat{E}$ ,  $\hat{i}$  az  $E$ ,  $i$  konjugáltja.

$E$  teljesítménysűrűséghez az Ohm törvénnyel leírható súrlódási veszteség sűrűséget hozzáadva kapjuk a bevezetett teljesítmény sűrűséget. A veszteség-sűrűség:

$$P_v = Ri^2. \quad (10)$$

A (9) és (10)-ből tehát a bevezetett teljesítménysűrűség:

$$P_0 = -E_0i. \quad (11)$$

A működésre jellemző veszteségviszony a veszteség és a bevezetett teljesítmény sűrűségeinek hányadosa, így

$$k = -\frac{Ri^2}{E_0i}. \quad (12)$$

Természetesen  $k$  nem tartalmazza az MHD generátor csatorna egyéb veszteségeit, pl. hőveszteség, munkaközeg súrlódása.

A (12) egyenlet alkalmas előírt  $k$  veszteségviszony esetében az  $E_0$  üresjárási feszültségből az áramsűrűség kiértékelésére,

$$i = \frac{kE_0 \sin\vartheta}{R}, \quad (13)$$

ahol  $\vartheta$  a munkagáz áramlási irányához képest az áramsűrűség szögeltérése.

Ennek alapján a plazmából kinyerhető villamos teljesítmény sűrűségére a következő egyszerű összefüggés alkalmazható:

$$P_e = C \frac{E_0^2}{R}, \quad (14)$$



ahol a teljesítménysűrűség együtthatója

$$C = k(1 - k) \sin^2 \vartheta. \quad (15)$$

A (14)-ből megállapítható, hogy törekedni célszerű kellően nagy üresjárási térerősségre, kis fajlagos ellenállásra és még elfogadható veszteségviszony mellett elegendő nagy teljesítménysűrűségi együtthatóra. Az üresjárási feszültség növeléséhez a (7) alapján munkaközeg nagy sebessége és nagy mágneses indukció szükséges. A fajlagos ellenállás csökkentésére megfelelő ionizált állapotot kell biztosítani. A teljesítménysűrűségi együtthatót az elektróda kiképzéssel lehet befolyásolni.

$$P\acute{e}lda: \text{ Legyen } B = 4T, V = 800 \text{ m/s}, \frac{1}{R} = 20 \frac{1}{\text{ohm m}}, k = 0,2, \vartheta = 90^\circ.$$

Ebben az esetben

$$C = 0,16,$$

az üresjárási feszültség

$$E_0 = -j 800 \cdot 4 \text{ V} = -j 3,2 \text{ kV},$$

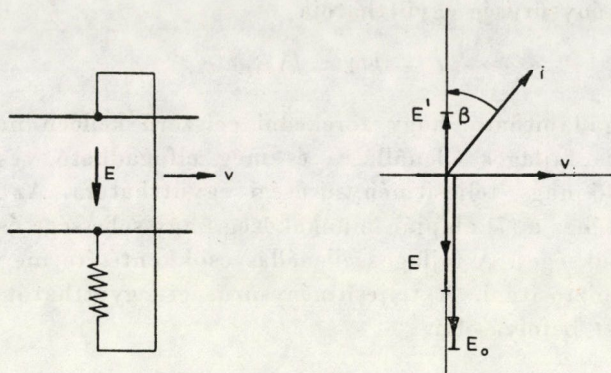
a plazmából kinyerhető teljesítménysűrűség

$$P_e = 0,16 \cdot 20 \cdot 3,2^2 = 0,16 \cdot 205 = 32,6 \text{ MW/m}^3.$$

### 3. Gáz munkaközegű típusok osztályozása

Az osztályozás többek között lehetséges: a teljesítmény kicsatolása, a körfolyamat és az ionizáció szerint.

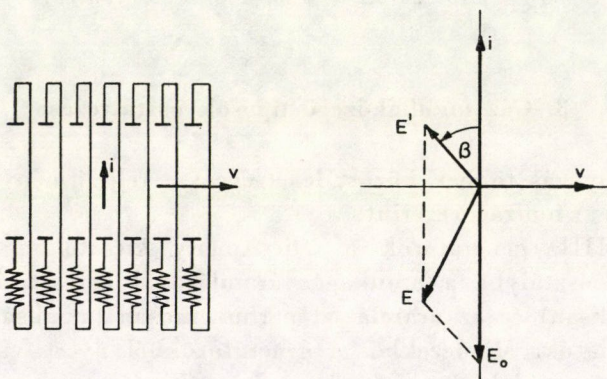
- Az MHD generátorok a teljesítmény kicsatolása szempontjából két főosztályba a munkagáz áramlásával keresztirányban (tranzverzálisan) és az áramlással párhuzamosan (axiálisan) működőbe sorolhatók. Mindezekből a generátorokból nyert villamos energia *egyenáram* alakjában jelenik meg, a *változóáramú* kicsatolás, a jelenlegi ismereteink szerint gáznemű munkaközeg számára még megfelelő módon nem oldható meg.
- A hőkörfolyamat alapján *nyitott és zárt ciklus* különböztethető meg. A nyílt körfolyamat a fosszilis tüzelőanyag elégetése után nyert füstgázzal működik, amely munkavégzés után eltávozik. A zárt ciklusban az általában nemes gázt tartalmazó munkagáz nem hagyja el a körfolyamatot. Mindkét esetben a megmaradó hőenergiát hőkicserélő vezeti tovább.
- A munkagáz *ionizáció* szerinti osztályozása lehetséges egyensúly és nem-egyensúlyi ionizáció megkülönböztetéssel.



2. ábra

Az energia kicsatolása szempontjából a következő típusok alkalmazása került szóba:

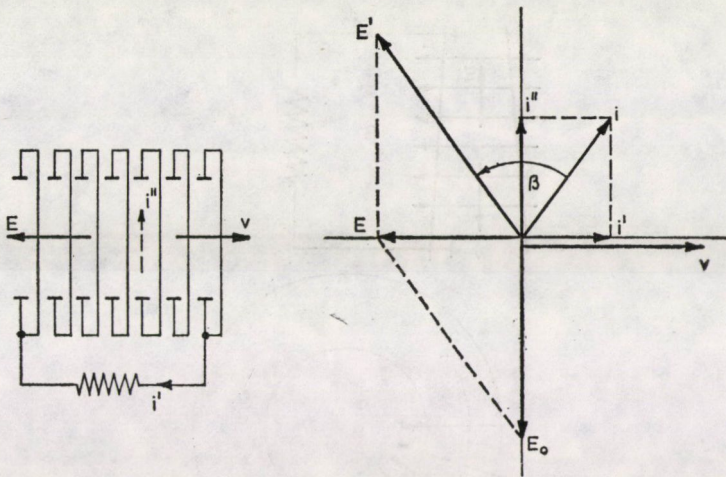
a) *Faraday-típusú MHD generátor*, amelynek két elektródája legyen a valós tengellyel azonos áramlás irányával párhuzamos (tranzverzális működésű). A 2. ábrán látható MHD generátor villamos térerőssége



3. ábra

szükségszerűen az áramlás irányára merőleges tehát a képzetes tengellyel párhuzamos. A képzetes tengellyel  $\beta$  Hall-szöget képező áramsűrűség az energia kicsatolás mértékét a (15) szerint csökkenti, ha azonban a Hall-szög kicsiny ( $15^\circ$ -nál nem nagyobb) a csökkenés elhanyagolható.

b) *Szegmentált elektródájú MHD generátor* esetében az előbbi sík-elektrodák osztottak és a sok elektródadarab egymástól villamosan jól

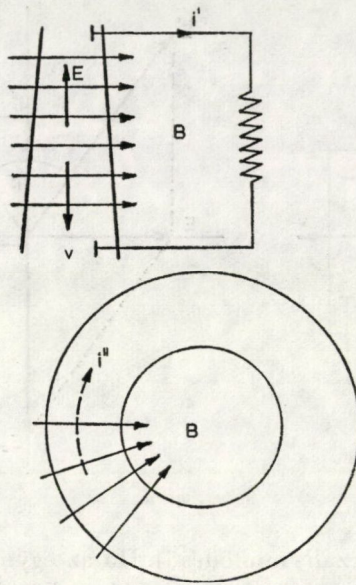


4. ábra

elszigetelt (tranzverzális működésű). Ha az egymással szemben álló elektrodák darabkákat kötjük össze hasznos áramkörökön keresztül, az áramsűrűség iránya lesz meghatározott és pedig a valós tengelylyel azonos irányú áramlás esetében a képzetes tengellyel párhuzamos (3. ábra). Ennek megfelelően az energiahasznosítás kedvezőbb, azonban tekintetbe kell venni, hogy az  $E$  villamos térerősségnek már az áramlás irányába, a valós tengelybe eső komponense is lesz. Ez az összetevő létesíti a Hall-feszültséget, amely nagyteljesítményű generátor esetén 10 kV-nál is nagyobb érték lehet. Ez a típus a tirisztoros, vezérelt áramirányítókat alkalmazva használható.

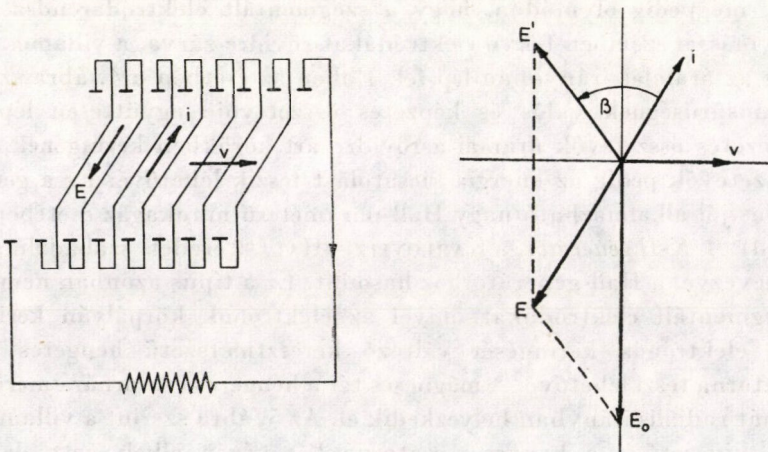
c) A Hall-típusú generátor az előbb említett Hall-feszültséget használja fel, mégpedig oly módon, hogy a szegmentált elektródarendszerben az egymással szemben fekvő elektródákat rövidre zárva, a villamos térerősség az áramlás irányában lép fel. Ebben az esetben a 4. ábra szerint az áramsűrűségnek valós és képzetes összetevője együttesen lép fel. A képzetes összetevők áramai a rövidrezárt körökben keringenek, a valós összetevők pedig az energia kicsatolást teszik lehetővé. Ez a generátortípus jól alkalmazható nagy Hall-paraméterű munkagáz esetében.

d) A  $K-H$  generátor, a KARLOVITZ—HALÁSZ eredeti szabadalma szerint elnevezve, a Hall-generátorhoz hasonlít. Ez a típus azonban nem igényel szegmentált elektródákat, mivel az elektronok körpályán keringenek. Az elektronok keringését változó keresztmetszetű hengeres munkacsatorna teszi lehetővé. A mágneses tér a hengeres csatornára merőlegesen tehát radiális irányban helyezkedik el. Az 5. ábra szerint a villamos energia kivezetését a hengeres csatorna két végén elhelyezett elektródok teszik lehetővé.



5. ábra

e) A ferde szegmentált elektródájú MHD generátor is szerepelt az egyes megoldások között. Ez a b) és c) pontokban tárgyaltak között foglal helyet, érdekessége, hogy adott Hall-paraméter esetében egy bizonyos terhelés mellett egy áramirányítót alkalmazva, optimális kicsatolás lehetséges (6. ábra).



6. ábra

#### 4. A fejlődés történelmi áttekintése

A mágneses hidrodinamika elvén már FARADAY London mellett a Temzében a szabad villamos töltéseknek a Föld mágneses tere hatására jelentkező elmozdulásával a folyó sebességét remélte megállapítani. A mágneses hidrodinamikusan energiaátalakítás szempontjából első számításba jövő elgondolást KARLOVITZ Béla és HALÁSZ Dénes 1935-ben benyújtott magyar szabadalma képezte, amely szerint a munkagáz csatornáját az előzőekben d) típusként említett 5. ábra mutatta be. Találmányuk a világ több, iparilag vezető államában szabadalmi oltalmat kapott. A szabadalom megvalósítására a Westinghouse-gyár egy kísérleti berendezést készített, amelyen 1939–1946 között vizsgálatokat végeztek. A kísérleti próbák folyamán a munkagáz ionizációjával kapcsolatban komoly nehézségek merültek fel. Az abban az időben még viszonylag kis, 1000 °C hőmérséklettel és 0,25 bar munkagáz nyomással működő berendezésben az elektronsugárral előidézett ionizációt nem sikerült fenntartani és a vizsgálatokat félbeszakították.

Az USA-ban KANTOROVITZ kezdeményezésére az 1950-es évek végén az MHD generátor kifejlesztésével ismét foglalkozni kezdtek. A rakéta hajtóművek fejlesztésével nagyobb hőmérsékletnek ellenálló anyagok már rendelkezésre állottak, az égéstechnika is előbbre haladt. A füstgáz külső ionizációja helyett pedig kis ionizációs potenciálú szóó anyag keverésével termikus, egyensúlyi ionizációt igyekeztek elérni. Emellett elindultak a zárt ciklusú, nemesgázzal működő csatorna nem egyensúlyi ionizációs kutatások is. Az amerikai példát több nyugat-európai ország is követte.

A Szovjetunióban az MHD generátor kialakítását 1960 elején kezdték el, és azóta ez a munka példászerű tervszerűséggel folyik. A világon az első villamos energiatermelésre alkalmas kísérleti MHD generátort a Szovjetunióban A. E. SEINDLIN akadémikus vezette akadémiai Nagyhőmérsékletű Intézetben helyezték üzembe. Az MHD kutatáshoz csatlakozott még Japán és a szocialista országok között viszonylag jelentős mértékben Lengyelország. Ezenkívül természetesen mint perspektív témának, több országban is kisebb kutató részlegei alakultak. Ezek között említhető Ausztrália, Kanada, Románia, Csehszlovákia. Hazánkban ebben az időben néhány elméleti vizsgálat készült, amelyek eredményei nemzetközi konferenciákon, szimpóziumokon is szerepeltek. Az 1960-as évek vége felé azonban Nyugateurópában az atomerőművek fejlesztésére összpontosított kutató munkák miatt, különös tekintettel a szaporító gyorsreaktorok kialakítása érdekében az MHD generátor fejlesztési munkáit oly mértékben lecsökkentették, hogy azok ezekben az országokban gyakorlatilag csak egyetemi tanszékeken találhatók.

A Szovjetunió az MHD generátorral kapcsolatos kutatásokat, a hatalmas fosszilis energiaforrás-készletére tekintettel, változatlanul tervszerűen tovább folytatja. Ez egyben arra is készíti az USA kutató szerveit, hogy az atomener-

gia és egyéb más kutatási programjuk mellett az MHD generátor kifejlesztésével nagyobb mértékben foglalkoznak és a szovjet illetékes intézettel tudományos együttműködést létesítsenek.

### 5. Szovjet kutatási tervvázlat

A Szovjet Tudományos Akadémia Nagyhőmérsékletű Intézetében az MHD generátor kifejlesztésére irányuló kutatás három részre tagozódik:

Az 1. rész tartalmazta a fizikai mágneses-hidrodinamikai alapkutatásokat és ezek mellett a nagyüzemű MHD generátor-berendezések jövőjének megállapítására szolgáló műszaki és gazdasági vizsgálatokat. Ez a munka 1960 ÷ 65 között folyt le.

A 2. rész magában foglalja az elméleti vizsgálatok alapján fizikai modellek és a nagyüzemű kísérletek számára próbaberendezések készítését az MHD generátor prototípusának kialakítása céljából. Ez az időszak 1965-től 1975-ig tart és két szakaszból áll:

a) Az első szakaszban az 1965-ben üzembe helyezett U-02 berendezéssel mintegy 20 különböző csatorna-modellen végeztek kísérletet. Ez a próbaberendezés 200 órán át 75 kW villamos teljesítményt már szolgáltatott, és sikerült megfelelő ionizációt elérni, a berendezés stabilitását és szabályozhatóságát megbizonyítani, valamint rendkívül sok tudományos információt szerezni a nagy hőmérsékletnek kitett anyagok viselkedéséről, amelyek alapján a második szakaszban épülő nagyüzemi kísérleti berendezés elkészülhetett. A szerzett tudományos információk az ipar számos más területén is felhasználásra kerültek, valamint a tudományos ismeretek jelentékeny kibővítését eredményezték, amelyekről a SZUTA Nagyhőmérsékletű Intézetének évente kiadott közleményei, valamint az Intézet munkatársai által készített, a szovjet és más külföldi szaklapokban megjelent, cikkek tanúskodnak.

b) A második szakaszban az U-25 jelzésű 20 ÷ 25 MW villamos teljesítményre méretezett komplett berendezés 1971 márciusra tervszerűen készült el. Ennek a kísérleti próbaberendezésnek üzembehelyezése a hatalmas műszaki feladat miatt több lépcsőben valósul meg. Az első lépcsőben egy 6–7 MW-ra méretezett MHD csatornát próbálták ki. 1972. év végéig előállított legnagyobb villamos teljesítmény 1 ÷ 1,5 MW volt. A tapasztalatok alapján több átalakítást elvégezve már a névleges teljesítményt, 6,5 MW-ot 8 alkalommal esetenként 24 órán át sikerült leadni. A második lépcsőben a névleges 11 MW-os MHD csatornával 10–1000 órás üzemeltetést kívánunk elérni. Minden egyes leállás után kiértékelik az eredményeket és tervszerű módosításokat hajtanak végre. E kísérletek során került szóba, a szovjet–amerikai megállapodás alap-

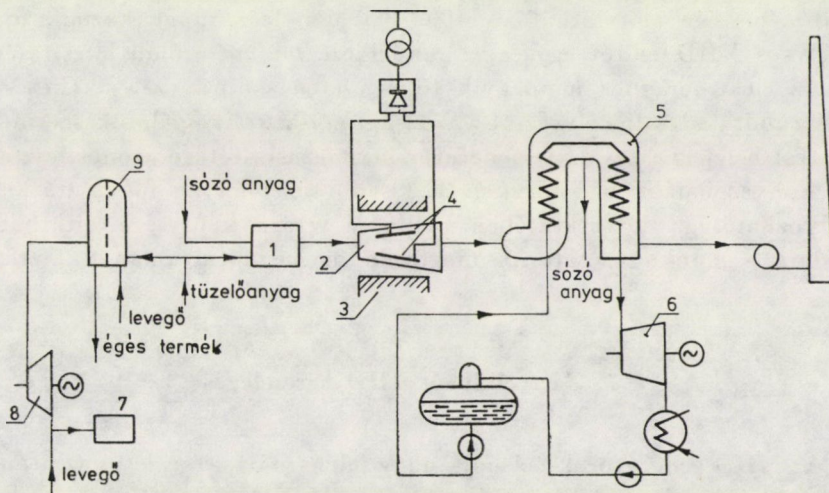
ján, egy amerikai gyártású MHD csatornának a szovjet berendezésben való kipróbálása is. A harmadik lépcsőben fog megvalósulni a 20–25 MW teljesítményre méretezett MHD csatorna hosszú időtartamú üzeme is.

A 3. rész tartalmazza az 1975–85-ös időszakra előirányzott 100÷400 MW-os prototípus kialakítását, az ezzel kapcsolatos kísérleti, létesítési és üzemi vizsgálatok elkészítését.

A három kutatási részt követően kerülhet sor 1985. év után mintegy 1990-ben az MHD-generátorok ipari erőművi alkalmazására. A SZUTA Nagy-hőmérsékletű Intézete mellett még a Szovjetunióban MHD generátor-kérdéssel foglalkozik az Ukrán Akadémiának egy intézete, valamint az Energetikai Minisztériumhoz tartozó Kzsizsanovszki Intézet külön erre a célra szolgáló kutató laboratóriuma, amelyben a hangsebesség feletti áramlással működő ENIN-2 elnevezésű kísérleti berendezésen végeztek próbákat; jelenleg a széntüzelés kérdéseivel foglalkoznak.

## 6. Komplettnyitott ciklusú MHD-berendezés

A komplett berendezés vázlatos összetétele a 7. ábrán tanulmányozható, amely az U-25 kísérleti berendezést mutatja be, de magában foglalja a jelenlegi elképzelések szerinti segédberendezéseket, illetve tartozékokat. Az ábrán 1-el jelölt tüztér-kamrában valósul meg a tüzelőanyag elégetése, amely jelenleg földgáz, de foglalkoznak más fosszilis tüzelőanyaggal is. Az ionizáció megfelelő fokának eléréséhez szükséges kis ionizálási munkájú alkáli fém vegyületét tar-



7. ábra

talmazó sózó anyagot (pl. káliumkarbonátot vagy káliumhidroxidot) is a tüztér-kamrában kell beadagolni.

20 ÷ 30 ms időtartam után a forró (2300 ÷ 2700 °C hőmérsékletű) egyensúlyi ionizációt biztosító füstgázak a 2-vel jelölt munkagáz csatornába kerülnek, ahol mintegy 800 m/s sebességgel áthaladva a 3-al jelölt elektromágnes segítségével a 4-el jelölt elektródákon a villamosenergia kivehető. Az ionizációs állapot fenntartása miatt a csatornát elhagyó még forró füstgázban levő hőenergia kishasználása céljából a füstgáz-útba beépítettek egy konvencionális energiatermelő berendezést. Ez az 5-el jelölt vízelőmelegítőből, gőz-forralóból és túlhevítőből áll, kombinálva a sózó anyagot visszanyerő berendezéssel, valamint a 6-al jelölt gőzturbina-generátort tartalmazza.

A nagy égési hőmérséklet elérése céljából a levegő előmelegítésén kívül mintegy 30 ÷ 40% oxigén dúsítás is szükséges. A levegő oxigéntartalmát a 7-el jelölt oxigénfejlesztő berendezés segítségével megjavítva, a keveréket a 8-al jelölt turbokompresszor nyomja be a 9-el jelölt rekuperátor rendszerű földgázzal fűtött előmelegítőn keresztül. Az ipari alkalmazásra előreláthatóan füstgáz-levegőelőmelegítő berendezést közbeiktatnak az 5-el jelölt részlegbe.

A közel állandó terheléssel működő, ún. *alaperőművet* a Szovjetunióban 1000 ÷ 2000 MW-ra tervezik, amelyből 1 : 1 arányban vesz részt az energia-termelésben az MHD és a konvencionális rész. Későbbiekben előreláthatóan nagyobb teljesítőképesség is elérhető. A tüzelőanyag gáz, mazut és a későbbiekben szén lesz. Ezeknek az erőműveknek hatásfoka kezdetben 50%, amely a későbbiekben 55 ÷ 60%-ra felemelhető.

Vizsgálatokat végeznek *félcsúcs* (2000 ÷ 3500 órás kihasználású), valamint *csúcs* (500 ÷ 1000 órás kihasználású) egységek bevezetésére; az utóbbi valószínűleg konvencionális energiatermelő rész nélkül fog létesülni. E csúcsegység teljesítőképessége előreláthatóan 400 ÷ 800 MW lesz. Foglalkoznak újabban 400 MW-os MHD előtét egységgel rendelkező *távfüttő* erőmű létesítésével is.

Az elektromágnes mindegyik típus esetén szupravezetős tekercseléssel fog készülni. Az eddig elvégzett gazdasági-műszaki vizsgálatok szerint a kifejlesztést befejezve az MHD generátor beruházási költsége azonos lesz a megfelelő konvencionális berendezésével, kisebb tüzelőanyag fogyasztása, gyors szabályozhatósága következtében pedig a versenyképessége vitathatatlan. Probléma a munkagázcsatorna megfelelő üzem időtartamának biztosítása.

## 7. Zárt ciklusú MHD berendezés

Az MHD generátorok második nagy felhasználási területét az atomreaktorokban lejátszódó nukleáris folyamatokból keletkezett hőenergiának villamos energiává közvetlen átalakítása képezi. Ebben az esetben a zárt ciklusú



MHD generátor jöhet számításba, amely működhet nemesgáz munkaközeggel vagy folyékony fémmel. A nemesgáz munkaközeggel működő MHD generátorban a gáz ionizálásához nem szükséges az egyensúlyi ionizáció. Jelenleg a következő, nem egyensúlyi ionizációs folyamatok jöhetnek szóba:

- a kezdeti ionizáció késleltetett rekombinációja;
- az elektronok hőmérsékletnövelése;
- sugárzással történő ionizáció (fotonok, részecskék);
- rövid időtartamú nagy erőterekkel történő ionizáció;
- nagy energiájú elektronnyalábbal való ionizáció (Karlovitz – Halász-féle megoldás);
- nagyfrekvenciás rezgések alkalmazásával történő ionizáció;
- lökéshullám alkalmazása.

Javítható még a nem egyensúlyi ionizáció szózó anyag beadagolásával, ebben az esetben azonban vigyázni kell a nem egyensúlyi ionizáció miatt előálló, a gáz hőmérsékleténél nagyobb elektron hőmérséklet miatt keletkező plazma rezgésekre, amelyek az MHD generátor működésében instabilitásokhoz vezethetnek.

Az eddigi számos kísérlet alapján a csatornába belépő munkagáz 1500 °C hőmérséklete esetében a megfelelő működés biztosítható. Ez a hőmérséklet azonban még a gázhűtésű reaktorok szempontjából is nagy és előreláthatóan több esztendeig fog tartani, amíg a reaktortechnika által megszabott értékek esetében a zárt MHD ciklus működőképes lehet. Ezzel is magyarázható a nyugat-európai államoknak a nagyüzemű MHD kísérletektől való visszalépése, mivel azok a villamosenergia ellátásukat nagymértékben atomenergiára támaszkodva kívánják megoldani.

A nemes gázzal működő zárt MHD ciklus számos, igen érdekes fizikai vizsgálat elvégzését igényli. Ezek között szerepelnek az ún. lökésűvel végezhető vizsgálatok. A múlt évben Svájcban rendezett zárt ciklusú MHD specialisták ülésén a kétütemű robbanómotorhoz hasonló kétütemű lökésűvel működő kisebb teljesítőképességű MHD generátor kidolgozására is tettek már javaslatot. Az eddigi vizsgálatok alapján azonban kielégítő hatásfokot nem voltak képesek biztosítani.

A Szovjetunió kutatóinak egy része foglalkozik a zárt ciklusú MHD generátor alkalmazhatóságával, legutóbbi bejelentésük szerint sikerült egy olyan lökésűvet szerkeszteniök, amely 30%-os entalpia kihasználással dolgozik. A mellett, hogy a szovjet kutatások a zárt ciklusnak hasadó anyagú MHD generátorhoz való alkalmazását kidolgozzák, vizsgálják már a még meg nem oldott termonukleáris folyamat MHD elven való kicsatolás lehetőségét. A termonukleáris reakciót ebben az esetben deutérium-tritium cseppeknek lézer sugárral előidézett magreakciója képezné. A munkafolyamatban jelenlévő lithium plazmából tervezik MHD elv alapján az energia kicsatolást létrehozni.

Az amerikai General Electric a zárt ciklusú MHD generátort nem atom-

reaktorhoz, hanem konvencionális, fosszilis tüzelőanyaggal működő berendezés részére kívánja használni. Ebben az esetben a gázelőmelegítő berendezés megoldása jelent problémát. Nem világos azonban még, hogy ez a berendezés gazdaságilag versenyképes lesz-e.

*A zárt ciklusú folyadék MHD generátor hatásfoka a gáz munkaközegűhöz képest kisebb, viszont működtetéséhez alacsonyabb hőmérséklet is elegendő. Ezért elsősorban atomreaktorokhoz való kapcsolásuk hozhat megfelelő eredményt. Az idevonatkozó kísérletek kisebb költségüknél fogva több helyen folynak, azonban a jelentőségük kisebb. A folyadék MHD generátorokhoz is természetesen konvencionális erőműrész is tartozik.*

### 8. Elméleti vizsgálatok

Az MHD csatornában létrejövő fizikai folyamatok pontosabb megértéséhez viszonylag bonyolult matematikai összefüggések szükségesek. A munkaközeg kontinuumnak tekintve, a fluidomechanika és az elektrotechnika alapösszefüggéseit kell összetetten felhasználni. Ezek tartalmazzák az anyagáram, a mozgásmennyiség, az energia megmaradási törvényeit, magukban foglalva a sűrűlási tenzort, a fluidum állapotváltozói közötti hatásokat (pl. a gáz egyenletet), valamint a Maxwell egyenleteket. Anélkül, hogy ezeknek az összefüggéseknek részleteit tárgyalnánk, megállapítható, hogy azok egydimenziós tárgyalása még viszonylag könnyen kezelhető.

Kétdimenziós tárgyalás esetében a vezetési áramhoz képest elhanyagolva az eltolási és a konvekciós áramot, továbbá az elektrosztatikus térfogati erőket, valamint ideális gázt feltételezve, dimenzió nélküli paraméterekkel lehet leírni a mágneses hidrodinamikus jelenséget. Ebben az esetben a hidrodinamikus Reynolds-szám mellett 3 új paraméter jelentkezik: a mágneses Reynolds-szám az Alfvén-szám és a Hall-paraméter. Az előző kettőnek az áramló közeg csatorna fala mellett kialakuló határrétegre van befolyása; a Hall-paraméter befolyását pedig a működési elvet ismertette tárgyaltuk.

A kétdimenziós tárgyalás már alkalmas az MHD munkaközegben a térerősség és a mágneses indukció változás miatt keletkező véghatások és egyéb gyors változások következtében mutatkozó instabilitások megállapítására, a bonyolult összefüggéseket azonban csak nagyteljesítményű számítógéppel lehet megoldani. Az iparilag fejlett tőkés országokban ezeket a vizsgálatokat általában egyetemeken végzik. Eredményeik a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által szervezett konferenciákon és egyéb szimpóziumokon, szakfolyóiratokban kerülnek nyilvánosságra és így a kérdéssel foglalkozók ezen az úton nyerhetnek tájékozódást. A Szovjetunióban akadémiai intézetekben és egyetemeken szintén készülnek mélyreható elméleti magnetohidrodinamikai áramlást tárgyaló olyan vizsgálatok, amelyek hasznosan alkalmazhatók a jelenleg kísérleti üzemben levő berendezésekben.

Elméletileg egy másik nehezen közelhető kérdés a munkaközeg ionizációja. Mint ismeretes, a termikus egyensúlyú ionizáció a Saha-egyenlettel írható le. A különböző részecskék egymásra hatása az égéstérben, a munkaközegnek az MHD csatornában való rövid tartózkodása, a csatornában jelentkező instabilitások, az egyenlőtlen elkeveredés, a fotoionizációs hatások azonban igen bonyolult helyzetet eredményeznek. Hasonló helyzet jelentkezik a nem egyensúlyi ionizációnál is.

## 9. Kísérleti kutatások

A munkaközeg csatornában lejátszódó jelenségek elméleti fizikai tárgyalása bármilyen fontos, azonban a jelenségek kísérleti tanulmányozása, az egyes paraméterek (vezetőképesség, ionizációs fok, hőmérséklet, sebesség stb.) különböző helyeken való detektálása, az időbeli lefolyás érzékelése szintén igen fontos feladat. Ezek a vizsgálatok *diagnosztikai eljárások* címen foglalhatók össze.

Az érzékelt jelek kiértékeléséhez megfelelő adatfeldolgozó számítógép szükséges, amely összekapcsolható a folyamatirányítási feladattal. A szovjet U-25 berendezés ezekkel a számítástechnikai berendezésekkel működik.

Az MHD munkaközeg viselkedésén kívül komoly problémát jelent a csatorna falába beépített elektródák és szigetelő anyagok műszaki megoldása. Az eddigi műszaki berendezésekben alkalmazottakhoz képest a munkagáz csatornában lényegesen nagyobb hőmérsékleti viszonyok mutatkoznak, amelyeket huzamos ideig, több ezer órán át, kell az alkalmazott anyagoknak kiállniuk. A nagy hőmérséklet mellett a nyitott ciklusban a füstgázok, a vezetőképesség fokozására használt szózó anyag kémiai agresszivitása, valamint széntüzelés esetében a salakolvadék okozta korrózió és erózió is számos műszaki feladat megoldását igényli. A régebbi vizsgálatok alkalmával a vízzel hűtött ún. hideg (pl. sárgarézből készült) elektródák nagyobb kémiai ellenállóképességet mutattak, mint a félvezetős cirkóniumoxid anyagú meleg elektródák. A hideg elektródák esetében viszont a csatornafal melletti határréteg hatása volt kedvezőtlen. Így az U-25 berendezés hideg elektróda kapcsain az elméleti 1200 Volt helyett csak  $600 \div 700$  Volt jelent meg. Ezért újabban nagyobb gondot fordítanak a meleg elektródarendszer kifejlesztésére.

A szupravezető-mágnes segítségével  $1,8 \div 2,2$  Tesla mágnesindukció  $4 \div 6$  Tesla-értékre fokozható, és így a működéshez nem feltétlenül szükséges nagyobb vezetőképességű munkaközeg, tehát a hőmérséklet csökkenthető.

Az MHD generátor segédberendezéseinek kifejlesztése során is jelentkeznek problémák. A szózó anyag megfelelő leválasztását kell megoldani, hogy az az előmelegítőben lehűlve és szilárd állapotban kiválva, a füstgáz útját el ne zárja. A nagy hőmérsékletű levegő előmelegítők részben kavics-ággal

működő rekuperátorok; máshol kifejleszteni igyekeznek homokkal mint hő-átvívó anyaggal vagy más megoldással, pl. golyókkal működő előmelegítőket.

A konvencionális erőműrész tulajdonképpen problémát nem jelent, legfeljebb felmerülhet annak kiküszöbölése pl. a nagyhőmérsékletű előmelegítő segítségével. Egy másik lehetséges változat a gőzturbina helyett gázturbina alkalmazása.

## 10. A hazai kutatások jövője

Az MHD generátor kifejlesztésében, hazánk gazdasági erőit figyelembe véve, a diagnosztikai eljárások tökéletesítése területén, valamint elméleti, pl. plazma-fizikai vizsgálatok továbbfejlesztésével vehetünk részt, együttműködve elsősorban a Szovjetunióban folyó, az előbbieken ismertetett hatalmas kutatási bázissal, amelyet számottevő mértékben a Szovjet Tudományos Akadémia Nagyhőmérsékletű Intézete képvisel.

A múlt évben az MTA és az OMF közös finanszírozásában a Villamosipari Kutató Intézet, az Egyesült Izzó Kutató Laboratóriumának egyes munkatársait bevonva, kísérletekkel egybekötött vizsgálatsorozatot indított, és felmérte az MHD plazmák vizsgálatánál alkalmazható diagnosztikai eljárásokat. Ezek keretében megvizsgálták áramló plazmaközeg számára a villamos szondák, hőszondák, bolometrikus mérések, spektroszkópiai mérések stb. alkalmazhatóságát. Az argon és nitrogén gázzal üzemelő 1000 mm hosszú és 100 mm átmérőjű modellesatornát  $10 \div 22$  kW-os plazmaágyú hevítette.

Az eddigi ismereteink alapján nagyteljesítményű impulzus-lézer segítségével a plazma törésmutató térbeli eloszlása holografikus úton előállított interferencia kép segítségével megállapítható. Ebből a képből, megfelelő elméleti modell birtokában, a plazma térbeli hőmérséklet-, sűrűség- és ionizációs mérték eloszlására lehet következtetni. A szovjet–magyar tudományos együttműködés keretében az MHD generátor kifejlesztése érdekében a lézer-holografikus diagnosztika kifejlesztését irányoztuk elő. Ennek a diagnosztikai módszernek a bevezetését egyéb ipari területen is jól lehet használni, pl. a plazmaívvel való megmunkáláshoz, az erősáramú megszakítók vizsgálatához.

A következő lépcsőben kifejlesztendő a villamos szonda-mérés, amelyet az Egyesült Izzóban kis nyomású plazmákra sikerrel alkalmaznak. Ennek segítségével meghatározható a töltött részecskék koncentrációja, hőmérséklete és azok eloszlás függvénye.

## 11. Összefoglalás

A mágnes-hidrodinamikusan energiaátalakítási eljárások ismertetése áttekintést nyújt az eddigi vizsgálatokról és kísérletekről. Annak ellenére, hogy ezeket a vizsgálatokat több helyütt végezték, tulajdonképpen a tervszerű

megvalósításra egyedül a Szovjetunióban készült egy komplex, ipari berendezés megvalósítására szolgáló terv, amelynek első fázisait sikerrel hajtották végre. A továbbiak során egy 1000 ÷ 2000 MW-os teljesítőképességű prototípus MHD erőmű üzembehelyezését kb. 1985-re irányozzák elő.

Célszerűnek mutatkozik, nemzetközi tájékozódásunk megtartása mellett, az eddigi elméleti vizsgálatainkat a szovjet—magyar műszaki tudományos együttműködése keretében végezni, kibővítve az MHD generátorhoz alkalmas diagnosztikai módszerek továbbfejlesztésével. Remélhető, hogy a hazai adottságoknak megfelelő, viszonylag kis létszámú tudományos fejlesztő csoport munkája megfelelő eredményekkel hozzájárulhat az iparilag használható MHD-generátor megvalósításához.

**The Development of Magneto-hydrodynamic (MHD) Generators.** Discussing the working principle and the different types of MHD generators, a review is obtained on the results of the Soviet systematical research and development. The operational use of open hydrocarbon and later on of coal cycles could be expected for 1985—1990. They would work initially at 50% energy transformation efficiency for the basic power stations and later at 55—60%; but rapidly controlled peak, semi-peak units and units combined with district heating systems could be created. Hungary takes part in this large-scale Soviet program with investigations on plasma diagnostics.

**Entwicklung der magneto-hydrodynamischen (MHD) Generatoren.** Die Darlegung des Arbeitsprinzips und der verschiedenen Typen der MHD-Generatoren gibt einen Überblick über die bisher erzielten Ergebnisse. Bei günstigem Fortschritt der planmäßigen sowjetischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten kann für den Zeitraum zwischen 1985 und 1990 die betriebsmäßige industrielle Anwendung von offenen Kohlenwasserstoff-, später Kohlefeuerungskreisläufen vorausgesagt werden, z. zw. anfangs bei Grundlastkraftwerken mit 50%, im weiteren Verlauf mit etwa 55—60% Wirkungsgrad der Energieumwandlung. Möglich sind jedoch auch schnell regelbare Spitzen-, Halbspitzen-, sowie mit Fernheizwerken kombinierte Einheiten. An diesem großzügigen sowjetischen Programm ist Ungarn durch Untersuchungen auf dem Gebiet der Plasmadiagnostik beteiligt.



# AZ ENERGETIKA FEJLŐDÉSE A SZOVJETUNIÓBAN, ÉS ÁLTALÁNOS FEJLŐDÉSI TENDENCIÁK A VILÁGBAN

A. E. SEINDLIN\*

A SZUTA LEVELEZŐ TAGJA

A tanulmány áttekintést ad a Szovjetunió és a világ energiaszerkezetének 2000-ig várható alakulásáról. Tárgyalja a hőenergetika további fejlődésének jellegzetességeit, valamint az atomenergia felhasználással kapcsolatos problémákat. Tájékoztatást nyújt a villamos energiaátvitel feladatairól, az energiaátalakítási módszerekről, valamint a jövőben végzendő kutatási és fejlesztési munkákról.

## I. Bevezetés

A modern társadalmakban a fejlődés egyik alapvető tényezője az energia. A termelés növekedési ütemét, műszaki színvonalát, a munka termelékenységét következtetésképpen a népjólét emelésének lehetőségét nagymértékben az energetika fejlődése határozza meg. Éppen ezért a különböző országokban az utóbbi évtizedekben az energetikai bázisok viszonylag gyorsan fejlődnek.

A Szovjetunióban az energetika fejlesztésére mindig nagy súlyt fektettek, és ezt teszik ma is. A Szovjethatalom első éveiben LENIN kezdeményezésére kidolgozott, Oroszország villamosítását célzó állami terv — a GOELRO — lényegében a Szovjetunió népgazdaságának első fejlesztési terve volt. Az energetika fejlesztésének alapvető irányvonala az ezt követő években is megmaradt; gyorsított fejlesztését a gazdaság fejlődése meghatározójának tekinthettük.

A jelen tanulmány elsősorban a villamosenergia-termelés és gazdálkodás fejlődésének problémakörével foglalkozik. A közlekedési energetikát, a hőellátást, valamint az energetika egyéb kérdéseit e tanulmány nem, vagy csak kis mértékben érinti.

## 2. A Szovjetunió és a világ energiatartalékai

Mint ismeretes, jelenleg és várhatóan az 1990—2000-es években is a világ energiatartalékait alapvetően a hagyományos kémiai fűtőanyagok határozzák meg, azaz a szén, a kőolaj és a földgáz, kisebb mértékben a vízenergiaforrások és növekvőben az atomenergia.

\* Prof. A. S. Seindlin, a SZUTA Nagyhőmérsékletű Intézetének igazgatója.

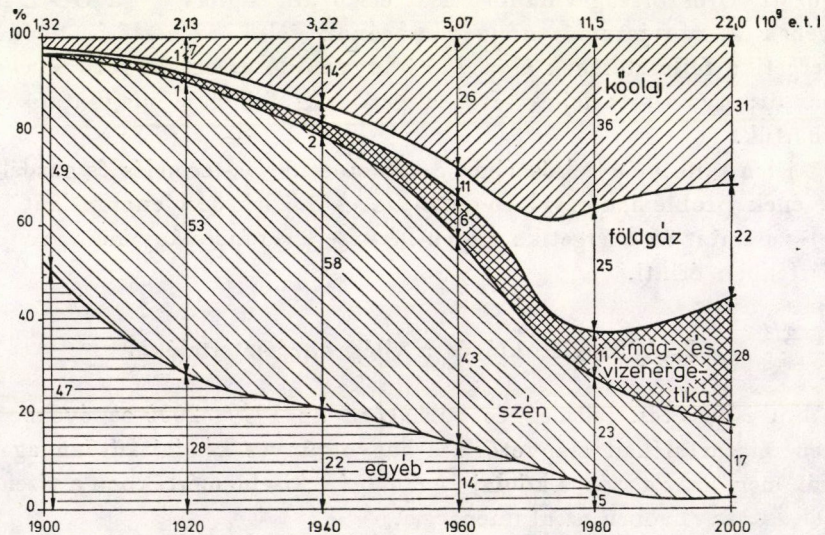
Ki kell emelni, hogy nincs alapja annak a feltételezésnek, miszerint az emberiséget energiahiány fenyegeti. Számos előrejelzés alapján megállapítható, hogy 2000-ben a szükséges energiamennyiség aligha haladja meg a 20 ÷ 25 milliárd tonna szénegyenértéket. Amennyiben feltételezzük, hogy ezt a szükségletet szerves (fosszilis) fűtőanyagokkal fogjuk kielégíteni, még akkor is legalább 150 évre elegendő szerves fűtőanyag fog rendelkezésünkre állni.

Ez a megállapítás azt tételezi fel, hogy a világ energiatartalékának csak mintegy 30%-át célszerű műszaki-gazdasági okok miatt kitermelni.

Amennyiben figyelembe vesszük az atomenergia egyre növekvő szerepét is, azt, hogy a természetes urán és a torium gyorsreaktorokban történő feldolgozása során a szerves fűtőanyagokból nyerhetővel azonos nagyságrendű energiamennyiség kapható, akkor még a fűzios energiatermelés lehetőségét és a várható műszaki-tudományos feltételezéseket is figyelmen kívül hagyva állíthatjuk: alaptalan az a félelem, hogy az emberiség hosszabb távú fejlődése során az energiatartalékok elégtelennek bizonyulnak.

A közeljövőben ilymódon a világ energiatartalékaival kapcsolatos problémákat elsősorban nem ezek elégtelensége határozza meg, hanem a különböző fűtőanyagok felhasználásának jellege, valamint az, hogy az energiatartalékok a különböző országokban nagyon egyenlőtlenül oszlanak el.

Ez a legélesebben abban jelentkezik, hogy ma elsősorban az olajat és a földgázt használják fel, ugyanakkor ezek tartalékai sokkal kisebbek, mint a szénvagyonok. Az előrejelzések szerint a világ szerves fűtőanyag-tartalékai kb. 12 800 milliárd tonnára tehetőek, ebből a kőolaj mindössze 740 milliárd, a földgáz pedig 630 milliárd tonna.



1. ábra



Megállapítható tehát, hogy a kőolaj a teljes tartalék 5,8%-át, a földgáz pedig mindössze 4,9%-át teszi ki, a világ teljes energiamérlegében ezen fűtőanyag fajták ugyanakkor sokkal nagyobb részarányt képviselnek.

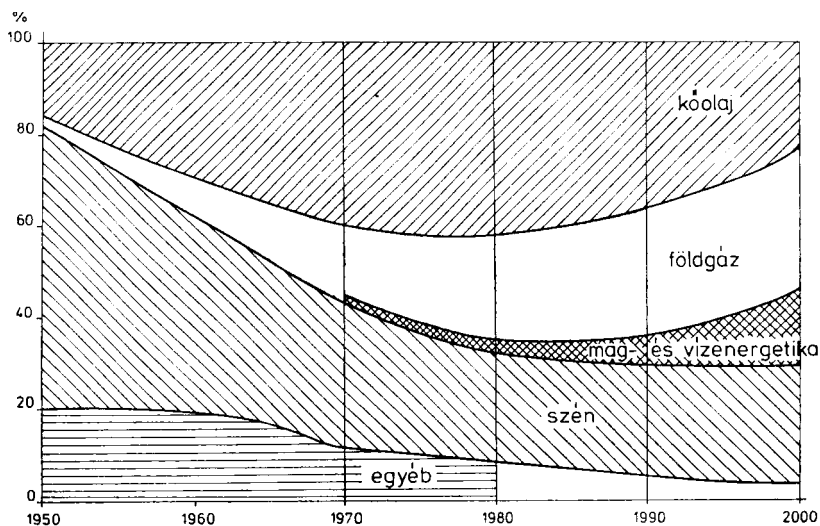
Az 1. ábra a világ XX. század végi energiaszerkezetének az előrejelzések szerinti egyik változatát mutatja.

Ebből látható, hogy az energiafelhasználásban a kőolaj és földgáz részaránya a 80-as évek elejére éri el maximumát, ekkor a felhasználás 60%-ot fog mutatni. Az előrejelzések egy másik véglete szerint a kapitalista országokban a 80-as évek közepére ez a maximális érték elérheti a 75÷80%-ot is.

A Szovjetunióban az energiamérleg összetételének jellege lényegében megegyezik a világ egyéb részsein kialakuló irányzatokkal.

A kőolaj és földgáz jelenlegi és a közeljövőre jóslt vezető szerepe felhasználásuk jellegével magyarázható. Az energiafelhasználásban alapvető részt képviselő autó- és légiközlekedésben a kőolajtermékeknek még nincsen vetélytársuk. A földgáznak pedig igen nagy szerepe van a gazdaság kommunális és ipari területein. Jelentős ugyanakkor a kőolajtermékek és a földgáz felhasználásának mértéke a villamosenergia-termelésben, különösen a csúcs- és fécsúcsüzemű erőművekben, valamint a nagyobb városok közelében helyezkedő hőerőművekben.

Vizsgáljuk meg a következő adatokat arról, hogy az energiatartalékok eloszlása milyen egyenetlen, amiből következik, hogy a kitermelés is nagy különbségeket mutat a különböző országokban. Az I. táblázatban a feltárt kőolaj és földgáztartalékokat mutatjuk be néhány kapitalista és fejlődő országra és 1973 elejére vonatkoztatva.



2. ábra

## I. táblázat

A feltárt kőolaj- és földgáztartalék nagysága néhány kapitalista és fejlődő országban  
(1973 elején)

Földrész, ország	A feltárt kőolajtartalék mill. tonna	A feltárt földgáztartalék milliárd m <sup>3</sup>
1	2	3
Összesen	76 776	34 279
ebből:		
<i>Észak-Amerika</i>	6 731	9 564
ebből:		
USA	4 964	7 682
Kanada	1 373	1 557
Mexikó	394	326
<i>Közép- és Dél-Amerika</i>	4 175	1 916
ebből:		
Argentína	701	249
Brazília	117	25
Venezuela	1 956	979
Chile	16	142
<i>Nyugat-Európa</i>	1 186	4 992
ebből:		
Anglia	687	1 274
Ausztria	25	14
Dánia	36	51
Spanyolország	8	14
Olaszország	32	173
Hollandia	36	2 490
Norvégia	273	425
Franciaország	11	192
NSZK	76	359
<i>Közél- és Közép-Kelet</i>	48 641	9 754
ebből:		
Abu-Dabi	2 777	340
Afganisztán	12	142
Irak	3 898	708
Irán	8 820	5 560
Kuwait	8 938	934
Szaúd-Arábia	18 850	1 415
Szíria	1 040	20
Törökország	77	14
<i>Afrika</i>		
ebből:		
Algéria	6 096	2 972
Líbia	3 992	778
Nigéria	2 028	1 132
Egyiptom	751	212
Tunisz	130	28
<i>Délkelet-Ázsia, Távol-Kelet, Ausztrália, Óceánia</i>	1 994	2 704
ebből:		
Ausztrália	269	1 026
Burma	10	3
India	112	65
Indonézia	1 362	156
Pakisztán	5	453
Japán	3	11

## II. táblázat

*Az USA energiaszükségei 1971 és 1985 között, és a belső nyersanyaglelőhelyek tényleges tartalékai (az 1971. évi adatok alapján)*

Az energiahordozók megnevezése	A teljes szükséglet	A tényleges tartalék	A teljes fűtőanyag-szükséglet és a tényleges tartalék aránya
Olaj és olajtermékek	15,3 mrd. tonna	6,2 mrd. t.	2,5 : 1
Földgáz	12,5 trd. m <sup>3</sup>	7,9 trd. m <sup>3</sup>	1,5 : 1
Szén	9,5 mrd. t.	150 mrd. t.	1 : 15
Urán-235	3,2 e. tonna	2,8 e. tonna	1,1 : 1

Amint látható, számos nagy, gazdaságilag fejlett országban gyakorlatilag nincs olaj és földgáz, ugyanakkor néhány kis országban hatalmas kőolaj- és földgáztartalékok vannak.

A fűtőanyag ilyen egyenetlen eloszlása a kapitalista gazdaságirányítás mellett a energiafelhasználás nagyarányú növekedése esetében felhasználható bizonyos politikai-gazdasági célokra. Példa erre az úgynevezett energiaszűrés, amely az utóbbi időben a kapitalista országokban jelentkezett, s amely – mint említettük – semmi esetre sem jelenti a világ energiatartalékainak általános hiányát.

Az ilyen válságok még tovább mélyülnek annak következtében, hogy a kőolaj- és földgázfelhasználás részaránya a feltárt fűtőanyagok összmenyiségében – sokszor indokolatlanul – igen nagy.

Ez a helyzet még az Egyesült Államokban is, ahol pedig nagy a feltárt energiatartalék. A II. táblázatból például kitűnik, hogy 1971 ÷ 1985 között a kőolaj és termékeinek felhasználása 2,5-szörösen, a földgázé pedig 1,5-szeresen haladja meg a tényleges tartalékot. Ugyanakkor a széntartalék többszöröse (15-szöröse) a várható felhasználásnak. A „tényleges tartalék” alatt itt az a nyersanyagmenyiség értendő, amely az adott lelőhelyen az adott technológiai és gazdasági feltételek mellett nagy valószínűséggel kitermelhető.

Mint említettük a Szovjetunióban a 80-as években az energiamérleg összetétele a világhoz hasonló lesz. A Szovjetunióban azonban a különböző energiaszűrés felhasználásának arányait reálissá teszik a feltárt tartalékok, és a kitermelt mennyiségek – elsősorban ami a kőolajat és a földgázt illeti. Meg kell jegyezni, hogy itt nemcsak a Szovjetunió igényeit elégítjük ki, hanem – meghatározott exportlehetőségek fenntartása mellett – a KGST országokét is.

Ettől eltekintve a Szovjetunió energiagazdálkodásában a világkonjunktúra figyelembevételével lehetséges perspektivikus változás a következő feltételezések alapján:

a) tovább növekszik a szénkitermelés és a szénfelhasználás, utóbbi elsősorban a nagyteljesítményű, alaperőművekben;

b) a folyékony és gáz halmazállapotú fűtőanyagokat elsősorban a csúcs- és a félcsúcsüzemű erőművekben használjuk fel;

c) széles körben terjed az atomenergetika és meggyorsul a gyorsreaktorok építése;

d) tovább fejlődik a központi hőszolgáltatás, a kapcsolt villamos- és hőenergiaellátás, amely lehetővé teszi a fűtőanyag gazdaságosabb felhasználását;

e) szélesedik az erőművek „típusválasztéka”, terjednek a csúcsüzemű, félcsúcsüzemű és menetrendtartó erőművek, amelyek a terhelési görbék változó szakaszain is kedvező üzemvitelt biztosítanak;

f) nagyobb figyelmet szentelnek az erőművek hatásfokának növelésére és a fűtőanyagok jobb kihasználására a fűtőanyagok áramelkedése következtében;

g) növekszik a kutatásra fordított munka az új energiaátalakítási módszerek kidolgozása területén, elsősorban a különböző nagyteljesítményű MHD generátorok megteremtésénél, tekintettel az erőművi hatásfok javításának jelentőségére;

h) élénkebbé válnak a termonukleáris energetika területén végzett tudományos-kutató és kísérleti konstrukciós munkák, valamint a napenergia a geotermikus energia hasznosítása és az elektrokémiai áramforrások fejlesztése terén kifejtett tevékenységek;

i) folytatódnak a munkálatok a villamosenergia nagy távolságra történő szállításának hatékonyabb megoldására;

j) szélesedik a környezetvédelemmel kapcsolatos tevékenységek köre — nagyobb figyelem irányul a hőerőművek szennyezéseire.

Az következőkben ezek közül néhány olyan problémával foglalkozunk, amelyek kimondottan a villamos energetika fejlődésével kapcsolatosak.

### 3. A hőenergetika fejlődésének jellegzetességei

Mint ismeretes, az elsődleges energiaforrásokat elsősorban a hőerőművek használják fel. A Szovjetunióban 1970-ben az erőművek villamos- és hőenergia termelésre felhasznált elsődleges energiahordozók 32%-át fogyasztották el. Ez az arány 1980-ra 36 ÷ 37%-ra növekszik, és a növekedési tendencia várhatóan a továbbiakban is megmarad.

Ilymódon az erőművek hatásfoka jelentősen befolyásolja az ország fűtőanyag-energiamérlegét.

A Szovjetunió hőerőművei úgy jelenleg mint a közeljövőben alapvetően szerves fűtőanyagot hasznosítanak, illetve fognak hasznosítani, de a részarányuk az 1971-es 80% értékből 2000-re előre láthatóan 55 ÷ 45%-ra csökken.

Vizsgáljuk meg a Szovjetunió hőenergetika fejlődésének néhány alapkérdését.

A feladatok közül az egyik legfontosabb az erőművek egységteljesítőképességének további növelése. Az évente megkívánt, egyre nagyobb villamos teljesítmények szükségessé teszik, hogy a gépegyeségek teljesítőképességét  $800 \div 1000$ , illetve  $2000 \div 3000$  MW-ra, az erőműveket pedig esetenként  $4000 \div 6000$  MW-ra emeljük.

Igen fontos az építendő hőerőművek fűtőanyagbázisának ésszerű meghatározása az ország energiamérlegének távlati összetétele alapján. Az alapvető fűtőanyag elsősorban a földgáz, a pakura és a — főleg a külfejtéssel kibányászott — szén lesz. Az ország európai vidékein elsősorban a gáz és a pakura felhasználására törekszünk: célszerűnek tűnik például olyan gáz-pakura tüzelésű hőerőművek építése, amelyek téli időszakban főleg pakurával, nyáron pedig földgázzal üzemelnek. Az országnak ebben a részében alaperőműként a jövőben elsősorban az atomerőművek jöhetnek számításba. Szibéria és később az ország egyéb vidékein is a hőerőművek elsősorban az olcsó, külfejtéssel kibányászott szénrel üzemelni fognak (például a Kaszsko-Acsinszkij-i szénrel).

Műszaki-gazdasági megfontolásokból olyan típusú gépegyeségek létrehozására van szükség, amelyek megfelelnek a villamosenergia-rendszer napi, heti és éves terhelési görbéi által támasztott követelményeknek. Így például az ország európai részében a létrehozott erőművi teljesítőképesség évi kihasználási időtartama széles határok között —  $500 \div 1000$ -tól  $5000 \div 5500$  óráig változik. Az ország keleti részén olyan alapüzemű kondenzációs, szerves fűtőanyaggal üzemeltetett erőműveket célszerű építeni, amelyeknek évi kihasználási időtartama 7000 óra, vagy még hosszabb.

Az erőművek egységteljesítőképességének növelése a vízellátást bonyolultabbá teszi. Az igen nagy teljesítőképességű erőművek esetében már nem építhető átfolyásos hűtővíz ellátási rendszer. A legnagyobb jövője ebben a tekintetben a visszakeringtetéses vízűtőrendszernek van. A vízszegény vidékeken pedig száraz hűtőtornyok is építhetők.

A távfűtéssel kapcsolatban megemlíthető, hogy a következő  $10 \div 15$  évben a nagy hőfelhasználó központokat a gőzturbinás hőerőművekhez célszerű csatlakoztatni.

#### 4. Az atomenergia felhasználása

A világ fűtőanyagmérlegében az atomenergia jelentőségét ma már teljes mértékben elismerik. Az atomerőművek száma gyorsan növekszik, és nő az ezekből kikerülő villamos energia mennyisége is.

Az atomenergia jelentős szerepe a Szovjetunió és a világ energiamérlegében az 1. ábrából is kitűnik.

Az atomerőművek együttes teljesítőképessége 1980-ban kb. 15%-a lesz a világ összes villamoserőműve teljesítőképességének. Meg kell említeni azonban, hogy ennek legnagyobb része a gazdaságilag fejlett országokban léte-sül, és csak 5÷6% a fejlődő országokban.

Ismeretes, hogy a KGST országokban az atomerőműveknek nagy figyelmet szentelnek. A tagországok jelenlegi és távlati energiamérlegében az atomerőműveket a létrehozandó villamos teljesítőképesség egyik alapvető összetevőjeként tartják számon.

Meg kell jegyezni, hogy az atomenergia felhasználásának egyik különlegessége az, hogy az atomerőművek elterjedésével és fejlődésével az energiafelhasználásból kiszorulnak a drágább szerves fűtőanyagok. Az atomenergia-termelés gazdaságossága ezért megköveteli a teljesítőképesség növeléséhez szükséges ráfordítások csökkentését.

Mivel az atomerőművek a legjobb hatásokkal alapterheléssel működtethetők, rendszerük fejlesztését célszerű a szerves fűtőanyaggal üzemeltetett csúcs- és szabályozható terhelésű erőművek tökéletesítésével, illetve kidolgozásával összekapcsolni. Ugyanakkor az atomerőművek fejlesztését a helyettesíthető szerves üzemanyag költségein túlmenően az adott ország villamosenergia-rendszerének terhelési görbéi jelentős mértékben meghatározzák.

Mint ismeretes az atomerőmű-rendszerek fejlesztésében a termikus neutronokkal üzemeltetett reaktorok játszák az alapvető szerepet, főleg a nyomott- és forralóvizes, vízhűtéses reaktorok.

A gyors neutronokkal működő magreaktoroknál elsősorban a nátrium-hűtésű reaktortípusok jöhetnek számításba.

Valószínű, hogy a 80-as évek kezdetére már a 300÷500 MW teljesítményű gyors neutronokkal dolgozó kísérleti erőművek lépnek üzembe. A 80-as évek második felére várható, hogy több, 1000÷1500 MW egység teljesítőképességű, gyors neutronokkal üzemelő erőművet építenek. Feltételezzük, hogy a gazdaságilag fejlett országokban az évezred végére a gyorsreaktorú atomerőművek 40÷50%-os részarányt képviselnek az atomerőművek teljesítőképességében.

Az atomerőmű-fejlesztés általános tendenciái a Szovjetunióban hasonlóak a világ egyéb részein kidolgozott elképzelésekhez.

Vizsgáljuk meg közelebbről az elkövetkezendő kb. 20 évben a Szovjetunióban létrehozandó atomreaktorok alapvető típusait.

A termikus neutronokkal üzemelő reaktorok területén a Szovjetunióban két különböző típust építenek: a nyomottvizes, hűtőköpenyes reaktorokat és a csöves urángrafit-reaktorokat.

Azokat a nyomott vizes reaktorokat, amelyeknek villamos teljesítőképessége 440 MW, először a Novovoronyezsi Atomerőműben építették fel, és a tervek szerint úgy a Szovjetunióban, mint a KGST országokban egy egész sor ilyen típust fognak beépíteni (ilyen például a Magyar Népköztársaságban,

Paks közelében épülő két egységből álló, összesen 880 MW villamos teljesítőképességű atomerőmű). Ezen reaktortípusoknál egyrészt az egységteljesítőképesség növelésére (1000, sőt 1500 MW-ig), másrészt pedig a gőzjellemzők javítására, a hatásfok növelésére irányul a fejlesztés.

A csöves reaktorok két csoportra oszthatók.

Az elsőbe tartozók elsősorban jó hatásfokukkal tűnnek ki (így pl. a belójárszki atomerőmű reaktorai), a második csoport reaktorai viszont jobb üzemanyag-ciklusúak (ilyen pl. a leningrádi atomerőmű RBM-K típusú forralóvizes csöves reaktora, amelynek villamos teljesítőképessége 1000 MW). A csöves reaktorok nagyobb kb. 2000 MW villamos teljesítőképességűek is lehetnek.

A gyors neutronokkal működő atomerőműveket jelenleg a BOR-60 típusú kísérleti reaktor, valamint a Sevcsenko városában felépített, 150 MW villamos teljesítmény, és 120 ezer m<sup>3</sup>/nap édesvíz előállítására tervezett BN-350 típusú, ipari reaktor képviseli. A belójárszki atomerőműben jelenleg egy 600 MW teljesítményű BN-600 típusú reaktort építenek. Ezt követően kerülhet esetleg sor az 1000 ÷ 1500 MW villamos teljesítőképességű, gyors neutronokkal üzemelő atomerőművek létrehozására.

Az atomerőmű-rendszerek fejlesztési irányát vizsgálva ki kell emelnünk az tényleges fűtőanyag-ciklusok és a tartalék üzemanyag-ellátás problémáit.

## 5. A villamos energiaátvitel

A Szovjetunió energiarendszerének további fejlesztésében egyre jelentősebbek azok a munkálatok, amelyek a Szovjetunió egységes energiarendszerének és nemzetközi (elsősorban a KGST voszonylatú) létrehozására és tökéletesítésére irányulnak.

Az egységes energiarendszer megteremtését elsősorban a következő megfontolások teszik szükségessé:

az erőművek és a gépegyesek teljesítőképességének növelése;

a villamosenergiarendszerbe beépített teljesítőképesség csökkenthető azáltal, hogy a különböző körzetekben optimálisan osztjuk el a terhelést, csökkentve a maximális és minimális terhelés hányadosát;

— a nagyteljesítőképességű távvezetékekkel lehetőség nyílik a villamosenergia továbbítására az ország nagy energiatartalékokkal rendelkező részeiből azokra a területekre, ahol hiányoznak a tartalékok;

— növelhető a villamosenergia-ellátás biztonsága, mivel üzemzavar idején az energiaáramlás tetszés szerint módosítható.

A megfelelő értékelések szerint a 2000. évre a Szovjetunió európai területének egységesített villamosenergia-rendszere segítségével csökkenthető az adott területen beépítendő villamoserőművi teljesítőképesség 45 ÷ 50 millió kW-al. A Szovjetunió ázsiai részében pedig az energiarendszer egyesítése 40

millió kW-ra csökkentheti a beépítendő teljesítőképességet. Ez a tény önmagában is jól mutatja az egyes rendszerek közötti villamos kapcsolatok jelentőségét.

Vizsgáljuk meg a következőkben a nagyteljesítményű villamos távvezetékek felépítésének lényegesebb problémáit.

A váltakozó áramú 1150 kV-os szabadvezetéknel igen fontos az olyan kötegvezetős szerkezet, ami kielégíti a rádió, akusztikai zavarással és a koronaveszteségekkel szemben támasztott követelményeket. A fázisok lengő felfüggesztése és a 25 m-es fázisközi távolságok esetén 8 sodronyos köteg, 40 cm-es sodronytávolság tervezhető.

Ugyancsak érdeklődésre tarthatnak számot azok a munkálatok, amelyek az úgynevezett hangolt átviteli rendszerekkel kapcsolatosak, ahol az elektromos rezonancia jelenségét kívánják felhasználni. Egy 3000 km-es hosszú, váltakozó áramú távvezetéknel — amely 50 Hz-en a félhullám hosszúságának felel meg — a vonal reaktanciája a rezonancia tulajdonságok következtében elméletileg nem korlátozza a továbbítható teljesítmény értékét, és így az jelentősen növelhető.

Ahhoz, hogy az évezred végére létrehozassuk a szükségessé váló, 750 és 1100 kV-os egyenfeszültségű távvezetéseket, célszerű 1980-ra megépíteni egy 6000 MW (42 milliárd kWh/év) átviteli képességű  $\pm 750$  kV feszültségű, 2500 km hosszú távvezeték (Ekibasztuz—Központi rendszer). Ezt követően kerülhet sor a 3500 ÷ 4000 km hosszú,  $\pm 1000$ , vagy 1100 kV feszültségű távvezeték telepítésére.

A villamos távvezetékek fejlődési tendenciáinál meg kell jegyezni, hogy mindeddig az átviteli képességet elsősorban a névleges feszültség emelésével növeltük.

A következő 30 évben a villamosenergia-termelés feltételezett növelésének megfelelően felmerül a 10 000 MW-ot meghaladó átviteli képességű távvezetékek felépítésének, az 1500 kV-nál nagyobb feszültsége hosszúságának szükségessége. Az ilyen szabadvezetékes átviteli rendszereket gazdasági — műszaki szempontok miatt valószínűleg nem lehet létrehozni.

Különleges jelentősége van tehát a villamosenergia-átvitel új módszereinek, az azok kidolgozására irányuló munkáknak. Ezek közül itt két, nagyobb érdeklődésre számot tarthatót kell kiemelni:

— szupravezetős, kis hőmérsékleten üzemelő, tiszta fémekből készült kábeleket;

— a nagyon nagy feszültségű, gázszigetelésű távvezetéseket, amelyeknél a vezeték körül fogó csőrendszerben levő nagy nyomású elektronegatív gáz (pl. kénhexafluorid) a szigetelő.

Az ilyen új típusú villamos távvezetékek várhatóan lehetővé teszik a 2 ÷ 5 GVA teljesítmény továbbítását rövidebb és 10 ÷ 20 GVA továbbítását hosszabb távolságokra. Ugyanakkor a kriogén távvezetékeknel az áramsűrűség  $10^2 \div 10^3$  A/mm<sup>2</sup>-re növelhető, és a nagy nyomású gázszigetelésű csövekben az



üzemi feszültség értéke elérheti a MV nagyságrendet is úgy váltakozó, mint egyenáram esetén. A korábbiakban említett távvezetéseket kezdetben valószínűleg a sűrűn lakott körzetekben építik fel, mélyen a föld alatt elhelyezve.

## 6. Új energiaátalakítási módszerek

Nagy jelentőségű a hőenergia közvetlen villamosenergiává történő átalakítása és az ezt megvalósító energetikai berendezések kidolgozása is: a magnetohidrotikus rendszerek, fűtőanyagelemek (elektrokémiai áramforrások), a termoemissziós és termoelektromos energiaátalakítók, a fotoelektromos átalakítók.

A közvetlen energiaátalakítási módszerek széles körben alkalmazhatók az energiagazdálkodás különböző területein: a villamosenergia-termelésben, a mozgó energiatermelő berendezésekben mint a központi energiarendszerektől független egységek, továbbá az ipari energiaszolgáltatásban, és a kommunális létesítményeknél.

A közhasznú energiatermelés szempontjából különleges jelentősége van a mágneses, hidrodinamikus generátoroknak, valamint a fűtőanyag celláknak.

A közhasznú energiatermelésben az MHD generátoroknak az a fő előnyük, hogy jelentősen növelhető a hőenergia átalakítás határfoka, és így nagymennyiségű energiahordozó található meg.

Az MHD berendezések területén három alapvető típus különböztethető meg: a nyitott ciklusú generátorok, a zárt ciklusú berendezések és a folyékony fémes egységek.

A jelenlegi értékelések szerint a közhasznú energiatermelésben a nyitott ciklusú MHD berendezések fogják a főszerepet játszani.

A nyitott ciklusú MHD generátorok munkaközege a szerves fűtőanyagok égésterméke, azaz a szén, a folyékony fűtőanyagok, valamint a földgáz elégetésekor keletkezett gáz. A szükséges, 2600 ÷ 2800 °C hőmérséklet elérése érdekében a fűtőanyagot oxigénnel dúsított, előmelegített levegőben égetik el. Az égéstermékek megfelelő vezetőképességét ezen a hőmérsékleten kis mennyiségű, könnyen ionizálható sózóanyag, kálium vagy cézium hozzáadagolásával állítják be. Az így előállított plazma az MHD csatornába kerül, ahol hang- vagy annál nagyobb sebességgel áramlik, kölcsönhatásba lép a generátor erős mágneses terével. Az ily módon indukált villamos egyenáramot inverterekben váltakozó árammá alakítják, és a fogyasztókhoz vezetik.

Az ismertetett energiaátalakításnak csak abban az esetben lesz megfelelő a határfoka, ha a plazma kielégítő vezetőképességgel rendelkezik, ez pedig elsősorban a plazma hőmérsékletétől függ. Ennek következtében még a csatorna végén is nagyon nagy - 2000 °C-nál nagyobb - az égéstermékek hőmér-

séklete. A erőmű megfelelően nagy hatásfokának elérése érdekében — ami elsősorban az alapterhelési üzemben fontos — az MHD generátorból kilépő égéstermékeket egy hagyományos gőzturbinás berendezésbe vezetik. Ily módon tehát ezen változatában az MHD generátor mint előtét egység működik a hagyományos gőzturbina-generátor egységgel.

Az MHD generátor azonban nemcsak a hagyományos erőművek előtétje lehet, hanem jól illeszthető bármely más rendszerű hőerőműhöz: így a gázturbinás, a széndioxidos, valamint a disszociáló gázokkal működő berendezésekhez. Az ilyen megoldásokkal a hatásfok jelentősen növelhető.

Mindezek alapján megállapítható, hogy az MHD energiaátalakítási eljárás nem versenytársa olyan egyéb energiaátalakítási közfolyamatoknak, amelyeket a hőerőművek hatásfokának növelésére dolgoztak ki.

A nagyméretű, nyitott ciklusú MHD generátorral üzemeltetett hőerőművek netto hatásfoka már az üzembe helyezés utáni időszakban elérheti az 50%-ot, és ez a későbbiekben 55 ÷ 60 %-ra is növelhető.

Az MHD generátoros hőerőművek egyik jellegzetessége az, hogy egyetlen egység 1000 MW vagy annál nagyobb teljesítmény előállítására is képes, és ezzel jól igazodik a nagyteljesítményű energiarendszerek általános fejlesztési irányaihoz.

A közhasznú energiatermelés szempontjából igen értékes, hogy a nyitott ciklusú MHD berendezések csúcsüzemben is működtethetők. Ebben az esetben az MHD generátort a gőzturbinás kiegészítés nélkül építik. Az ilyen berendezésnek az az előnyük, hogy rendkívül egyszerűek, olcsók és gyorsan indíthatók, hatásfokuk pedig összevethető a jelenlegi csúcsüzemű gázturbinás berendezésekével. Egy-egy ilyen csúcsüzemű, nyitott ciklusú MHD egység teljesítménye néhány száz MW de szükség esetében elérheti az 1000 MW-ot is. Az igen gyors indítás lehetősége következtében előnyösen alkalmazható az energiarendszerekben időnként fellépő üzemzavarok hatásainak kiküszöbölésére is.

Az MHD energiaátalakítás területén igen sok országban folynak kutatások. Itt kell kiemelni, hogy az Egyesült Államokban az utóbbi években az ún. tiszta energiaelőállítási törekvésekkel kapcsolatosan nagy figyelmet szentelnek a mágneses hidrodinamikus úton történő energiaátalakításnak.

A Szovjetunióban már több éve élénken kutatjuk a nyitott ciklusú MHD berendezések területét. Különösen fontosnak tekinthető a világ első, nyitott ciklusú kísérleti MHD berendezésének, az U-25-nek felépítése, amelynek tervezett teljesítménye 25 MW.

Várható, hogy 1975—76-ra az U25 MHD berendezés eléri a számított paraméterek szerinti állandó üzemmódot és a tervezett teljesítményt. Ezen előrejelzés alapján valószínű, hogy az első nagyteljesítményű magnetohidrodinamikus erőműveket már a 80-as évek első felében felépítik és üzembe helyezik.

Az utóbbi években különös figyelmet szentelnek az olyan erőműveknek, amelyek széles terhelési határok között üzemeltethetők. Ebben a tekintetben

a változtatható terhelés gőzturbina egységgel kombinált kilátásai MHD erőmű különösen kedvezőek.

Az elvégzett elemzések azt mutatják, hogy a Szovjetunió egyesített energiarendszerében azokon a területeken, ahol a legdrágább a fűtőanyag — északnyugaton, a központi vidékeken, valamint délen — műszaki-gazdasági szempontból már 1990-ben indokolt lehet  $12 \div 16$  millió kW összteljesítő-képességgel MHD erőműveket építeni.

Vizsgáljuk meg röviden a fűtőanyagelemek alkalmazási lehetőségeit az energiaelőállítás szempontjából. A fűtőanyag elemek (elektrokémiai áramforrások) 1980–2000 között meghatározott szerepet fognak betölteni a kémiai fűtőanyagok hasznosító áramforrásoknál. A fűtőanyagelemek nagy jelentőségűek a jó hatásfok elérésének elvi lehetősége, a hosszú működőképesség és a környezet szennyezésének csökkenése miatt, különösen ami a független energiagazdálkodást illeti — elsősorban a közlekedést.

A közhasznú energiaelőállításban a fűtőanyagelemek meghatározott körülmények között ugyancsak széles körben felhasználhatók. Különös jelentőségűek a nagyhőmérsékletű fűtőanyagelemeknek.

Most pedig térjünk át a jövő energiagazdálkodása szempontjából fontos problémához, az irányított termonukleáris magfúzió kérdéséhez. A termonukleáris reakcióval előállítható energiataralékok ugyanis hatalmasak. Az óceánok vizében található (kb. 200 trillió tonna) deutérium energiája több milliószerosa az összes kémiai fűtőanyag által képviselt energiának, és a távlati fejlődés szempontjából ez a nagy mennyiségű, olcsó energia döntő fontosságú lehet.

Az irányított magfúzióval kapcsolatos problémák megoldásán több ország köztük a Szovjetunió kutatói is dolgoznak. Jelenleg a legfontosabb megoldásra váró feladat a plazma összetartása, termikus ionizációja és felhevítése. A szovjet tudósok által létrehozott Tokamak típusú berendezésekben — toroidális zárt erővonalas mágneses csapdáknak — elért elektronhőmérséklet  $20 \div 30$  millió K,  $3 \div 5 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  plazmasűrűség mellett. A plazmát  $0,01 \div 0,02$  másodpercig sikerült már együtt tartani.

A további munkaprogram keretében a hasonló típusú fúziós berendezések második nemzedékét tervezzük, amelynek jellemzői közel lesznek az önfenntartó magreakció létrehozásához szükséges feltételekhez. Az említett berendezések harmadik nemzedéke már az ún. demonstrációs reaktor lesz, amellyel nagy biztonsággal megvalósítható az önfenntartó termonukleáris fúzió  $100 \div 200$  millió K elektronhőmérséklet,  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  plazmasűrűség és 3 másodperces együttartási idő mellett.

Valószínű, hogy a 80-as évek végére már sikerül ilyen demonstrációs reaktorokat létrehozni. Meg kell jegyezni ugyanakkor, hogy a vázolt program megvalósításához még egy egész sor műszaki-tudományos problémát kell megoldani.

Távlatilag a különböző impulzus módszereknek is nagy jelentősége lehet, különösen ami a nagyteljesítményű lézerek felhasználását illeti.

Jelenleg minden remény meg van arra, hogy az ezredfordulóra sikerül megtalálni a szükséges megoldásokat, és megépülhet az első ipari termonukleáris reaktor.

Néhány szóban szükségesnek látszik megemlíteni még a napenergia és a geotermikus energia felhasználási lehetőségeit.

A napenergiát nagy mennyiségben azért nehéz felhasználni, mert a megfelelő energiatermelő berendezések műszaki-gazdasági és üzemeltetési mutatói meglehetősen rosszak.

Hasonlóképpen nincs még műszaki-gazdasági szempontból megfelelő megoldás a geotermikus energia széles körű felhasználására. Itt az alapvető problémát a nagy mélységekben, megfelelő határfokon üzemeltethető hőcserélők okozzák. Valószínűnek tűnik, hogy a geometrikus energia felhasználása még hosszú ideig a villamosenergia-termelés egy különleges formája marad, és csak olyan országban terjed el, ahol a geológiai adottságok erre igen kedvezőek.

## 7. Összefoglalás

Összefoglalásként szeretnénk mégegyszer hangsúlyozni, hogy figyelembe véve a rendelkezésre álló energiataralékokat, valamint azok felhasználásának műszaki tudományos lehetőségeit, nem kell tartanunk attól, hogy akár a közeljövőben, akár évszázadok múlva az emberiségnek energiahiánnyal kell küszködnie.

**The Development of Energetics in the Soviet Union and the General Tendencies of Development in the World.** The author reviews the expected development of the energetics structure of the Soviet Union and of the World until the year 2000, and deals with the further characteristics of the development of thermal energetics and the problems related to the use of nuclear energy. He gives information on the new tasks in electric energy power transmission, the new methods of energy transformation as well as the research and development work to be carried out in the near future.

**Die Entwicklung der Energetik in der Sowjetunion und allgemeine Entwicklungstendenzen in der Welt.** Der Verfasser bietet einen Überblick über die voraussichtliche Entwicklung der energetischen Struktur der Sowjetunion und der Welt bis zum Jahre 2000. Es werden auch die kennzeichnenden Eigenschaften der weiteren Entwicklung der thermischen Energetik, sowie die mit der Nutzung der Atomenergie verbundenen Probleme besprochen. Es folgt auch ein Überblick über die Aufgaben der elektrischen Energieübertragung, über die neuen Verfahren der Energieumwandlung sowie über die in Zukunft durchzuführenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

# A FÉLVEZETŐ FIZIKA ÚJABB EREDMÉNYEI ÉS AZOK IPARI ALKALMAZÁSA

V. G. LITOVCSENKO

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

A tanulmány bevezető része a félvezető fizika terén elért immár klasszikusnak mondható eredményeket foglalja össze. A továbbiakban ismerteti a félvezető fizika fejlődésének főbb szakaszait és a félvezető fizikának a gyakorlattal való kapcsolatait. Részletesen felsorolja a félvezető fizika legfontosabb újabb eredményeit, köztük az elektronoptikai effektusoknak, a kétdimenziós elektrongáz kvantálásának, az alagút effektusnak a felfedezését. Egyben rámutat a félvezető fizika terén várható további fejlődés főbb irányaira.

A félvezetők fizikája — viszonylag fiatal tudományág. Még 30—40 évvel ezelőtt is kevés természettudománnyal foglalkozó kutató tudta helyesen megmagyarázni a „félvezető” szó valódi értelmét. Jelenleg azonban már nehéz elképzelni egy gazdaságilag fejlett ország életét a félvezető eszközök és berendezések széleskörű felhasználása nélkül, a tudományt pedig a félvezetők fizikája nélkül.

A félvezető fizika és technika területén egy egész sor ma már klasszikusnak számító eredményt értek el. Említsünk meg ezek közül néhányat:

1. A szilárdtest többvölgyű sávmélettének kidolgozása.
2. A félvezetők különböző sugárzási fajtákkal (látható, ibolyántúli és infravörös fény; röntgen és  $\gamma$  sugarak; különböző korpuzszkuláris áramok, mint pl.  $\alpha$  részecskék, elektronok, ionok, stb.) szembeni érzékenységének felfedezése és a jelenség széleskörű felhasználása.

3. Az egyenirányító hatás felfedezése és felhasználása.

4. A tranzistor hatás felfedezése.

5. Az elektromos térnek a félvezetőre való hatása által kiváltott jelenségek felfedezése. Ezek közül a legfontosabbak:

- a) A nagy terek hatása a félvezetők sávszerkezetére (mint a Franz—Keldis effektus, ami az elnyelt vagy kisugárzott fénnyel alagútjelenségben nyilvánul meg; vagy az elfajulás megszűnése a sáv meghatározott kritikus pontjain.)

- b) A tér hatása a szabad töltéshordozók mozgására.

c) A töltéshordozók koncentrációjának modulációja; a szabad töltéshordozók felmelegedése az elektromos tér hatására; a felmelegedett töltéshordozókkal rendelkező félvezető átmenete instabil állapotba (felrétegződés, a félvezető szabad töltéshordozók szerinti domenizációja, ez utóbbiak más fázisállapotba — másik völgybe — történő átmenete, mint a Gunn effektus esetében; különböző típusú instabilitások fellépése; fázisátmenetek amorf félvezetőkben stb.);

d) Szilárdtest plazmák keletkezése.

e) Alagút effektus a félvezető vékony tartományán keresztül, ahol az elektromos tér megnövekedett, (Zener-lavina, Esaki effektus).

f) Az elektromos térnek a rácsrezgésre gyakorolt hatásából következő effektusok (akusztó-elektromos kölcsönhatások).

6. A félvezető fizika további eredménye a mágneses térnek a sávstruktúrákra és a szabad ill. lokalizált töltéshordozókra való hatásával kapcsolatos effektusok felfedezése. (Landau felhasadás; ellenállás effektus; a mélyen behatoló helikonális hullámok; spin rezonancia elektromos paramágneses rezonancia, stb.).

7. Figyelemre méltóak a félvezetők lumineszcens sajátosságainak kutatása terén elért eredmények, elsősorban a koherens emisszió felfedezése. A félvezető lézerek hatásfoka az ismert lézerek közül a legnagyobb és eléri a 25%-ot. A kis méretek és a kiegészítő felszerelés egyszerűsége miatt nagyon kényelmes velük dolgozni, és elvi lehetőség nyílik széles határok között folyamatosan beállítható frekvenciákon sugározni. A félvezető lézerek elvét BASZOV, VUL, KROHIN és POPOV dolgozták ki, és 1972-ben kísérletileg is megvalósították (VUL, NASZLEDOV, ROGACSEV, RÜVKIN, CARENKOV, SOTOV, valamint HALL és mások).

8. A sokrészes, az ún. „kollektív” effektusok felfedezése — amelyek az egymás közti erős kölcsönhatások következtében lépnek fel (és ezért specifikusan kölcsönhatnak más alrendszerrel) — a félvezető fizika egyik klasszikus eredménye. A kollektív effektusok mint pl. az Auger folyamatok, az exciton párok, az elektronplazma és Bose kondenzátum elég intenzív (pl. lézer) gerjesztéseknél lépnek fel.

9. Hangsúlyozni kell a geometriai mérethatások felfedezését amelyek lényegében az anizotrop rendszerekre specifikusok. A 7. és 8. pontban felsorolt effektusok többségét csak az utóbbi időben fedezték fel, ezekről később még részletesen szó lesz. Itt mi olyan jelenségeket említünk meg mint:

a) A kisebbségi töltéshordozók mozgása a kristály térfogatától egy potenciál gáttal elválasztott felületi rétegben.

b) Planáris kvantum effektusok. A kvantálás a két dimenziós elektron gázban, a felület síkjában új sávstruktúrák megjelenéséhez vezet (az elfajulás megszűnése miatt, az energiasávok nem ekvivalens eltolódása miatt stb.), következésképpen elvileg új effektusok széles osztályának megjelenéséhez, ill. megjelenésének lehetőségéhez vezet.

- c) A lézerhatás felfedezése a vékonyréteg rendszerekben (heteroátmenetekben, vékonyrétegekben, szuperrácsokban stb.).
- d) A memória effektus felfedezése a MIS szerkezetekben és a többrétegű dielektromos szerkezetekben.
- e) A MIS típusú szerkezetekben elektromos térrel vezérelhető fényelektromos (nem egyensúlyi) jelenségek.
- f) Az amplitúdó-fáziskontrasztra érzékeny holografikus planár rendszerek és a holografikus memóriák elveinek kidolgozása.

Hogy jobban megérthessük a mai félvezető elektronika fontosabb eredményeit, vessünk — ha csak néhány pillantást is — a félvezetőknek a kezdeti tudományos célokra való felhasználásától a napjainkig megtett útjára.

A félvezető fizika fejlődésében több szakaszt különböztethetünk meg. Bár ezen szakaszoknak a kiválasztása elég önkényes, mégis meg lehet nevezni a megtett út főbb állomásait. Ezek az első szakasz, amelyre a polikristályos félvezetők felhasználása, a második szakasz amelyre az egykristályos „félvezetők (főleg tömbkristályok) felhasználása jellemző. Végül a jelenlegi, a harmadik szakasz, amelynek jellegzetessége a planár rendszerek felhasználása (általában — méreteiben korlátozott mikrostruktúrák alkalmazása).

A félvezető fizika fejlődését minden szakaszban a félvezető anyagok előállításának technológiájában, a kísérleti technikában és a félvezetőkben lejátszódó alapvető folyamatok elméleti kutatása során elért eredmények tették lehetővé. Ez a három tényező alkotja azt a bázist, amelyre a félvezető fizika mint tudományág támaszkodik.

A félvezető fizika ezenkívül a legszorosabb módon kapcsolatos a gyakorlattal. A félvezetők alkalmazása eszköz viszonylatban nagyon gazdag; ezek a diódák, a tranzisztorok különböző fajtái és azok kombinációi, a töltés és akusztóelektromos kapcsolatú rendszerek, sugárzó ill. detektor rendszerek, az optoelektronikai eszközök stb. (1—4). A gyakorlat, az ipar szintén nem adósa a félvezető fizikának. Ma ugyanis a félvezető elektronika alighanem az egyik, az ipar részéről legjobban finanszírozott tudományág. A gyakorlat által diktált szükséglet és az általa nyújtott támogatás tehát még egy fontos tényező a félvezető fizika fejlődésében. Ez a körülmény különösen élesen mutatkozott meg az ún. „tranzisztor” korszakban (az 50-es években) amikor a félvezetőkkel kapcsolatos vizsgálatok többsége a tranzisztor iránnyal ill. tranzisztor anyagokkal volt kapcsolatos. Hasonló helyzetnek vagyunk tanúi ma is, amikor a félvezetőkkel foglalkozó kutatók többségének tevékenysége ilyen vagy olyan mértékben az integrált rendszerek fizikájával kapcsolatos.

A félvezető fizika fejlődésének első szakasza kb. 100 évvel ezelőtt, a Se fényérzékenységének felfedezésével kezdődött és a 40-es évekig tartott. Ebben a periódusban végezték el az olyan polikristályos anyagok többé-kevésbé részletes vizsgálatát mint pl. a Sn, Cu<sub>2</sub>O, SiC, Ag<sub>2</sub>S (fényérzékeny anyagok); vizs-

gálták az  $A^{II}-B^{VI}$  típusú anyagok bizonyos széles tilossávú oxidjait és a hőmérsékletre érzékeny  $Bi_nTe_m$  stb. tulajdonságait. Gyakorlati szempontból ebben az időben a különböző típusú egyenirányítók, kisteljesítményű fény- és hőelemek, termorezisztorok terjedtek el a legjobban.

A 40-es évek közepén a tudomány és különösen a gyakorlat szükségletei alapján új feladatok kerülnek előtérbe, amelyeket csak kristálytanilag jó minőségű, és a különböző típusú adalékanyagokkal megfelelően adalékolható anyagokkal lehetett megoldani. Ebben a második fejlődési szakaszban dolgozták ki és tökéletesítették az egykomponensű (Ge, Si, Te), a kétkomponensű (GaAs, GaP, InSb és más III—V. vegyületek; CdS, CdSe, és más II—VI vegyületek), a három és többkomponensű vegyületek kristálynövesztési eljárásait, ezen anyagok tisztításának és a különböző adalékanyagok bevitelének a módját (elsősorban diffúzió útján vagy az olvadékfázisba adagolással). Többnyire ebben az időben fejlesztették ki azokat a finomabb vizsgálati módszereket, amelyeket ma is használunk.

Mindez lehetővé tette a beszámoló elején felsorolt effektusok felfedezését és vizsgálatát, és megalapozta a modern félvezető elektronika vitathatatlan eredményeit. Ennek az elektronikának a fejlődését jelentősen elősegítette a 40-es évek végén felfedezett tranzisztor-effektus, amelyek jegyében jelentős mértékben fejlődött a félvezető fizika a második szakaszban.

A félvezető fizika fejlődésének harmadik szakasza a 60-as évektől kezdődött, amikor a tömb-kristályos félvezetőkben lejátszódó fizikai folyamatokat mind kísérletileg, mind elméletileg már sikerült nagy vonásokban tisztázni. A félvezető fizika figyelme ekkor a térbelileg anizotrop rendszerek felé fordult (planár-, réteges- és bonyolult geometriájú mikroszerkezetek stb.), minthogy itt egy egész sor elvileg új jelenség vizsgálatára nyílt lehetőség, mint pl. könnyen vezérelhető kölcsönhatások elektromágneses és más terekkel, kölcsönhatások különböző típusú fázisok érintkezésénél és más — megfelelő detektorokkal — könnyen felfogható jelenségek.

A lényegyet tekintve itt szerkezetekben (elsősorban réteges szerkezetekben) lejátszódó fizikai jelenségekről van szó, amely szerkezetek vagy más típusú anyaggal (szigetelővel, fémmel — mint a MIS szerkezetekben, elektrolittal, gázzal), vagy más sávszerkezetű anyaggal, vagy lokalizált elektromos, mágneses „mechanikai stb. terekkel létrehozott barrierrel vannak geometriailag elhatárolva.

Megemlítünk még egy körülményt: a félvezető fizika a figyelmét jelenleg az ún. „lokalizált” geometriai vagy méretezett jelenségekre koncentrálja, s ily módon túlmegy a tiszta félvezető jellegű objektumok és jelenségek körén. A félvezető lokalizált tartományai ugyanis körülhatároltak, gyakran más típusú anyagokkal határosak. Következésképpen a félvezető sajátosságok összefonódnak a szigetelő, a fém-, a folyadék- vagy gáz-állapotok sajátásaival, és ennek eredményeképpen az izolált tömbkristályokra nem jellemző, vagy



azoknál nem lehetséges új effektusok és sajátságok jelentkeznek. Az ilyen „hibrid” jelenségekre példaként megemlíthetjük a félvezető felületeken a beépült szennyezők által létrehozott potenciális gátak széles skáláját az SIS rendszerekben a kvantált alagút hatásokat, a különleges kétdimenziós sávstruktúrával rendelkező vékony átmeneti fázisok kialakulását stb.

A félvezető fizika jelenlegi szakasza a legközvetlenebb módon kapcsolatos az integrált rendszerek létrehozásával. Azt lehet mondani, hogy jól követhető, egymásra visszaható kapcsolat van a félvezető fizika és technika fejlődése között. A félvezető fizika fejleszti a saját szempontjából szükséges fizikai irányzatokat és a különböző funkcionális fizikai műveletek kivitelezési lehetőségének a leírásával felkínálja az iparnak. A gyakorlati elektronika pedig a maga részéről a különböző aktuális rendszerekben felhasználja ezeket az eredményeket, stimulálja, támogatja és így intenzívebben fejleszti a félvezető fizika azon ágait, amelyre neki (az iparnak) leginkább szüksége van.

Jelenleg a mikroelektronika lett a félvezető fizika fő fejlődési iránya, ami nem is csodálatos, ha figyelembe vesszük, hogy az integrált áramkörök az elektronikus számítógépipar alapvető bázisává lettek.

A fejlődés jelenlegi szakaszában a számítógépgyártás lett az elektronikai ipar legjelentősebb és legrohamosabban fejlődő ága, amelyre fordított összeg a gazdaságilag fejlett országokban elérheti a költségvetés 10%-át is. Az ember tevékenységi körének nagy részében (ipari termelés, tudományos kutatás, űrkutatás, kereskedelem, bankügyletek stb.) kompjuterizálási folyamat megy végbe, és ez óriási mennyiségű különböző típusú számítógépet igényel. Ezért a számítógép-gyártás és IC elemek gyártásának növekedési üteme eléri az évi  $20 \div 30\%$ -ot. Az előrejelzések szerint a félvezető integrált elemek, és a velük kapcsolatos kutatások az elkövetkező  $10 \div 15$  évben központi helyet foglalnak el a félvezető fizikában. Meg kell jegyezni, hogy az MTA Fizikai Intézetei is aktívan bekapcsolódtak a rétegszerkezetek kutatásába, és már most jelentős eredményeket értek el, kutatásaiknak szép hagyományai vannak.

A fent mondottakkal kapcsolatban természetesen látszik az a körülmény, hogy a félvezető fizika új eredményeinek többségét a planár rendszerekben, vékony felületi és átmeneti rétegekben, többrétegű struktúrákon stb. végzett mérések során érték el. Az alábbiakban felsoroljuk a félvezető fizika néhány újabb — véleményünk szerint legfontosabb — eredményét, és azok néhány gyakorlati alkalmazását.

1. Az elektrooptikai effektusok felfedezése — mely egy új, nagyteljesítményű kutatási irány — a modulációs spektroszkópia kezdete lett. A jelenség lényege a felületi elektromos tereknek a félvezetők optikai paramétereire (reflexió, transzmisszió, polarizáció stb.) való hatása mely olyan alapvető mechanizmusokat foglal magában mint a Franz—Keldis effektus, a tér hatását az exciton, az elektron és fonon spektrumokra stb. Az elektro-optikai módszerek a sávstruktúra paramétereinek legpontosabb meghatározási módszerei-

nek sorába tartoznak, és felfedezőik (ASPNES, SHERAPHINE, CARDONA) a Nobel-díj várományosai.

2. A koherens emisszió felfedezése réteges szerkezetekben — heteroátmentekben (ALFJOROV és mások), vékonyrétegekben (VLASZENKO), és a szuper-rácsú planár szerkezetekben (JARRIN). Az adott esetben elvi jelentősége van annak a körülménynek, hogy rendelkező (állítható frekvenciájú) lézerek előállítására nyílik lehetőség széles energiakészlettel. Mint ismeretes a félvezető lézereket nagy hatásfok (25%-ig) jellemzi, vezérlésük egyszerű, méreteik kicsik. Ezek a sajátságok még jellemzőbbek a planár lézerekre.

Nagyon lényegesek azok az eredmények, amelyeket az új miniatűr rendszerek lumineszcenciájának vizsgálata során értek el. Itt mindenek előtt a réteges rendszerek lumineszcenciájáról, a felületi lumineszcenciáról (3), és a komplexek lumineszcenciájáról van szó. Ez utóbbi esetben széles hullám tartományban sugárzó rendszerek állnak rendelkezésünkre (3).

Mind a koherens, mind a szokásos elektrolumineszcens félvezető fényforrások a már kidolgozott (a lavina és csatornaszerű inercia nélküli és alacsony zajszintű fotoszorzók) felvevőkkel együtt alkotják az *optoelektronika* alapját, amely ma a félvezető elektronika legviharosabban fejlődő ága. Az optoelektronikai rendszerek évenkénti növekedése eléri a 40%-ot. Különösen perspektivikusak az integrált optoelektronikus rendszerek — mint a fényérzékeny mátrixok, a vidikonok, a különböző rendeltetésű fényérzékeny bemenettel rendelkező IC elemek stb. Ezek azok a rendszerek amelyeket széles körben fognak alkalmazni a számítógépek 5. nemzedékénél. A kibernetikus GLUSKOV úgy véli, hogy ezen számítógépek fő elemei a félvezető optoelektronikai eszközök lesznek. A jelenleg kutatott optoelektronikai holografikus memóriák az összes eddig megjósolt memóriák közül alighanem a legnagyobb teljesítőképességűek ( $10^{12} \div 10^{14}$  bit). A lézeres optoelektronika adja a leggyorsabban működő rendszereket ( $10^{-10}$  sec).

A planár sugárzó rendszerek felhasználásával kapcsolatban megemlítjük a sík világító renyőket, a színes szilárdtest televíziót, a precíziós lézeres helymeghatározást és a nagyon intenzív fényforrások felhasználását a spektrál műszerekben.

3. A planár töltéstovábbítás felfedezése. A jelenség abból áll, hogy potenciális gödörben megtartott kisebbségi töltés mozgását vezérelni lehet a felület síkjában. Ily módon a jelenség két mozzanatot foglal magában: a töltés megtartását a felületi töltéstartományban, és a töltés továbbítását a felület mentén. Az esetek többségében potenciál gödörként a felület egy kis szakaszát használják fel egy kiürülési réteggel, amit általában egy MIS mikrostruktúra segítségével alakítanak ki. A szükséges mozgásirányt a szomszédos MIS cellákhoz tartozó potenciál gödrök mélységének változása adja meg, amit az alkalmazott elektromos tér determinál. A periodikusan váltakozó potenciál gödrök falaikkal érintkeznek és részben átfedik egymást, de mégis van közöttük bi-

zonyos barrier. Így, alapjában véve egy periodikusan változó potenciál barrier-rel rendelkező planár szerkezettel van dolgunk (a szilárdtest makroszpóikus sávmodellje), ahol a gödör mélységét és a határvonal magasságát tudatosan változtathatjuk, gyorsítva a töltés mozgását az egyik gödörből a másikba, vagy megfelelő potenciál alkalmazásával a töltés huzamosabb ideig megtartható valamely gödörben (memória), vagy fékezhető a töltés mozgása (késleltető vonal). A töltéstovábbító rendszereket Bell-ék terjesztették elő 1970-ben. A jelenség fizikai alapjait már korábban lerakták azokban a munkákban, amelyek egy Schottky-barrier által a félvezető térfogatától elkülönített felületi potenciál gödörben való töltésmegmaradás feltételeinek tanulmányozásával kapcsolatosak.

A töltéstovábbítás jelensége alapján nagy számú jól használható diszkrét és integrált szerkezetet dolgoztak ki, amelyek a szemünk láttára honosodnak meg a gyakorlatban. A töltéstovábbító cella alkalmasnak mutatkozott azon összes funkció ellátására, amelyeket a hagyományos bipoláris tranzisztor és monopoláris MOS tranzisztor látott el. Ezen kívül egy ilyen cella további ilyen lehetőségekkel is rendelkezik — képes töltést tárolni. Technológiailag egyszerűbb előállíthatósága és a minimálisan elérhető kisebb mérete miatt egy ilyen cella rendkívül perspektívikusnak látszik több komponensű rendszerek létesítésénél. Éppen ilyenek az IC-k is. Ezen előnyök miatt van jelenleg szinte minden nagyobb elektronikai cégnek jelentős programja a töltéstovábbító rendszerek fejlesztésével kapcsolatban.

A legeredetibb töltéshordozó továbbító rendszerek közül megemlítjük a memóriaszerkezeteket (2–4). A Si alapú memória eszközöknél az információ beírási ill. kiolvasási ideje  $10^{-6}$  ill.  $10^{-9}$  sec. Az információ megőrzése több mint 5 év, az eszköz kapacitása pedig  $10^6$  bit/cm<sup>2</sup>. A töltéstovábbítás elvén alapuló mátrix rendszerekben az információ beírása fotometrikus leképzés, a kiolvasás pedig mozgó potenciál gödör segítségével valósul meg. Ezeket a MIS szerkezeteket használják fel a műveleti memória eszközök kidolgozásához és új típusú szilárdtest vidikonok kidolgozásához. Jelenleg már működnek ilyen  $100 \times 100$  memória elemmel rendelkező vidikonok, és perspektívikusan várhatók a szuperfelbontású  $1000 \times 1000$ -es félvezető memória vidikonok is (4).

A MIS szerkezetek és a töltéstovábbítás elvén működő félvezető memóriák működési sebessége igen nagy, magasfokú integrációval és megbízhatósággal rendelkeznek és jól összeépíthetők az IC alapú logikai rendszerekkel. Ezzel kapcsolatban lehetőség kínálkozik olyan nagy kombinált IC elemet létrehozni, amely mind a processzort, mind a memóriát magában foglalná, és így ugyanazon a kristályon ki lehetne alakítani a számítógépek főbb elemeit. A minikompjuterek esetében ez a lehetőség napjainkban realizálódik (2). Az előrejelzések szerint néhány év múlva a számítógépek kb. fele már félvezető memóriákkal fog működni.

Meg kell jegyezni, hogy az integrált technikában a domináló anyag ma is — és véleményünk szerint az elkövetkező 10 ÷ 15 évben is a szilícium. Az integrált áramkörök alapvető készítmény technológiája a planár technológia, amelynél különböző fotolitografikus eljárásokat (beleértve mint legfontosabbakat az elektron és lézer eljárásokat) és diffúziós eljárásokat (beleértve mint legfontosabbat az inplantációt) alkalmaznak. Ilyen módon a jelenkori félvezető elektronika fő bázisa a MIS, IS stb. szerkezeteket felhasználó szilícium elektronika.

4. Megnevezünk néhány fizikai jelenséget, amely vékony félvezető rétegek ion inplantációjánál lép fel. A csatorna effektus (DAVIES és mások) mellett meg kell említeni azokat az effektusokat, amelyeket az ionnyalábnak a kristályráccsal és a benne levő szennyezésekkel való kölcsönhatás határoz meg. Az iontechnika, a fókuszált nyalábok fordított szóródásának felhasználása lehetőséget adott a kristályrács szerkezetében, a kristályhibák szuperfinom felépülésében a szennyezési atomok elhelyezkedését és a szilárdtest kötési energiájának pontos meghatározását illetőleg egy egész sor elvi lehetőség felismerésére. Nehéz lenne túlbecsülni az ionimplantációnak — mint a legfinomabb és legtisztább „térben lokalizált” doppelési módszernek — a gyakorlati jelentőségét, amelyet már most széles körben használnak kiváló minőségű áramkörök előállítására és ami rendkívül perspektívikus a jövőben.

5. A kétdimenziós elektrongáz kvantálásának felfedezése (1965 PORTNOJ, EISENHOWER és MARPHY) alapul szolgált egész sor effektus felfedezéséhez. Többek között megfigyelték a felületi sugárnyalábhöz tartozó vezetés oszcillációját keresztirányú elektromos és mágneses térben (a teres Subnyikov—de Haas effektus), a töltéshordozók mozgékonyságának a növekedését a nyalámban, a sáv felhasadást a kétdimenziós elektrongázban stb.

Perspektívikusnak látszik a plazma oszcillációk vizsgálata kvantáló térben, új sokszintű inverziós benépesítésű rendszerek, MIS szerkezetekben koherens sugárzás létrehozása stb. (3).

6. A félvezető fizika új eredményei közé sorolható az alagút effektusok felfedezése a félvezetőkhöz csatlakozó szigetelő rétegeken keresztül (MIS, SIS és más rendszerek). Az alagút effektus az adott esetben erősen függ a félvezető és a szigetelő állapotától (a barriertől, a töltéshordozók típusától ill. a betöltetlen csapdák, tértöltés stb. jelenlététől, megfelelőleg). Az utóbbi időben a megvilágítás erős hatását figyelték meg az alagút áramokra a szóban forgó rendszerekben és ennek alapján új planár félvezető eszközök létesítését javasolták: a SIS tunel diódákat, alagút triódákat, fototriódákat töltés sokszorozódással stb. Ez utóbbiakat prometheum forrással kombinálva olyan rendszert lehetett kidolgozni a mesterséges szív táplálására, amely 30%-al gazdaságosabban működik mint a hagyományos fototriódákkal épített rendszer. Vanak javaslatok, amelyek szerint az alagút rendszereket fel lehet használni az infravörös sugárzás látható sugárzássá való átalakítására (SCHEWCHUN, WAXMAN) is. Mindenesetre a magas frekvenciák lehetősége, a gyenge hőmérséklet

függés és a planár technológiával való összeférhetőség az alagút hatáson alapuló elektronikát perspektívikussá teszik a gyakorlat szempontjából beleértve az integrált áramköröket is.

7. Említést kell tenni az ún. kollektív jelenségekről is, mivel ezeknek a vékony felületközeli rétegekben vagy réteges szerkezetekben való realizálása különös jelentőséggel bír. Itt azokra a prognózisokra gondolunk, amelyek az exciton-(Grinzburg) vagy plazma (Pasickij) nagyhőmérsékletű szupravezetés-sel, a nagy gerjesztett exciton koncentrációnál fellépő Bose-kondenzátummal és a lézer gerjesztés esetén fellépő fonon plazmával kapcsolatban megjelentek. A szóbanforgó jelenségek rendkívül fontosak mind a félvezetők alaptulajdonságainak megértéséhez, mind új állapotok létrehozásához a félvezetőkben. A gyakorlatban ezek olyan sugárzás eléréséhez vezettek melynek frekvenciája lényegesen (kétszeresen vagy többszörösen) meghaladja a tiltott sávét (az Auger többrészecke-effektusok felhasználásával), stb.

8. Lényeges eredmények születtek az utóbbi időben a félvezető kionika, a félvezető holográfia (beleértve a nagysebességű fázis holográfiát a szabad vagy lokalizált töltések gerjesztette tértöltésen), az akuszóelektromos kölcsönhatás vizsgálata területén is.

Befejezésül megjegyezzük, hogy jelenleg mind jobban szélesednek azok a vizsgálatok amelyek a félvezetőkkel foglalkozó fizikusok figyelmét magukra felhívó olyan anyagokkal kapcsolatosak mint a HgCdTe, HgCdSe típusú keskenysávú félvezetők (infravörös detektorok céljaira), a szélessávú III V vegyületek (fényforrások céljaira) és a közepes szélességű tiltott sávval rendelkező félvezetők (a látható fény detektálására és tranzisztorok, integrált áramkörök céljaira). Mindamellet azonban jelenleg kiemelkedő szerepe van mint vizsgálati anyagnak -- a *szilíciumnak*, mint vizsgálati objektumoknak -- a planár szerkezeteknek és az integrált szerkezeteknek, amelyek ma a legelterjedtebbek a félvezető iparban és véleményünk szerint perspektívikusak maradnak a következő évtizedre is.

#### IRODALOM

1. Я. А. ФЕДОТОВ: Полупроводниковая электроника (обзор), ФТП, 8, 841, 1947.
2. О. В. СНИТКО: Вісник АН УРСР, № 10, 6, 1973.
3. В. Г. Литовченко: Вісник АН УРСР, № 10, 25, 1971; Сб. Полупроводниковая техника и электроника, 8, 3, 1972
- В. Г. ЛИТОВЧЕНКО, В. А.: Зуев, Вісник АН УРСР, № 6, 39, 1974
4. *Elektronics*, (1972), (1973) (Reports on the Electronics Science and Industry Development)

**The Newer Results of Semiconductor Physics and Their Industrial Application.** The introductory part of the paper recapitulates the already classical results in the field of semiconductor physics. Further it resumes the principal stages of the development of semiconductor physics and their connection with the practice. The most important recent developments of this science are reviewed, amongst them the discovery of the electron-optical effects, the coherent emission, the planar charge transport, the quantizing of the two-dimensional electron gas, the tunnel effect. The expected further development of semiconductor physics is outlined.

**Die neueren Ergebnisse der Halbleiterphysik und ihre industrielle Anwendung.** Der einleitende Teil der Arbeit faßt die auf dem Gebiet der Halbleiterphysik erzielten, schon klassisch zu nennenden Ergebnisse zusammen. Weiterhin werden die hauptsächlichsten Etappen der Entwicklung der Halbleiterphysik und ihre Beziehungen zur Praxis diskutiert. Eingehend werden die neuesten Ergebnisse auf diesem Gebiet, wie die Entdeckung der elektrooptischen Effekte, der kohärenten Emission, der planaren Ladungsförderung, der Quantisierung des zweidimensionalen Elektronengases, des Tunneleffekts besprochen. Zugleich wird auf die in der Halbleiterphysik zu erwartenden Hauptrichtungen der weiteren Entwicklung verwiesen.

# MAGYAR—SZOVJET EGYÜTTMŰKÖDÉS A FÉLVEZETŐK KUTATÁSA TERÜLETÉN\*

BODÓ ZALÁN\*\*\*

A FIZIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORA

és

SZIGETI GYÖRGY\*\*

AZ MTA RENDES TAGJA

Az együttműködésnek három szakasza volt. Az első kb. 1955-ig tartott. Ekkor csak egymás tudományos eredményeinek irodalmi tanulmányozása folyt. Ennek alapján eredményátvételek, továbbfejlesztések történtek és új ötletek születtek. A kapcsolat kétoldalú volt. A második kb. 1970-ig tartó időszakban a MTA MFI fiatal kutatói közül sokan, pl. PFEIFER Judit, RÖSNER Béla, a NÉMETH házaspár és így tovább, már hosszabb tanulmányutakat tettek a Szovjetunióban, míg mások ebben az időszakban egyetemi tanulmányaikat végezték ott. Ezek az utazások és tanulmányok igen nagy mértékben segítettek a Műszaki Fizikai Kutató Intézetnek a félvezető kutatások megindulásainál. Kétoldali együttműködési szerződések jönnek létre a két ország tudományos intézetei között. Szoros a tapasztalat- és kutató csere. Számos közös kutatási eredmény születik.

## I. Bevezetés

A félvezető anyagok kutatása területén az egyre fokozódó magyar-szovjet együttműködésnek három szakaszát különböztethetjük meg.

A II. világháború előtti évek és kb. a háború utáni első évtized alkotják az *első* korszakot. Ekkor az együttműködés még csak az egymás eredményeinek irodalmi tanulmányozására korlátozódott. Már ekkor is merítettek azonban saját munkáikhoz mind a két ország kutatói ötleteket, új kutatási lehetőségeket a másik ország kutatási eredményeinek megismeréséből, közleményeiknek olvasásából.

Az együttműködés *második* szakasza az 50-es évek második felében kezdődött. 1956-ban volt alkalmunk először megtekinteni a szovjet félvezető kutató és kísérleti gyártó intézeteket. Így Leningrádban az A. F. JOFFE akadémikus vezetésével működő félvezető kutató intézetet, a D. N. NASZLEDOV vezette Fizikai-Technikai Intézetet, a moszkvai Bajkov-intézetet (D. A. PETROV), a Szovjetunió Tudományos Akadémiájának Fizikai Intézetét (FIAN, Moszkva), ennek kiváló vezető munkatársait: VUL, LEVSHIN és SZKANAVI professzorokat, továbbá a moszkvai Elektrolampovij Zavodban a lumineszcens lámpákkal kapcsolatos munkákat és a leningrádi Sztvetlana gyárban folyó félvezető kísérleti gyártást. Ezen korszak további időszakára az jellemző, hogy

\* Előadta az MTA tudományok ülészsaka keretében 1974. szept. 19-én Bodó Zalán.

\*\* Szigeti György. 1325 Budapest, Pf 76.

\*\*\* Bodó Zalán. 1325 Budapest, Pf 76.

számos magyar kutató, elsősorban kezdő, fiatal munkatárs tett hosszabb-rövidebb tanulmányutat a Szovjetunióban. A különböző szovjet kutatóintézetekben megismerkedtek az ottani témákkal, tudományos munkákkal, kutatási módszerekkel és eszközökkel. Átvették az ottani tapasztalatokat, és ezeket a hazai kutatásaik megindításakor hasznosították, de ugyanekkor átadták saját tapasztalataikat is — főleg a lumineszcencia kutatás területéről. Számos tehetséges fiatal kapott ösztöndíjat és végezte tanulmányait a Szovjetunió egyetemén. Ez tehát már az előbbi korszaknál lényegesen szorosabb kapcsolatot jelentett.

Az együttműködés további fokozódását leginkább a 70-es évekkel kezdődő *harmadik* korszak mutatja. Ekkor már a Magyar Tudományos Akadémia intézetei a kutatások koordinálására a Szovjetunió különböző intézeteivel kétoldalú együttműködési szerződéseket kötöttek. Így a félvezető kutatások hatásosságának fokozására szoros, kölcsönös kétoldalú együttműködés alakult ki, állandósult a tapasztalat- és kutatócsere.

A következők — nem törekedve teljességre — röviden e három korszak *legjelentősebb* eredményeit foglalják össze.

## 2. Az első korszak

Ennek a korszaknak legérdekesebb eredménye az volt, hogy egy szovjet kutató, O. W. LOSSEV még 1923-ban szilíciumkarbidon felfedezett egy új fizikai jelenséget, melyet „detektorvilágításnak” nevezett el. Ez volt az első megfigyelt elektronlumineszcens jelenség. Ezeknek a kutatásoknak ismeretében kezdte SZIGETI György egyes kristályok elektronlumineszkálását vizsgálni. Megállapította, hogy e jelenség nem, az akkori irodalomban elfogadott nézetek szerinti, optikai fékezési sugárzás, hanem a kristályok felületén vagy belsőjében kialakult zárórétgen felgyorsult elektronok által keltett *lumineszcencia*. Megállapította, hogy a fényerjesztés határfoka a kristályok tisztaságának növelésével lényegesen javítható. Ennek alapján kapta meg BAY Zoltánnal együtt szabadalmát, amely a nagymértékben tiszta kristályon átfolyó elektromos áram által történő fényerjesztést védi. Ezt a jelenséget használják fel ma is az ún. világító diódákban (LED). Ők szerezték meg tehát a világon az első szabadalmat, még a háború előtt, az elektronlumineszcencia jelenségét hasznosító fényforrásokra.

A háború után is SZIGETI és a vele együttműködő csoport kutatásainak fő területe a lumineszcencia volt. A kutatócsoport tagjai NAGY Elemér, BODÓ Zalán, MAKAI Endre, GERGELY György és SZABÓ János lettek. E kutatógárdának munkája még a háború előtti nyugati tanulmányutak tapasztalatainak felhasználásával kezdődött. Sikeres kutatásaik nyomán indulhatott meg PINTÉR Jenő, GÁCS István és SZÁSZ Tibor vezetésével a magyar fénycsőgyártás, de a közvetlen ipari felhasználáson túlmenően, a kutatásaik eredménye-



képpen számos értékes új tudományos alapfelismerés és mérési módszer is született. Itt most ezek közül csak azt a néhányat említjük meg, ami közvetlen szovjet kapcsolatot is jelentett.

1951-ben a szovjet M. N. ALENCEV módszert dolgozott ki lumineszkáló folyadék kvantumhatásfokának mérésére. Az ő kalorimetrikus módszerét vette át, fejlesztette tovább BODÓ Zalán és sikeresen alkalmazta fényporok kvantumhatásfokának meghatározására. N. A. TOLSZTOJ és P. P. FEOFILOV publikációi nyomán VALKÓ Iván Péter és GERGELY György olyan mérési módszert dolgozott ki, melynek segítségével a több komponensű foszforeszkálás fényének gyors lecsengését elektronikusan lehetett analizálni. Fordított irányban is történt ilyen kapcsolat. 1951-ben BODÓ Zalán a porok diffúz optikai tulajdonságainak értelmezésére új elméletet dolgozott ki és ezt sikeresen alkalmazta a fényporok abszorpciós együtthatóinak kísérleti meghatározására. Ezekre a munkáira számos szovjet kutató figyelt fel, többek között IVANOV, GIRIN, STEPANOV, majd V. V. ANTONOV-ROMANOVSZKI, akik átvették a magyar eredményeket és azokat továbbfejlesztették. A közös munkák eredménye alapján a diffúzóoptikának új fejezetét alkották meg.

Megkezdődött a gyakorlati együttműködés is a magyar kutatók, gyártó üzemek (Egyesült Izzó) és a szovjet gyárak, főleg a moszkvai Elektrolampovij Zavod között. Ebben igen hathatósan működött együtt szovjet részről elsősorban E. MERZLOUHOVA és B. M. GUGEL és a magyar partner SZABÓ János.

### 3. A második korszak

Rátérve erre a korszakra, először meg kell említenünk, hogy a következőkben magyar részről a félvezető kutatásokban főleg az MTA Műszaki Fizikai Intézete (MFI) vette ki részét; fiatal kutatói közül SOMOGYI Károly és BERTÓTI Imre ebben az időben egyetemi tanulmányaikat már a Szovjetunióban végezték, míg mások RÓNAINÉ, PFEIFER Judit, RÖSNER Béla, NÉMETH Tibor és NÉMETH Tiborné ekkor hosszabb tanulmányutakat tettek, és a Szovjetunióban készültek fel későbbi kutatási munkáikra. Az együttműködő szovjet intézetek között elsősorban a moszkvai Krisztallográfiai Intézetet, a leningrádi Joffe-Intézetet és Novoszibirszkben a Félvezető Fizikai Intézetet, valamint a Szervetlen Kémiai Intézetet kell megemlítenünk. Ebben a korszakban több témában már jelentős tudományos együttműködés is alakult ki.

Ez egyes esetekben már a téma választásnál, az eredménnyel nem kecsesgató témák azonnali kiszűrésével, illetőleg perspektívikus új témák kijelölésével kezdődött. Ebben az időben igen lényegesek voltak kutatóinknak elsősorban a félvezetők preparatív előállításával kapcsolatban szerzett tapasztalataik, de lehetőségük volt az apparatív megoldások, technológiai folyamatok megismerése mellett, új mérési módszerek közvetlen tanulmányozására is.

A MFI-ben folyó félvezető kutatás bázisát akkor még az elemi félvezetők és az ezekből készíthető eszközök képezték. Az 1960-as évek elején

egyre erőteljesebb igény lépett fel új tulajdonságokkal rendelkező, más félvezető anyagok iránt. A félvezető vegyületek szovjet kutatási bázisának vezetője ekkor Leningrádban N. A. GORJUNOVA volt. Ebből az iskolából nőttek ki azok a kutatók, akik ma is neves képviselői a bonyolultabb félvezető vegyületek vizsgálatának. Ezért volt a magyar kutatók számára igen jelentős az, hogy tanulási, illetve kutatási lehetőséget kaptak a leningrádi Joffe-Intézetben, GORJUNOVA professzorasszony mellett. Kutatóink nála elsősorban a preparatív munkákba kapcsolódtak be, ennek a hazai kutatómunka szempontjából az előbb említettek szerint igen komoly jelentősége volt. Számos olyan technológiai eljárást (pl. sokkomponensű gázfázisú transzport reakciókat, gázfázisú szintéziseket, atmoszféra feletti nyomástartományokban végzett kristálynövesztéseket: LEC) ismerhettek meg a gyakorlatban, amelyekről addig csak kevés irodalmi ismeretük volt. Megtanulták, a nálunk akkor még nem alkalmazott, As és P vegyületek előállításí módszereit, kezelhetőségük feltételeit. A gáz, olvadék, oldat-olvadék fázisból történő növesztések újszerűsége mellett új tudományos gondolkozási módot is megismerhettek. A gyémántszerű szerkezetekkel analóg félvezető vegyületek számos fizikai tulajdonsága ugyanis ebben az időben már előre tervezhető és változtatható volt. Kutatóink ezekkel is megismerkedtek.

Ugyanebben az időszakban alakultak ki kapcsolataink a moszkvai kutató intézetekkel is. RÓNAINE PFEIFER Judit a Krisztallográfiai Intézetben SEFTAL professzor csoportjában az elemi félvezetők homoepitaxiájának kémiai transzportjával, V. J. NIKITENKO vezetése mellett RÖSNER Béla a germániumbeli diszlikációk mozgásának vizsgálati módszereivel ismerkedett meg. A közös munka során diszlokáció mozgást észleltek a makroszkópikus plaszticitás kritikus hőmérséklete ( $\sim 400^\circ\text{C}$ ) alatti hőmérséklettartományban is. Ezt a mozgást az ismert elméletekkel nem lehetett értelmezni, de a méréseik egyezést mutattak más szerzőknek mikrokeménység mérésekből nyert eredményeivel. Az *Acta Physica*-ban közölt közös munka egyike volt az alacsony-hőmérsékletű diszlokáció mozgás természetére vonatkozó kezdeti felismeréseknek, ezért erre a közleményre azóta is számos hivatkozás történik.

RÖSNER Béla 1965-ben V. Sz. VAVILOV és A. A. GIPPIUSZ vezetésével a Lebegyev Intézetben a szilícium A centrumain lejátszódó sugárzási rekombinációk vizsgálataiba is bekapcsolódott. Itt a modern kísérleti technika (a folyékony hélium hőmérsékletén történő mérések, kisszintű jelek detektálása, stb.) terén olyan tapasztalatokra tett szert, amelyek lehetővé tették Intézetünkben az azóta is folyó kísérleti fononkutatások megindulását és az itthoni eredményes Shockley—Hubner effektus vizsgálatokat. 1966-ban RÓNAINE PFEIFER Judit Novoszibirszkben tett féléves tanulmányutat. A szervesetlen kémiai intézetben bekapcsolódott a félvezető halogenidek és félvezető kristályok között végbemenő reakciók tanulmányozásába, V. I. BELIJ-jel a Ge—HBr reakciót vizsgálták. A reakciókinetikai vizsgálatokat a Szovjetunióban

közösen végezték, majd a hazatérés után, a hozott mintákon Intézetünkben végeztünk szerkezet vizsgálatokat. Erről a Szovjetunióban megkezdett és Intézetünkben befejezett munkáról, az eredményekről 1967-ben a Budapesten megrendezésre került *II. Nemzetközi Vékonyréteg Kollokviumon* számoltak be. A bízató eredmények alapján a novoszibirszi Intézet alkalmazza a HBr—Ge reakciót a félvezető reális felületek vizsgálatára.

#### 4. A harmadik korszak

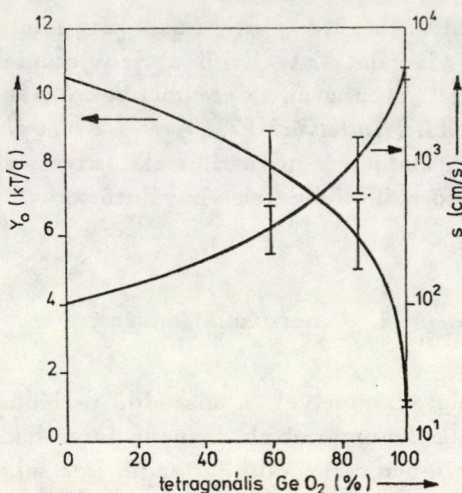
Azok a kapcsolatok, amelyek a második periódusban kialakultak, a későbbiekben nemcsak fennmaradtak, hanem bővültek, gyümölcsöztek és alapját képezik az 1970-ben elkezdődő harmadik korszaknak is.

A félvezető eszközök, különösen az MOS tranzisztorok, integrált áramkörök eddig többnyire szilíciumból készülnek. A Ge azért nem alkalmas ilyen célokra, mert eddig nem létezett olyan dielektrikum, amely a Ge felületi paramétereit stabilizálná. A Ge azonban a Si-mal szemben egy sor olyan előnnyel rendelkezik, amely szükségessé tette azt, hogy megvizsgáljuk Ge felületen a stabil germániumdioxid dielektrikum kialakításának lehetőségeit.

A Ge félvezető eszközökön a gyártás során általában hexagonális módosulatú germániumdioxid réteg alakul ki, amely réteg jelentős mennyiségű vizet tud adszorbeálni. Ennek következtében az eszközök visszaram és szivárgási áram paraméterei változnak, általában leromlanak. Az amorf germániumdioxid kémiai tulajdonságai a hexagonális germániumdioxidéhoz hasonlóak. Létezik viszont, a germániumdioxidnak olyan módosulata is, a tetragonális germániumdioxid, amely kémiailag igen ellenálló. Nemcsak a víz, hanem még a foly sav sem támadja meg.

A MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetének igazgatója, és a SzU Tudományos Akadémiája novoszibirszi Félvezető Intézetének igazgatója között 1970. október 23-án történt írásbeli megegyezés alapján a MFI vállalta az itt kidolgozott eljárással három különféle felületkezeléssel preparált germániumegykristály felületen kétoldali tetragonális oxid védőrétegek előállítását. A szovjet intézetben a vizsgálatokat a RZSANOV vezetésével működő csoport, a MFI-nél NÉMETH Tiborné és társai végezték. A szovjet fél mikroellipszometriás és infravörös spektroszkópiai vizsgálatokat végzett, másrészt a MFI vállalta feladatokat közé tartozott a védőréteg előállítás különböző fázisaiban, a felületi rekombinációs sebesség változásának vizsgálata.

Először a hexagonális germániumdioxid por tetragonális oxiddá történő átalakítását dolgozták ki. Ezt a port 200 ÷ 250 atmoszféra nyomáson, 380 °C-on 6 nap alatt teljesen át tudták alakítani. A germánium felületén kialakított hexagonális germániumoxid rétegnek tetragonális módosulattá való átalakí-



1. ábra

tása a por formához hasonló módon történt. Vizsgálták a különböző kémiai felületkezelések hatását a tetragonális germániumdioxiddal fedett felületek kialakulása folyamán. Ezen vizsgálatok célja volt megállapítani, hogy a felületkezelések hogyan befolyásolják a kialakuló germániumoxid réteg tetragonális és hexagonális módosulatainak arányát és ennek a felületi paraméterekre való hatását. Méréseik szerint a felületi rekombinációs sebesség jelentősen megnőtt a hexagonális réteg kialakítása során, míg a tetragonális oxiddá történő átalakítás után az előzetes felületi kezelés hatása nem volt kimutatható, a felületi rekombinációs sebesség csak az oxid rétegben levő: tetragonális-hexagonális oxid módosulatainak arányától függött. Amint az 1. ábra mutatja, ha az oxidrétegben a tetragonális oxid réteg aránya nő, a felületi rekombinációs sebesség is növekszik, a felületi potenciál pedig csökken. Megvizsgálták a környezet hatását a 100%-os tetragonális germániumdioxidot tartalmazó oxidréteggel védett germánium felületi paramétereire. A felületi töltés és a felületi rekombinációs sebesség sem vízgőz, sem vákuum hatására nem változott. E mérések során bebizonyosodott, hogy a tetragonális germániumdioxiddal védett germánium felületének igen jó az elektromos és kémiai stabilitása.

A MFI-ben ezt a tématerületet 1971-ben zárták le, átadva a szovjet félnek a tetragonális germániumdioxid réteg előállítás technológiáját.

Még 1968-ban hazánkban járt a SzUTA Novoszibirszk-i Intézetéből Sz. SZMIRNOV. Intenzíven érdeklődött a nálunk germániumon folyó Shockley—Hubner (átmenő fononszél) effektus kísérletek iránt. Részben ez a látogatás ösztönözte a szovjet kollégákat arra, hogy az átmenő fononszél vizsgálatokat Novoszibirszkben is megindítsák. A galliumarzeniden kapott eredményeikről ebben az esztendőben számoltak be. Ezekhez a vizsgálatokhoz igen nagymér-

tékű segítséget nyújtott novoszibirszki tanulmányútja alatt SEBESTYÉN Tibor, aki ennek a munkának társszerzője. A személyes kapcsolatokat követően, ez évben a SzUTA és az MTA hivatalosan is megállapodtak a további együttműködésről.

1970-ben igen jelentős és intenzív együttműködés kezdődött a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Fizikai Kutató Intézete és az Ukrán Tudományos Akadémia Fizikai Intézete között is. A két intézet kétoldalú együttműködési megállapodást kötött, először az 1972–73-as évekre, majd az 1974–78-as évekre is. Ez az együttműködési megállapodás, amely részben párhuzamos, részben kiegészítő kutatásokat irányoz elő, lényegileg két területre terjed ki. Egyrészt kutatásokat végzünk a félvezető dielektrikum határfelület fizikai tulajdonságainak megismerésére, másrészt MOS struktúrákon a töltéstárolás és továbbítással kapcsolatos fizikai jelenségeket vizsgáljuk.

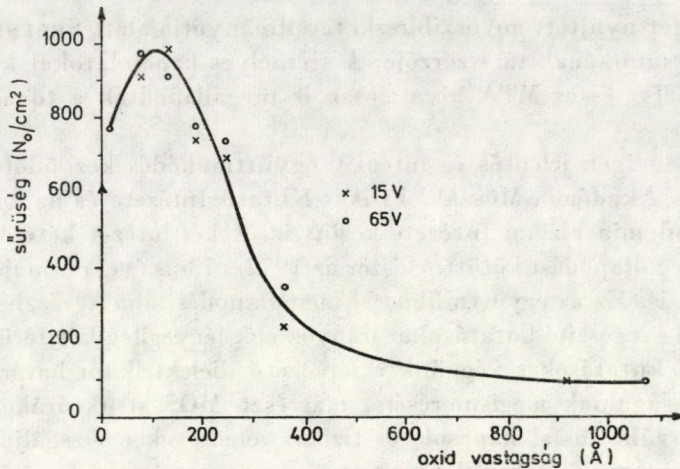
Az együttműködésben lerögzített csere-tanulmányutak során az érdeklő kutatók tájékoztatják egymást az elért eredményekről. Így ismerkedtünk meg pl. a kievi intézet által kidolgozott mikroellipszometria módszerével, mi viszont az általunk kidolgozott tű-lyuk (pin-hole) detektálási módszer konkrét kivitelezését adtuk át.

Az alábbiakban vázlatosan ismertetjük a MFI-ben, a LÖRINCZI András által vezetett kutató csoport (NÉMETH Tiborné, FORGÁCS Gábor, TÜTTŐ Péter) néhány eredményét.

a) Az MIS eszközök működésének egyik fontos problémája a termikus oxidálás során az ún. pin-hole-ok kialakulása. Ezek előfordulása nemcsak az eszközök, de a fizikai vizsgálatokhoz kialakított minták jóságát és így a mérések elvégezhetőségét is kérdésessé teszi. Vizsgálataink során olyan roncsolásmentes új módszert dolgoztak ki, amelyet szabadalmaztatni lehetett. Ennek lényege a következő: A módszer tulajdonképpen elektroforézis. Ha ugyanis MLIS struktúrában (itt az L elektrolit folyadékot jelent) feszültséget kapcsolunk a fém és félvezető fegyverzet közé, akkor a folyadékban levő szilárd töltött részecskék és a hibák tértöltése kölcsönhatásba lép egymással. A gyakorlati kivitelezésnél acetonban oldott transportschutzlack-ot és  $1\ \mu\text{m}$  átmérőjű fényport használtunk. A módszert eredményesen alkalmaztuk diszlokációk, tű-lyukak, mikroinhomogenitások és p-n átmenetek detektálására germániumon, galliumarzeniden, InSb-n egyaránt.

A 2. ábrán bemutatjuk e módszerrel végzett egyik vizsgálat eredményét. Ezen a pin-hole-ok számát az oxid vastagság függvényében ábrázoltuk. A görbe alakjából arra lehet következtetni, hogy a kezdeti értékeket a diszlokációs sűrűség határozza meg, a növekedését a hozzáadódó pin-hole-ok száma hozza létre, majd a csökkenés oka is a pin-hole-ok számának az oxid vastagságával történő csökkenése.

b) A következőkben a felületi generációs-rekombinációs tulajdonságok vizsgálatával kapcsolatos eredményeinket ismertetjük. A félvezetők felületi

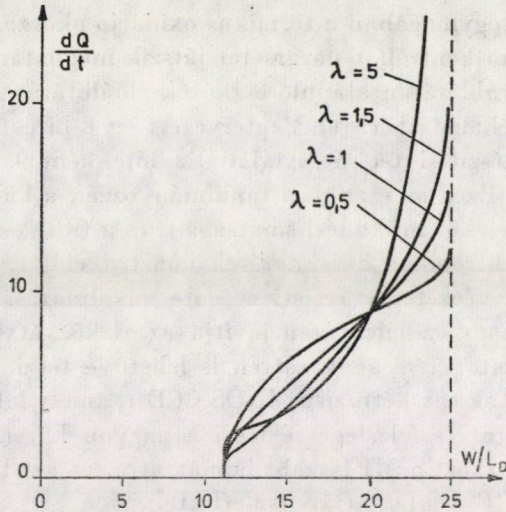


2. ábra

tulajdonságainak vizsgálatánál általánosan használt eljárás az impulzusos C—V mérés. Az ezzel kapott mérési eredmények kiértékelésével kapcsolatban több probléma merült fel.

A ZERBST által ajánlott, és szinte kizárólagosan használt kiértékelés feltételez egy, a kiürült tartomány vastagságának egyensúlyértékétől való eltéréssel arányos térfogati generációs sebességet, és egy időben állandó felületi generációs sebességet. A második feltételezés meglehetősen merész, különösen ha figyelembe vesszük azt, hogy a kapacitás relaxációjának ideje alatt a töltéshordozók száma az inverziós rétegben nagyságrendeket változik. Ez viszont Shockley—Read—Hall-féle generációs centrumok esetén a felületi generációs sebességben hasonló nagyságrendű változást kell hogy eredményezzen. A felületi centrumok paramétereinek ismeretében számított felületi generációs sebesség értékek több nagyságrenddel a Zerbst-féle kiértékeléssel kapható értékek alatt vannak.

Véleményünk szerint nyilvánvalóan a „klasszikusnak” tekinthető mérési módszerek (pl. PME módszer) fogalmainak átvételével van probléma. Ezeknek a módszereknek térbeli felbontása ugyanis a diffúziós hossz nagyságrendjébe esik, ami átlagos mintáknál  $10 \div 100 \mu\text{m}$  körül van. Az impulzusos C—V mérésnél a kiürült tartomány vastagsága  $1 \div 10 \mu\text{m}$  között mozog, ezen belül az inverziós réteg vastagsága — ami nyilván a felülettel legszorosabb kapcsolatban van —  $20 \div 200 \text{Å}$  nagyságrendű. Ezen adatok jellemzik e mérés térbeli felbontó képességét. Láthatóan a felülethez közeli azon centrumok, melyek a PME mérésnél még egyértelműen felületi centrumként szerepelnek, az impulzusos C—V mérésnél viszont már térfogati centrumokat jelentenek. Ha figyelembe vesszük az inverziós réteg igen nagy töltéshordozó sűrűségét,



3. ábra

a számítások olyan kicsi felületi generációs sebességet adnak, hogy nyilvánvalóvá válik az, hogy máshol kell keresnünk a kísérleti görbéből eddig felületi generációs sebességként kapott paraméter fizikai értelmét. Az MFI vizsgálatait azt mutatták, hogy homogén térbeli centrumsűrűség esetén gyakorlatilag az ideális relaxációs görbe adódik, azzal a különbséggel, hogy az eddig felületi generációs sebességként értelmezett paraméter a térfogati centrumok egyszerű függvényével értelmezhető. A vizsgálatokat inhomogén centrumeloszlás esetére kiterjesztve, azt kapták, hogy így már a legegyszerűbb inhomogenitás feltételezésével is, a kísérleti görbék értelmezhetővé válnak.

A számított görbék egy csoportja a 3. ábrán látható. Ezek a kiürült tartomány vastagságának függvényében ábrázolják a kisebbségi töltéshordozócsomag generációs sebességét a felülethez exponenciálisan növekvő ( $\exp(\lambda x)$ -szerű) centrumsűrűséget feltételezve, a  $\lambda$  paraméter különböző értékeinél. Ilyen típusú generációs centrum inhomogenitást többek között szennyezőknak az oxid rétegből vagy az oxid rétegen keresztül a félvezetőben való diffúziója, vagy a mechanikai előkészítés hatására a felülethez közel megnöveő rácshiba sűrűség, stb. hozhat létre.

c) A kievi intézetben többek között mikroellipszometriás mérésekből arra a következtetésre jutottak, hogy a szilícium termikus oxidációja során az oxid alatt vékony amorf réteg alakul ki. Intézetünk az együttműködés keretében vállalta ennek a jelenségnek alacsonyenergiájú elektron diffrakció (LEED) és nagyenergiájú elektrondiffrakció segítségével történő ellenőrzését. Mindkét módszerrel negatív eredmény adódott, a felvételeken nem jelentek meg, amorf anyagra jellemző ábrák. Ebből arra lehet következtetni, hogy az

amorffá válást nem egymagában a termikus oxidáció okozza, hanem valamely más, ismeretlen, nem kontrolált paraméter játszik meghatározó szerepet.

d) A töltéstovábbításon alapuló eszközök előállítására és vizsgálatára terén a MFI az alábbi előrehaladást érte el. Megtervezett egy 8-bites CCD tolotárolót és kidolgozta ennek készítési technológiáját. Ez bitenként 95%-os átviteli hatásokkal működik. Ezen az eszközön tanulmányozzák a különböző technológiai kérdéseket, az eszköz működési sajátosságait, és a CCD eszközök meghajtásához szükséges elektronikus berendezések konstrukcióját.

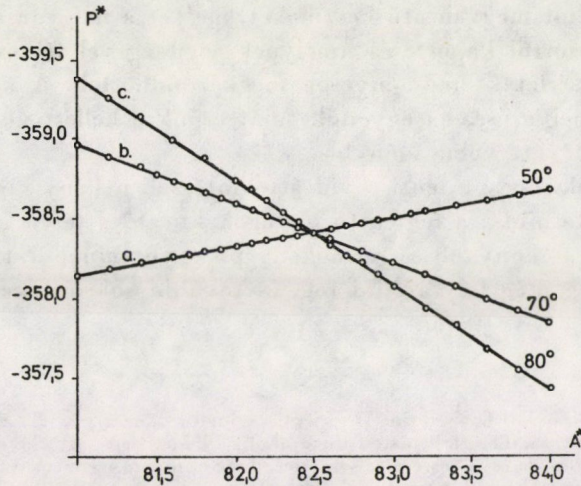
Vizsgálatokat végzett a resistive gate alkalmazására vonatkozólag, és megállapította, hogy ez jelentősen javítja az eszköz átvitelét és a töltéstovábbítást nagy gate távolságok esetén is lehetővé teszi.

Megkonstruálták egy kétfázisú MNOS CCD-t, amely kiküszöböli a kapuk közötti potenciálgátat és feleslegessé teszi a nagyon közeli fémfegyverzetek alkalmazását. Az eszközt a MFI szabadalmaztatta, és azt kutatói az 1972-es müncheni ESSDERC konferencián ismertették.

e) Az együttműködés kapcsán új ellipszométer beállítási módszert dolgoztak ki. Az ellipszométer polarizációs spektrométer, amely elsősorban felületi vékonyrétegek (pl. szilíciumoxid, szilíciumnitrid, germániumoxid, stb.) vastagságának és törésmutatójának meghatározására szolgál. Ennek alapján ma már az ellipszométer a szilícium és germánium felületek, az MOS rendszerek vizsgálatának elengedhetetlen eszköze. Ahhoz, hogy az ellipszométerrel kellő pontosságú méréseket végezhesünk, feltétlen szükséges, hogy a mérések előtt nagy pontossággal határozzuk meg a polarizátor, illetve analízátor skálák 0 helyzetét, azaz azt a helyzetet, amikor ezek polarizációs síkja a fény beesési síkjában fekszik. Az itt előforduló legkisebb hiba is —, különösen, ha tekintetbe vesszük, hogy a polarizátorok a gyakorlatban sohasem tökéletesek és ezért a belőlük kilépő fény mindig kismértékű ellipticitással is rendelkezik, a mérési eredmények nagymértékű pontatlanságát eredményezheti. Ezért a beállítás elvégzésére számos módszert dolgoztak ki, és javasoltak. A MFI új beállítási módszert alakított ki, amely az előzőekkel ellentétben figyelembe veszi a polarizátoron kívül az analízátor hibáját is, és a mérések végzése közben is nagyon egyszerű beállítást tesz lehetővé. Meghatározta a kompenzátor nélküli ellipszométerben a fotodetektorra eső fény intenzitását. Az így nyert összefüggések alapján a beállítást a következő módon kell elvégezni:

Eltávolítjuk az ellipszométerből a kompenzátor, és a minta helyére egy dielektrikumot pl. üvegtükröt helyezünk. Ezután a beesés síkjára megközelítően merőleges síkban rögzített analízátor álláshoz a polarizátor forgatásával meg kell keresnünk a minimális fényintenzitás helyzetét. A mérést több közeli analízátor állásnál megismételve, a skálán leolvasott  $A^*$  analízátor és  $P^*$  polarizátor azimutoknak megfelelő pontok az  $A^* - P^*$  koordináta-rendszerben egy egyenest határoznak meg. A fenti mérést több beesési szög





4. ábra

mellett megismételve (a nagyobb pontosság érdekében a Brewster szög két különböző oldalára eső szögekkel) újabb egyenesek adódnak. Egy ilyen beállításnál kapott mérési eredményeket láthatunk a 4. ábrán. Ezen a megfelelő beesési szög  $50^\circ$ ,  $70^\circ$  és  $80^\circ$  voltak. A kapott egyenesek egymást egy pontban metszik, ez a pont felel meg a polarizátor tényleges nulla helyzetének és az analizátor  $90^\circ$ -os azimutjának. Ezt a megfelelő skálaértékekkel egybevéve, a skálák eltolódását azonnal megkapjuk, és így a beállítást elvégzettnek tekinthetjük.

Ebben a harmadik időszakban folytatódott az együttműködés a lenigrádi Joffe Intézettel is. Itt az 1971–72. években SOMOGYI Károly tett tanulmányutat. Az együttműködés keretén belül a p-GaP tömbkristályok galvanomágneses tulajdonságait vizsgálták. Ennek megfelelően mérték a Hall-állandó és a vezetőképesség hőfok-függvényét.

Az együttműködéshez kapcsolódik a GaP izoelektromos analógjának, a  $\text{ZnGeP}_2$ -nak vizsgálata is, SOMOGYI számára lehetővé vált, hogy a nagyellenállású p- $\text{ZnGeP}_2$ -on viszonylag széles hőmérsékleti tartományban tudja mérni a Hall-effektust és az elektromos vezetőképességet. Vilniusban ugyanis rendelkezésre bocsátottak egy olyan mérőberendezést, amellyel  $10^{12} \div 10^{13}$  ohm cm fajlagos ellenállás esetén is mérhető a Hall feszültség és a vezetőképesség. A vizsgálatok világviszonylatban is egyedülálló eredményekhez vezettek: a Hall feszültség 130 K-ig mérhető volt, és mérhetőek voltak anomális tulajdonságok is. Ezek az eredmények most vannak közlés alatt.

Jelenleg rendkívül fontos formája az együttműködésnek a kísérleti anyagok és minták, mérések céljából való kicserélése, de még ennél is fontosabb egyes kísérleti eszközök használatra való átadása. Itt kell megemlítenünk azt

az ionimplantációt megvalósító készüléket, melyet a magyar KFKI a szovjet Kurcsatov Intézettől kapott, és amelynek segítségével félvezetőként az ionimplantációs kísérletek eredményesen megkezdődhettek. A készülék elkészítése és üzembehelyezése, ha egyedül, saját erőnkre kellett volna támaszkodnunk, több évet vett volna igénybe.

Azt hisszük, hogy a fenti rövid áttekintéssel, néhány kiragadott példán sikerült érzékeltetnünk, a félvezető anyagok kutatása terén azt az egyre fokozódó, egyre hatékonyabb és termékenyebb együttműködést, amely a jövőben remélhetőleg még folytatódni fog, és további sok, értékes, új eredmény elérését fogja lehetővé tenni.

**Hungarian—Soviet Cooperation in Semiconductor Research.** There were three periods in the cooperation. The first lasted until about 1955, when only the scientific results of the partner were studied; results were taken over, developments were continued and new ideas were born. The contacts were bilateral. The second phase lasted until about 1970; many of the younger research workers of the Technical Physics Institute of the Hung. Ac. of Sci., e.g. Judit PFEIFER, Béla RÖSNER, the NÉMETH couple etc. stayed for longer study trips in the SU, and others were studying at Soviet Universities. These trips and university studies helped the Technical Physics Institute very much in starting semiconductor research. Bilateral research agreements were concluded between the scientific institutions of the two countries, close exchange of experience and of research workers came about, and numerous common results were born.

**Ungarisch—Sowjetische Zusammenarbeit in der Halbleiterforschung.** Die Zusammenarbeit umfaßt drei Perioden. Die erste dauerte bis ungefähr 1955; bloß die Literatur und die beiderseitigen wissenschaftlichen Ergebnisse wurden studiert. Auf dieser Grundlage wurden Ergebnisse übernommen, Weiterentwicklungen fanden statt und neue Ideen wurden geboren. Die Kontakte waren zweiseitig. Die zweite Periode dauerte bis ungefähr 1970; damals waren schon viele der jüngeren Forscher aus dem Technisch Physikalischen Forschungsinstitut der Ung. Ak. d. Wiss. für längere Studienreisen in der Sowjetunion, z. B. Judit PFEIFER, Béla RÖSNER, das Ehepaar NÉMETH usw., während andere in diesen Jahren an den dortigen Universitäten studierten. Diese Reisen und Studien halfen dem Technisch-Physikalischen Forschungsinstitut in großem Maße, die Halbleiterforschung in Gang zu setzen. Im dritten Abschnitt der Beziehungen kommen zwischen den wissenschaftlichen Instituten der beiden Länder zweiseitige Zusammenarbeitsverträge zustande. Der Erfahrungs- und Personenaustausch ist intensiv, und zahlreiche gemeinsame Forschungsergebnisse werden geboren.

# A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA SZEREPE ÉS JELENTŐSÉGE A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA ÉLETÉBEN

LÉVAI ANDRÁS\*

AZ MTA RENDES TAGJA

A műszaki tudományok a Magyar Tudományos Akadémia életében kezdettől fogva jelentős szerepet játszottak, de míg az első 120 év alatt ez inkább egyes neves műszaki tudósoknak, akik az Akadémia tagjai voltak egyéni tevékenységével függött össze, addig 1945 után az Akadémia munkája ezen a területen is szervezetté vált. A Műszaki Tudományok Osztályához tartozó bizottsági hálózaton keresztül elvi és módszertani befolyást gyakorol tudományfejlesztési koncepciók kidolgozása, tudományos kérdések megvitatása, káderutánpótlás, ismeretterjesztés stb. területén. A tanulmány röviden összefoglalja ezenkívül az országban az elmúlt 25 évben elért néhány kiemelkedő eredményt a műszaki tudományok területén, valamint utal a közelebbi jövő néhány fontos feladatára.

## I. Bevezetés

Akadémiánk alapításának 150-ik évfordulója kitűnő alkalom arra, hogy áttekintsük szerepét a hazai műszaki tudományok fejlődésében, felmérjük a jelen helyzetet és pillantást vessünk a jövő feladatára. De nyilvánvaló, hogy szinte lehetetlen vállalkozás volna a műszaki tudományok rendkívül széles és sokrétű tudományterületeinek a Magyar Tudományos Akadémia életében betöltött szerepét, jelentőségét 150 év történeti távlatában egy rövid előadás keretében bemutatni, beleértve az azt megelőző történeti háttérrel. Ennek nemcsak az az indoka, hogy ilyen hosszú időszak alatt — főként az utóbbi évtizedekben — a technikát mindent elsöprő gyorsaságú fejlődés jellemzi, a nagyjelentőségű műszaki alkotásoknak szinte felmérhetetlen tömege valósult meg és valósul meg folyamatosan, hanem az is, hogy ezalatt a műszaki tudományok, az exakt természettudományok, a matematika és a gazdaságtudományok egymás eredményeit felhasználva, egymást új jelenségek felkutatására, illetve azok alkalmazására ösztönözve fejlődnek.

A tudomány és a gyakorlat szoros egységét megtestesítő műszaki tudományok fejlődésének az MTA életében való bemutatása során éppen ezért talán célszerűbb azt áttekinteni, hogy a magyar ipar, közlekedés, építészet, energetika stb. fejlődése miként függ össze a műszaki tudományok hazai fejlődésével s ezzel kapcsolatban kell vizsgálni azt, hogy az MTA miként segítette fennállásának másfél évszázada alatt a magyar műszaki élet kibontakozását, szín-

\* Prof. Dr. Lévai András, 1022 Budapest, Fillér u. 56.

vonulásának emelését egy és negyed évszázad alatt közvetetten a kiemelkedő műszaki alkotóelmék munkásságának ösztönzésével és elismerésével, majd a Műszaki Tudományok Osztálya létrehozása óta eltelt 25 év alatt már közvetlenül, szervezeten is. Természetes, hogy ennek során az ipari-gazdasági, valamint a tudománnyal mindig szervesen összekapcsolódott felsőoktatási háttér felvázolásával is foglalkoznunk kell.

## 2. Az ipari-gazdasági és felsőoktatási háttér

Az Akadémia alapítása előtt, a 18. század elején, a majdnem két évszázadig tartó török háborúk és hódoltság, valamint belviszályok után, a hazai iparosodást csupán a török megszállás alól megmenekült területeken jellemezte az akkoriban egész Európára jellegzetes céh-rendszer, amelyből azután folyamatosan a kézműipar alakult ki. Magyarország nagyobb részét ekkor lecsapolatlan mocsarak, vadvizek borították, a szétszórta településeket alig járható utak kötötték össze, a folyók szeszélyesen változtatták medrüket évről-évre. Némileg szervezett ipari tevékenységekről csak a hegyvidéken levő, elsősorban nemesfémeket és vasat bányászó és kohósító üzemeknél lehetett szó. Így nem véletlen, hogy az ország első műszaki iskolája, az 1735-ben alapított selmecbányai gyakorlati bányásziskola, illetve ennek utóda, az 1770-ben akadémiai rangra emelt és hamarosan európai hírnévre szert tett selmecbányai akadémia volt, amelyen a természettudományi tárgyak oktatását kezdettől fogva laboratóriumi gyakorlatokkal kötötték össze, a világon akkor még egyedülálló kezdeményezésként. A selmecbányai akadémia feladata elsősorban a bányászat és a kohászat, majd később az erdészet területére terjedt ki. Így ezeken a területeken voltak is szakembereink, akikre a 19. század ipari fejlődésének kezdetén számítani lehetett.

A második, műszaki szakemberek képzésére alapított intézmény a kezdetben a Budai Tudományegyetem keretében 1782-ben felállított Institutum Geometricum volt, amelyen az ország fentebb vázolt súlyos helyzetének megfelelően elsősorban a földmérés, a vízépítészet, az útépités és a mechanika szakembereit képezték főiskolai szinten. Az itt folyó magasszintű oktatás eredményeként Magyarország már a 19. század első felében komoly műszaki feladatok elvégzésére alkalmas kiváló mérnökgárdával rendelkezett, akikre SZÉCHENYI István, az Akadémia alapítója is támaszkodhatott vízi- és közlekedési reformterveinek kialakításánál. Az Institutum Geometricum 1850-ig, tehát majdnem hét évtizedig állott fenn és kezdetben meghozta azt az eredményt, amelyet tőle vártak. Nem volt azonban szerencsés, hogy tudományegyetem keretében működött, mert az „anyag érdekek szolgálatában álló” műszaki jellegű tanszékeket az ókori filozófia hatása alatt az akkori egyetemi tudományos világ lenyezte és nem biztosította számukra a fejlődés feltételeit.

A magyar kézműiparnak gyáriparrá való átalakítására és annak fejlesztésére irányuló törekvések az európai kontinens többi államaihoz hasonlóan nálunk is már a 18. század végén kezdtek kibontakozni, de kezdetben nem sok sikerrel. Ennek egyik oka, hogy a bécsi Kamarilla a francia forradalom árnyékában a városi ipari proletariátustól tartva még Bécsben is megtiltja az új gyárak létesítését, de hozzájárul ehhez, hogy mind a magyar nemesi osztály, mind a pór nép is húzódik az ipari tevékenységtől, jóllehet – mint majd látni fogjuk – nem hiányoztak már akkor sem a tudományosan művelt műszaki elmék. A gazdasági élet-ellenes érülethez járul és gátolják a fejlődést a tőke hiánya és a rossz hitelviszonyok is.

A magyar iparosodás, mint politikai célkitűzés, a reformkorszaknak és ezen belül elsősorban SZÉCHENYI Istvánnak, az Akadémia megalapítójának köszönhető. Széchenynek a hazai műszaki fejlődésben betöltött szerepére itt nem kívánunk mélyebben kitérni, mert azzal BOGÁRDI János akadémikus külön tanulmány keretében foglalkozik. Csak az összefüggések érdekében említjük meg, hogy SZÉCHENYI iparfejlesztési politikája az ország elmaradottságának felszámolását tűzte ki célul, de az európai fejlődés láttán a hazai megvalósítás háttérét a hazai iparban nem látta biztosítottnak, és ezért az akkor korszerű műszaki alkotásokat, mint amilyen elsősorban a Lánchíd építése volt, az ilyen irányban kellő tapasztalattal rendelkező angol hídépítőkre bízta. Semmiképpen sem volna helyes SZÉCHENYI ténykedését azzal indokolni, hogy a megfelelő műszaki szakemberek hiánya vagy a hazai műszaki oktatással szemben való bizalmatlansága eredményezte volna állásfoglalását. A legjobban bizonyítja ezt az a tény, hogy a nagyobb hazai ipari felkészültséget és gyártási tapasztalatot nem igénylő víz- és útépités területén olyan kiváló magyar szakemberekre és tudósokra támaszkodott mint BESZÉDES József (l. 1831), VÁSÁRHELYI Pál (l. 1835 r. 1838), GÁTHY István (l. 1836) FEST Vilmos (l. 1844, r. 1845) akiket a Magyar Tudományos Akadémia mindjárt működésének első éveiben tagjai sorába is választott.\*

Befolyásolta az ország ipari fejlődésének kereteit a Monarchia termelési szerkezete és az osztrák érdekeknek való kiszolgáltatottság is. A bányászat és kohászat már említett területén kívül a legnagyobb mértékű fejlődés kezdetben az ország agrár-jellegének megfelelően a mezőgazdasági és ezen belül elsősorban a malomiparban, valamint a közlekedési gépiparban alakult ki. A SZÉCHENYI kezdeményezésére 1838-ban létrehozott Pesti József Hengermalom Társaságból lett az 1848-as szabadságharc idejére a fegyvergyár, 1836-ban állítja fel a Duna Gőzhajózási Társaság az Óbudai Hajógyárat, amelyben a következő évben már elkészül az első gőzhajó, 1839-től kezdve már vastestű hajókat gyártanak itt.

A magyar gépipar fejlődése a múlt század közepétől kezdve párhuzamosan haladt a vaskohászat fejlődésével. Hogy csak a legjelentősebbeket említ-

l. = levelező tag, r. - rendes tag, t. - tiszteletbeli tag.

sük: az 1844-ben alapított Ganz-gyár az 1860-as években már nagymennyiségű kéregöntésű vasúti kereket exportál, majd MECHWART András vezetése alatt kéregöntésű malomhengereket önt, gőz- és petróleumekéket, később motorokat, vasúti kocsikat, majd már 1879-től kezdve erősáramú villamos berendezéseket is gyárt. Így megalapítása óta otthont és munkahelyet ad a Műegyetemet végzett fiatal gépész- majd később villamosmérnökök nagy hányadának. Az Akadémia tagjai közül sokan működtek a nagymultú, világhírnévre szert tett gyárban és jellemző Akadémiánknak az ipar felkarolása és megbecsülése érdekében kifejtett munkásságára, hogy a tudományok támogatására alapított Wahrmann-díjat elsősorban, 1897-ben éppen a Ganz-gyár igazgatójának, MECHWART Andrásnak adományozta.

Az Akadémia, amelynek alapításakor a nyelvművelésre összpontosított erőfeszítések többek között a hazai műszaki szaknyelv kialakítását tűzték ki célul, emellett a rendelkezésre álló erővel, pályázatok kiírásával, egyes találmányok elbírálásával, akadémiai díjak odaítélésével, kiemelkedő tudású műszaki szakemberek tagjai sorába való választásával igyekezett a műszaki haladást előrevinni. Annak jellemzésére, hogy azon kiváló műszaki alkotókat, akik az egyetemeken dolgozták ki tudományos munkáikat, mi módon becsülte meg az Akadémia, csak megemlíjtük, hogy pl. 1857 és 1922 között a József Műegyetem összesen 105 tanára közül 47 volt az Akadémia tagja. Ezeket, valamint az iparban tevékenykedő, és az Akadémia tagjává választott tudósokat javarészt a tudomány és a nemzet haladásáért végzett kettős felelősség forrasztotta össze demokratikus testületté, ők hittek a tudományban és abban, hogy ezzel a jövőt formálják.

Visszatérve a kezdeti hazai iparra, megemlíthető, hogy a magyar mezőgazdasági gépgyártás úttörői közül ki lehet még emelni a Röck-gyár 1859-ben elkészített első gőzhajtású cséplőgépét, valamint az általános gépek, de főként a gőzgépek és később a gőzturbinák gyártása terén gyártmányaival nemzetközi hírnevet szerzett, 1868-ban alapított Láng Gépgyárat.

Az akadémia alapítása körüli időben az ország fejlődését a közlekedési hálózat elmaradottsága is erősen akadályozta, amelynek felszámolására SZÉCHENYI igen nagy gondot fordított. Az akkori felfogásnak megfelelően ő maga is kezdetben a hajózás fejlesztését helyezte előtérbe, később azonban, látva a vasutak térhódítását, maga is a vasúthálózat kiépítését tartotta a legfontosabbnak. 1848-ban Magyarország területén 242,5 km vasútvonal volt még csak kiépítve, de a gyors fejlődésre jellemző, hogy 1866 végén már 2201 km volt a beépített vasútvonalak hossza, ami magával hozta a hazai nehézipar gyorsütemű, de sok tekintetben egyoldalú, főként a vasúti sínek és tartozékaik gyártására berendezett fejlődését.

Ilyen történelmi és gazdasági háttér mellett érthető, hogy az ipari fejlődésben a Monarchián belül Ausztria érdekei alá való rendelésünk, továbbá az elmélet és a gyakorlat szoros kapcsolatából adódó, sokak szemében gyakor-

latiasságra valló törekvés is hozzájárult ahhoz, hogy a műszaki oktatás terén elért, az első évtizedekben európai szinten is elismert eredményeink ellenére, a műszaki tudományok fejlesztése nem haladt olyan következetességgel, mint amilyenre szükség lett volna.

Az Intitutumnak már említett korai elsozradását látva, az iparosodás igényeinek megfelelően 1846-ban alapították meg a József Ipartanodát, majd az 1850-ig működött Intitutum és a József Ipartanoda összevonásából alakult ki a Technikai Intézet, amely 1856-ban Királyi József Műegyetemé alakult át. A Műegyetem 1871-ben kapta meg a doktorrá avatás jogát és ekkor emelkedett egyetemi rangra. A selmebányai főiskolát 1919-ben Sopronba telepítették át, ahonnan Bánya- és Kohómérnöki Kara az 1949-ben alapított új egyetemre, a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemre költözött és ott a Gépészmérnöki Karral bővült. Az 1950-ben Veszprémben alakult Nehézvegyipari Műszaki Egyetemmel és az időközben egyetemi rangra emelt soproni Erdészeti és Faipari Egyetemmel együtt az országnak ma tehát négy műszaki egyeteme van, amelyhez kapcsolódik 1965 óta a műszaki főiskolák hálózata.

### 3. A Magyar Tudományos Akadémia tagjainak szerepe a műszaki tudományos életben

A fent vázolt ipari, gazdasági és felsőoktatási háttérbe helyezve kíséreljük meg a következőkben röviden felvázolni azoknak a tudósoknak szerepét, akiket az Akadémia tagjaivá választott, és akik — a legtöbb esetben természetesen munkatársaikkal és utódaikkal együtt — döntő módon hozzájárultak a magyar műszaki tudomány és ezen keresztül az ipar, a közlekedés, az építészet a vízgazdálkodás stb. fejlődéséhez.

Az elmúlt 150 év alatt az Akadémia összesen 1358 választott tagja közül 119, azaz csaknem 9% volt műszaki képesítésű, azaz többnyire mérnök. Közülük névszerint azonban csak azokat a ma már nem élő tudósokat említem meg, akik főként a Műszaki Tudományok Osztálya által ma is gondozott tudományterületen működtek, számszerint fenti műszaki szakembereknek mintegy felét. A teljesség kedvéért teszünk még említést néhány nagy nemzetközi hírnevet szerzett elhunyt nem akadémiai tag műszaki tudósról. Élő tudósainkat nem említjük névszerint, mert munkájukkal másik akadémiai kiadványunk foglalkozik, de nem említjük névszerint azt a 16, nagyrészt még élő külföldi tudóst sem, akiket az Akadémia a műszaki tudományok területén végzett kiemelkedő munkásságuk elismerésül tiszteleti tagjává — korábbi elnevezéssel külföldi tagjává — választott.

#### 3.1 Mérnöki matematika, fizika, mechanika, statika

A kezdeti időkben az Akadémia mérnöktagjai művelik a megalapozó tudományterületeket, a mérnöki matematikát, a mérnöki fizikát és természetesen a már Leonardo da Vinci által „a tudományok paradicsomának” neve-

zett mechanikát. A sort időrendi sorrendben GYÖRY Sándorral (l. r. 1832) kell kezdenünk, aki a matematika művelése mellett 1832-ben közreadott „A Buda és Pest közt építendő álló hídról” c. értekezésében már konkrétan felvetette a mai Erzsébet-híd gondolatát, kijelentve, hogy „a rudas ferdő és pesti parochiák temploma irányában a lánchidat keresztül vinni egy feszüléssel lehetséges lenne.” Igen jelentős előrelépést jelentett a gépészeti tudományok területén PETZVAL Ottó (r. 1858) mérnökmatematikusnak 1861-ben megjelent, a MTA nagydíjával jutalmazott „Erő és géptan” című műve, valamint általában felsőmatematikai tevékenysége. KRUSPÉR Istvánnak (l. 1858, r. 1870, t. 1899) az Akadémia tiszteleti tagjának „Földmértan mérnöki használatra” című műve ugyancsak akadémiai nagydíjban részesült, ugyanő a geodéziai eszközök tökéletesítésében nagy nemzetközi elismerést szerzett. A mérnök-matematikus akadémikusok között kell még megemlíteni VÁLLAS Antal (l. r. 1837, külső 1858) nevét, aki már 1841-ben röpiratot adott ki „Egy felállítandó magyar központi műegyetemről”, továbbá a vasútépítő VÉSZ János Árminét (l. 1858, r. 1868) és CSÁNYI Dánielét (l. 1863).

A mérnöki fizika akadémikusainak gazdag sorát STOCZEK Józseffel (l. 1858, r. 1860) a Műegyetem első választott rektorával kell kezdeni, aki hazánkban először oktatta a termodinamikát és az elektrotechnikát, de foglalkozott például a lakások szellőztetésének elméletével is. A már említett PETZVAL Ottó öccse, PETZVAL József, az Akadémia kültagja (1873), optikai találmányairól és optikai számításairól volt híres. „Bericht über die Ergebnisse einiger dioptrischer Untersuchungen” című könyvét az Akadémiai Kiadó a közeljövőben újra kiadja. PETZVAL József a Bécsi Császári Akadémia rendes tagja is volt. Idősebb SZILY Kálmán (l. 1865, r. 1873, t. 1920) hosszú ideig az Akadémia főtitkára is volt, tudományos tevékenysége rendkívül szerteágazó, de külön kiemelendő a mechanika mellett a mechanikai hőelmélet terén végzett munkássága. Műegyetemi rektori működéséhez fűződik az egyetem szervezetének megreformálása, a tudományos műszaki nyelv kifejlesztése terén végzett munkásságával akadémiai nagydíjat érdemelt ki. HORVÁTH Ignác (l. 1874) akadémikus a műszaki mechanika, a hidraulika és az anyagvizsgálat terén végzett hazai viszonylatban úttörő munkát.

Jóllehet nem lettek az Akadémia tagjai, de meg kell emlékezni e helyen HERRMANN Emilről, és KÖVESI Antalról, a selmebányai főiskola professzorairól, utábbinak „Grafosztatika és vasszerkezetek” című könyve jelentős szerepet töltött be a hazai mechanikai tudomány megalapozásában. Ezt fejlesztették tovább ifjabb SZILY Kálmán (l. 1920) akadémikus, továbbá RÉTHY Mór, NAGY Dezső és CZAKÓ Adolf professzorok. Munkásságuk átvezet a nagy magyar mechanika tudósok és hídépítők hosszú sorához. Ezek közül időben is első helyen kell említeni KHERNDL Antal (l. 1884, r. 1898) akadémikust, a grafosztatika nagynevű továbbfejlesztőjét, aki munkásságával az Akadémia Marczibányi-díját, majd később a nagydíjat érdemelte ki. Számos művei kö-



zül legjelentősebbek a tartók alakváltozásának grafikus meghatározására, a két végén befogott ív reakcióinak meghatározására vonatkoznak. Hídépítés-tanban európai hírű iskolát alapított, így tanítványai közül kell megemlíteni BEKE Józsefet, GÁLLIK Istvánt és FEKETEHAZY Jánost, akik KHERNDLLEL együtt sok neves alkotás mellett a régi Erzsébet-hidat — annak idején Európa legnagyobb nyílású lánchídját — tervezték. KOSSALKA János különösen a híd-elmélet és a tartók kinematikája terén végzett kutatásaival keltett feltűnést, de első díjat nyert a Boráros-téri híd tervezésére kiírt pályázaton is. MIHAILICH Győző (l. 1933, r. 1949) akadémikus aki mint hídépítő is nagy — alkotása az 1909-ben megépített temesvári Bega-híd, Európa akkoriban legnagyobb vasbeton hídja — ZIELINSKI Szilárdal együtt a magyar vasbeton-építészet úttörője. MIHAILICH Győző a ma is működő Mérnöki Továbbképző Intézet alapítója, az Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának első osztályelnöke 1950-ben. Követői közül KAZINCZY Gábor a ma már világszerte művelt új tudományágat, az ún. plasztikus méretezéselméletet alapította meg.

A mechanika egy határterületének, a talajmechanikának tudományát Magyarországon JÁKY József (l. 1942, r. 1949) akadémikus vezette be. Követői közül SZÉCHY Károly (l. 1951, r. 1970) akadémikus az alapozás tudományának nagy hírnevű szakértője volt. REUSS Endre professzor a rugalmas képlékenységtan alapegyenletét dolgozta ki, amely ma világszerte Prandtl – Reuss törvény néven ismeretes. MENYHÁRD István európai hírnévre tett szert, mint a korszerű héjelmélet egyik továbbfejlesztője és alkalmazója.

### 3.2 Víz-, út-, vasútépítés, építészet

A magyarországi adottságok folytán a múlt évszázadban oly nagy szerepet játszó folyamatszabályozásokról és az ezen a területen működő tudós akadémikus mérnökökről már a bevezetésben szóltunk SZÉCHENYI Istvánnal kapcsolatban. Nagyjelentőségű tevékenységük folytatói és kiterjesztői voltak a vízerőműépítés területén VICZIÁN Dezső, BOGDÁNFY Ödön és HOOR TEMPIS Mór (l. 1902, r. 1937) akadémikus. Az átfogó vízügyi fejlesztési tervek kidolgozása elsősorban az Akadémia Wahrmann-díjával kitüntetett KVASSAY Jenőnek, a Magyar Vízügyi Szolgálat megszervezőjének munkásságával függött össze, rajta kívül GERSTER Béla, SAJÓ Elemér, valamint ROHRINGER Sándor (l. 1936, r. 1941) akadémikus is hatékonyan dolgozott e téren. Az öntözésügy terén elévülhetetlen érdemeket szerzett LAMPL Hugó, az Országos Öntözésügyi Hivatal első műszaki vezetője, később elnöke.

Az út- és vasútépítés nagy nevei között első helyen kell megemlékezni HOLLÁN Ernő (l. 1858, r. 1861, t. 1872) akadémikusról, aki már 1856-ban rámutatott „Magyarország vasúthálózatának rendszere” című könyvével a vasútépítés közlekedéspolitikai jelentőségére és a kiegyezés után mint államtitkár SZÉCHENYI közlekedéspolitikájának megvalósítója lett. Egyik művét

az Akadémia Marczibányi-díjjal is jutalmazta. HUNFALVY János (l. 1858, r. 1865) ugyancsak földrajztudós volt, de „Hazánk közlekedési eszközeiről” című akadémiai székkfoglalójában az államvasút rendszer előnyeit elemezte és indokolta a magántőkés építés szigorú állami korlátozását. LIPTHAY Sándor (l. 1891, r. 1896) akadémikus, az út- és vasútpálya építés tudományos alapjainak megteremtésében vitt jelentős szerepet. Érdeme a műszaki doktorátus intézményének bevezetése műegyetemi rektorsága alatt, amelynek révén megszűnt az az utolsó hátrányos megkülönböztetés is, ami a műszaki tudományokkal szemben fennállott. Jóllehet nem voltak mérnökök, de a vasútépítés terén végzett közgazdasági tevékenységük folytán kell megemlékezni itt CSENGERY Antal (l. 1847, r. 1858), TREFORT Ágoston (l. 1841, t. 1867) és KELETI KÁROLY (l. 1868, r. 1875) akadémikusokról. Mint vasútépítő és a közlekedéstechnika professzora, valamint a technika történetének első nagy feldolgozója szerzett nagy érdemeket ZELOVICH Kornél (l. 1921, r. 1928) akadémikus, valamint NEMESDY József professzor. A közlekedésfejlesztők sorát a közelmúltban elhunyt CSANÁDI György (l. 1958, r. 1970) akadémikussal zárjuk, aki tudományos tevékenységén túlmenően a hazai közlekedésfejlesztési koncepció kidolgozója volt.

Az építészet területén az Akadémia alapításától kezdve számosan nyertek akadémiai tagságot. Még az Akadémia alapítása előtt működött a magyar klasszicista építőművészet kimagasló egyénisége — egyebek között a Magyar Nemzeti Múzeum alkotója — POLLACK Mihály. Már az Akadémia működésének idején dolgozott és kapott akadémiai tagságot REITTER Ferenc (l. 1865) városrendező, a budapesti rakpartok, a sugárút és a nagykörút terveinek kidolgozója, továbbá SKALNICZKY Antal (l. 1865), sok neves középület, egyebek között az Egyetemi Könyvtár alkotója. Hírességeink közé tartoznak STEINDL Imre (l. 1898), az Országház tervezője és építője és SCHULEK Frigyes (l. 1895, t. 1917), a Halászbástya tervezője, akadémikusok, de YBL Miklós az Operaház és a Bazilika tervezője sem maradhat ki e felsorolásból, aki ugyan nem lett akadémikus. Az Akadémia tagjai lettek viszont HAUSZMANN Alajos (t. 1924), a Vár egy részének, a Műegyetem és az Igazságügyi Palotának tervezője, továbbá HÜTLI Dezső (l. 1931) az ELTE bölcsészkar épületének tervezője és WÄLDER GYULA (l. 1935). Ipari épületek tervezésével tűnt ki BORBIRÓ Virgil akadémikus (l. 1948), aki mint a „Tér és forma” című haladó építészeti folyóirat szerkesztője, a modern építészet elismerése érdekében jelentős munkát fejtett ki.

Az Akadémia kezdettől fogva testületileg is döntő módon vette ki részét a hazai építészeti műemlékek védelmének megszervezéséből és már 1848-ban javaslatot tett „Régészeti Bizottság” felállítására. Királyi határozat a magyarországi műemlékek ügyét 1866-tól kezdve az Akadémia Archeológiai osztálya hatáskörébe utalta, ahol olyan neves tudósok működtek mint HENSZLMANN Imre (l. 1841, r. 1873), RÓMER Flóris (l. 1860, r. 1871), IPOLYI Arnold

(l. 1858, r. 1861), FABRICZY Kornél (t. 1903) akadémikusok és számos munkatársuk. Az Akadémia még ma is kézben tartja az építészeti műemlékek védelmének elvi irányítását Építészettörténeti és Elméleti Bizottsága útján.

### 3.3 Gépészet, kohászat, mechanikai technológia

Áttérve a gépészet területére — annak ellenére, hogy a bevezetőben elmondottak szerint a magyar gépgyártás aránylag későn indult meg — a gépészeti tudományok úttörői között találjuk a magyar származású, de elsősorban Göttingenben működő SEGNER János Andrást, akinek 200 évvel ezelőtt bekövetkezett halálára rövid idővel ezelőtt emlékeztünk. SEGNER azok közé tartozott, akik a hidraulikus gépek, a gőz- és gázgépek elméleti alapjait rakták le. A magyar ipar fejlesztőiről a bevezetőben már szóltunk. Rajtuk kívül a nagy magyar műszaki gépész tudósok között kell említeni BÁNKI Donátot, (l. 1911), az Akadémia tagját, a gépszerkezettan kiváló tanárát, akinek érdeklődése korán fordult a XIX. század második felében elterjedő belsőégésű motorok szerkesztése felé. Munkatársával, CSONKA Jánossal 1893 februárjában jelentette be a mai benzinmotorok leglényegesebb alkatrészére, a karburátorra vonatkozó szabadalmát, kereken félévvel megelőzve MAIBACH francia szabadalmi bejelentését. BÁNKI Donát ipari működése során számos más tervező munkában is résztvett, majd egyetemi professzor korában jelentős kutatómunkát fejtett ki mind a gőz-, mind a vízturbinák szerkesztésére, valamint az elmélet és a mérési eredmények között időnként jelentkező ellentétek kiküszöbölésére. „Energiaátalakulások folyadékokban” című, 1916-ban magyarul, majd 1921-ben németül megjelent műve az összes törvényeket egységes alapon, az energiaegyenletről vezette le és nagy nemzetközi sikert aratott.

E magyarországi Diesel-motor gyártás legnagyobb eredményei JENDRASSIK György (l. 1943), akadémikus nevéhez fűződnek aki a vasúti vontatás és a közúti járművek számára kifejlesztette a nagy nemzetközi elismerést kiváltott gyorsjárású, könnyű, kompresszornélküli Diesel-motorokat. Tudományos munkásságának egyik legnagyobb eredménye a gázturbina volt, amelyre vonatkozó első szabadalmát 1929-ben jelentette be. 1938-ban épített, a világon elsőként működő 100 LE-s gázturbináján 25%-nál nagyobb hatásfokot mértek.

A hazai gépszerkesztés egyik legkiemelkedőbb alakja PATTANTYUS Á. Géza (l. 1945, 1953), akadémikus volt akinek alkotásai az emelőgépek, a hidraulikus gépek, és a gépek üzemtana területére esnek. Működésének súlypontja kiváló szakkönyveinek megírása volt. Pattantyús munkatársa és az áramlástechnika európai hírű művelője volt GRUBER József professzor, aki a forgó csatornáknak lefolyó áramlásokat tanulmányozta és elméleteit a kompresszibilis közegekre is kidolgozta. Levelező taggá való választását az MTA Műszaki Tudományok Osztálya javasolta, azonban sajnos elhunyt, mielőtt a

közgyűlés megválaszthatta volna. RÁZSÓ Imre (l. 1949) akadémikusnak jelentős szerepe volt a hazai traktorgyártás fejlesztésében, továbbá a mezőgazdaság gépesítésében. FONÓ Albert (l. 1954) akadémikus a légsugár hajtóművet már 1915-ben mintegy 40 évvel annak megalkotása előtt elméletileg kidolgozta.

A vaskohászatnak és a mechanikai technológiának Magyarországon — amint említettük — a messzi múltba visszamenő hagyományai vannak. Id. KERPELY Antal (l. 1877) akadémikus ennek a fejlődésnek mind tudományos, mind gyakorlati szempontból vezéralakja volt. Kettős regeneratív keverőkemencére vonatkozó szabadalma, a magyar acéliparban a Thomas-eljárás bevezetése, a magyar vaskohászat tudományos irodalmának megalapozása, a vasúti sínek keménységének mérésére kidolgozott új módszere csak egy-egy példája rendkívül kiterjedt tudományos és gyakorlati tevékenységének.

Másik nagy vaskohászunk, BORBÉLY Lajos, nem volt ugyan tagja az Akadémiának, de a nemzetgazdaságnak tett szolgálata elismeréséül megkapta az Akadémiától a Wahrmann-díjat. COTEL Ernő (l. 1945) akadémikus először vezette be Magyarországon a Martin-kemencék automatikus ellenőrzését. Az anyagvizsgálat fejlesztésében kiemelkedő szerepet játszott REJTŐ Sándor (l. 1912, r. 1923) akadémikus, aki úttörője volt a mechanikai technológia magyarországi tudományos megalapozásának, és korát megelőzve, megkísérelte a fémek technológiáját egységes rendszerbe foglalni. Gondos kísérleteivel, időnként meglepően bátor következtetéseivel nagy eredményeket ért el. Akadémikus utódai között GELEJI Sándort (l. 1950, r. 1954) kell megemlíteni, aki tudományos dolgozataiban a fémalakítási technológia csaknem minden problémájával foglalkozott és működését abban a korszakban kezdte, amikor az addig teljesen empirikus technológia tudományos képlékenységtani alapokra való helyezése indult meg. GELEJI ennek a nagy átalakulásnak nemcsak kortársa, hanem úttörője is volt. A kohászati technológia területén működők közül meg kell még említeni KORBULY Károlyt, aki a csepeli gyár műszaki igazgatójaként a varratnélküli csövek gyártásában ért el jelentős eredményeket.

### 3.4 *Elektrotechnika*

Az Akadémia tagjainak a műszaki tudományok területén végzett tevékenysége ismertetése során utoljára, de nem utolsósorban teszünk említést a legfiatalabb, de ma legrohamosabban fejlődő műszaki tudományterületről, az elektrotechnikáról. Az első helyen kell említeni JEDLIK Ányos (r. 1858, t. 1873) akadémikust, az öngerjesztés elvének felfedezőjét. Ez a felismerés a villamosgépek fejlődésének egyik legjelentősebb lépését jelentette. Ma már nemzetközileg elismert, hogy Siemens és Wheatstone szabadalmai 6 évvel későbbiek, de Jedliknek 1861-ben megfogalmazott és Nuss pesti gépész műhelyében megépített találmányát az akkori fejlett kapitalista államok mögött messze elmaradt Bach-korszakbeli Magyarországon nem lehetett iparilag hasznosítani.

JEDLIK Ányosnál a publikálás hiánya okozta, hogy az elektromotor és a dinamógép feltalálása nem az ő nevéhez fűződik. Munkásságát az Akadémia egyebek között tiszteleti tagsággal és a nagydíj átnyújtásával is honorálta.

Azonnal utána kívánczik a Ganz-gyár három mérnökének ZIPERNOVSZKY Károlynak, BLÁTHY Ottó Titusznak és DÉRI Miksának, a transzformátor feltalálójának neve. ZIPERNOVSZKY Károly (l. 1893) akadémikus, BLÁTHY Ottó az Akadémia tiszteleti tagja (1927). Utóbbinak munkássága kiterjedt az erősáramú elektrotechnika csaknem egész területére. Így egyebek között BLÁTHY a villamosgépek szerkesztése terén már akkor alkalmazott számítási eljárásokat, amikor ezeket a gépeket világszerte még tapasztalati adatok alapján tervezték. Az Akadémia munkásságát a Wahrmann-díj odaítélésével jutalmazta. Ugyancsak a Wahrmann-díj tulajdonosa lett KANDÓ Kálmán (l. 1927) akadémikus, a nagyvasúti villamos vontatás úttörője, kiváló mozdony-szerkesztő, aki már 1917-ben szabadalmaztatta a ma is alkalmazott szinkronfázisváltós megoldást, amely egyesíti a háromfázisú mozdony és az egyfázisú felsővezeték előnyeit, és lehetővé teszi, hogy a vasútüzemet közvetlenül az országos hálózatra kapcsolják. A nagyvasúti vontatás területéhez kapcsolódott VEREBÉLY László (l. 1937, 1954), valamint RATKOVSKY Ferenc (l. 1951, r. 1954) munkássága, akik azonban egyéb területeken is nagy eredményeket értek el. Így VEREBÉLY László a villamos erőátvitel területén volt mérnökgenerációk nevelője, RATKOVSKY Ferenc pedig a nagyteljesítményű, valamint a feszültségszabályozó transzformátorok területén végzett jelentős munkát. A villamosgépek méretezésének és szerkesztési elveinek kidolgozásával LISKA József (l. 1958) akadémikus, továbbá SEIDNER Mihály (l. 1960) akadémikus a vízhűtésű turbogenerátorok területén végzett úttörő munkájával érdemelnek még említést.

A gyengeáramú elektrotechnika területén kimagaslik PUSKÁS Tivadar neve, aki ugyan nem lett akadémikus, de Edison szerint az első ember volt, aki a telefonközpont ötletét felvetette. Nevéhez fűződik a vezetékes műsor-szolgáltatás, a telefonhírmondó kidolgozása is.

A világítástechnika területén elsősorban az Egyesült Izzólámpagyár kutatócsoportjának tevékenysége emelhető ki, közülük is különösen BRÓDY Imréné, aki munkatársaival együtt feltalálta a kryptontöltésű izzólámpát. Ugyanebben a laboratóriumban működött SELÉNYI Pál (l. 1948) akadémikus, akinek optikai kísérletei a quantumelmélet egyik alappilléret képezik. WINTER Ernő (l. 1951, r. 1956) akadémikus kutatómunkája az elektronsövekre, különösen pedig az izzókatódok fizikájára, kémiájára és technológiájára terjedt ki.

Bár nemcsupán az elektrotechnikához tartozik, itt kell megemlíteni HALÁSZ Dénes nevét, aki munkatársával együtt már a 30-as években kidolgozta a magnetohidrodinamikus generátorok elvét és azóta őt tartják ma világszerte a jövőben valószínűleg nagy jelentőségre szert tevő rendszer felfedezőjének.

#### 4. Az MTA szerepe a műszaki tudományos életben 1945 után

##### 4.1 Az Akadémia bizottsági rendszere

Az eddigiekben a műszaki tudományok szerepét az MTA életében főként az egyes tudósok működése kapcsán kísértük figyelemmel. Ez indokolt is volt, mert néhány kivételtől eltekintve — amilyen kivétel volt pl. a már említett és az építészeti műemlékek védelmével is foglalkozó Régészeti Bizottság — az Akadémia alig foglalkozott testületileg és szervezeten valamely műszaki tudományterülettel.

A második világháborút követő felszabadulás, majd az újjáépítés első évei után, 1948-tól kezdve a magyar tudomány életében új jelenség figyelhető meg: egymás után jönnek létre az iparági és akadémiai kutató intézetek, a hazai gyáripár, építészet, közlekedés, vízgazdálkodás fejlődési igényeinek megfelelően megkezdődik a hazai kutatóhálózat kiépítése. Az MTA 1949-ben végrehajtott átszervezése során HEVESI Gyula akadémikus nagy horderejű kezdeményezésére megalakult Műszaki Tudományok Osztályára ekkor az a feladat hárult, hogy segítse a kutatóhálózat kiépítését, erősítse az egyetemeken folyó kutatómunkát, szervezze a tudományos szakember utánpótlást, biztosítsa a tudományos eredmények publicitását, azaz — röviden — összefogja a műszaki tudományos erőket, kialakítsa a helyes és célravezető munkamódszereket és úgy igyekezzék irányítani az egész műszaki tudományterületet, hogy az elért elméleti és gyakorlati eredmények az ország műszaki fejlesztését célozzák.

A munkaindítás legcélravezetőbb módszere a szakterületek szerint kialakított bizottsági rendszer megteremtése volt. Az Osztályhoz annak idején tartozó 23 tudományos bizottságban és 80 szak- illetve témabizottságban az elmélet és a műszaki gyakorlat közel 1000 legjobb szakembere kollektív munkával kidolgozta az első és a második 5 éves terv időszakára eső műszaki kutatások tématervét. A rendkívül sokrétű feladat bizottsági megoldása azonban egyre nehezebbé vált s ezért határozta el a Kormány 1961-ben az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság létrehozását, amely szerv az ipari tárcaikkal együttműködve a műszaki-fejlesztési feladatok koordináló-, irányítószervévé vált. Így lehetővé vált, hogy az Akadémia munkáját főként az alapkutatások irányítására, az alkalmazott kutatások és az alapkutatások közötti összefüggések feltárására és az akadémiai kutatóhálózat hatékonyabb ellenőrzésére összpontosítsa. Ez a munka ma az akadémiai alapszabályok szerint a testület és a szakigazgatási szervek között megosztva folyik.

Mai bizottsági rendszerünk 21 tudományos bizottságot ölel fel 454 taggal — közülük 2 az OMFB-vel közös bizottság. Ezekhez 27 al- és 16 munkabizottság csatlakozik. Ezen felül 14 nemzeti bizottság működik az Osztály felügyelete alatt és így bizottsági hálózatunkban ma is mintegy 1000 szakem-

ber dolgozik. Anélkül, hogy a munkák adminisztratív szervezési feladatai a bizottságokra hárulnának, azok igyekeznek áttekinteni tudományterületük hazai és nemzetközi fejlődését, ezen keresztül az ipari termeléssel és fejlesztéssel összefüggő műszaki kutatások egészét, messzemenően figyelembe véve lehetőségeink és adottságaink felhasználásánál az ország gazdasági és politikai célkitűzéseit.

#### 4.2. *Az országos műszaki kutatóhálózat felépítése*

Ez a feladat a műszaki területen elég bonyolult, aminek érzékeltetésére néhány adatot említünk meg csupán a Központi Statisztikai Hivatal 1973. évi évkönyvéből. Eszerint az ország 130 kutatóintézetéből 36-nak, azaz mintegy 27,5%-nak munkája zömében a Műszaki Tudományok Osztálya által gondozott tudományterületre esik. Az ezekben dolgozó tudományos dolgozók száma 4229 fő, az összes kutatóintézeti tudományos dolgozók 42%-a. 1052 egyetemi, főiskolai tanszék közül 204, azaz 19,4%, az ezekben kutatással foglalkozó 3869 fő közül 735, kereken 19% műszaki területen dolgozik, megjegyezve, hogy a statisztika szerint az oktató létszám 25%-át tekintik kutatónak. Az egyéb kutató és fejlesztő helyek száma az országban 261, 9772 egyetemi vagy főiskolai végzettségű kutatóval, akik közül 156 kutatóhely, azaz 60%, 6403 fővel, azaz 65%, műszaki kutatással-fejlesztéssel foglalkozik. Az országos adatok szerint tehát 396 kutatóhely, az összesnek 27,5%-a, 11 367 kutatóval, azaz a teljes kutatói létszám 48%-a az Osztály tudományterületén működik. A tudományos kutatási és fejlesztési ráfordításoknak, amelyek az egész nemzeti jövedelemnek 3%-át meghaladják, kereken 67%-át a műszaki tudományok területén használják fel. A számok világosan mutatják, hogy az egész területet áttekinteni az Akadémián teljesen lehetetlen. Éppen ezért, nyilvánvalóan nem lenne helyes itt most az összes kutatóhelyeket felsorolni. Így csak megemlítjük, hogy az akadémiai kutatóintézetek közül két nagynak, a Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézetnek, valamint a Műszaki Fizikai Kutató Intézetnek munkája szoros kapcsolatban van az Osztály tevékenységével, de kapcsolódik az Osztályhoz 5, akadémiai állományú kutatókat is foglalkoztató tanszéki munkaközösség, illetve egyetemi intézet is. Az ipari kutatóintézetek közül a teljesség igénye nélkül említjük az erőáramú elektrotechnika területén a Villamosipari Kutató Intézetet és a Villamosenergiaipari Kutató Intézetet, a híradástechnika terén a Távközlési Kutató Intézetet és a Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetet, a műszertechnika terén a Műszeripari Kutató Intézetet és a Méréstechnikai Központi Kutató Laboratóriumot, a kohászat területén a Fémipari Kutató Intézetet és a Vasipari Kutató Intézetet, az energetikai kutatások terén a már említett Villamosenergiaipari Kutató Intézetten kívül a Tüzeléstechnikai Kutató Intézetet, a gépészet terén a Gépipari Technológiai Intézetet, és az Autóipari Kutató Intézetet, az építés-

építészet területén az Építéstudományi Intézetet, a közlekedéstudományok területén a Vasúti Tudományos Kutató Intézetet, a Közúti Közlekedési Tudományos Kutató Intézetet, a könnyűipar területén a Textilipari Kutató Intézetet és a Papíripari Kutató Intézetet, a vízgazdálkodás területén a Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézetet.

Ha a fentiekhez hozzászámítjuk a kutatással is foglalkozó tervező intézeteket és a területünkön működő 156 vállalati kutató-fejlesztő részleget, amelyek közül pedig szép számmal vannak olyan nagyhírűek, is, mint például az Egyesült Izzó vagy a Csepel Vas- és Fémművek kutató laboratóriumai, akkor világosan érzékelhető az a mélység, ameddig az Akadémia tudományirányító tevékenységében egyáltalán el tud menni. Ezt a határt a műszaki tudományok területén az Akadémia szervezetéhez tartozó intézményeknek az I. Természettudományi Főosztályon végzett szakigazgatási irányításán túlmenően az elvi és módszertani befolyás gyakorlása jelenti, aminek érdekében olyan bizottsági feladatok jelentkeznek, mint a tudományos helyzetképek és prognózisok, valamint a tudományfejlesztési koncepciók kidolgozása, a tudományos kérdések megvitatása, részvétel a tervszerű tudományos utánpótlás, a magyar- és idegennyelvű könyv- és folyóiratkiadás, a nemzetközi kapcsolatok ápolása és fejlesztése, a konferenciák szervezése stb. feladataiban. Mindeme munkák során a lehetőség szerint szorosan együtt kell dolgoznunk az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal, az Országos Tervhivatallal, az ipari tárcaikkal, az MTA szakigazgatási szerveivel, egyetemi tanszékekkel és kiemelten a termelő vállalatokkal is.

#### 4.3 Néhány kiemelkedő tudományos eredmény

Az Osztály elmúlt 25 évi tevékenységének ismertetése során nem látszik célszerűnek egyes bizottságok, kutatóintézetek, vagy tanszékek munkájának elemzése, hanem helyette — a teljesség igénye nélkül — inkább néhány olyan műszaki-tudományos eredményt mutatunk be, amelyet hazánkban a felszabadulás óta értünk el, és amelyek nemzetközi mércével mérve is kiemelkedőknek és időtállóknak bizonyultak.

A *mérnöki tudományok* területén nemzetközi viszonylatban is jelentős eredmény volt a héjszerkezetek vizsgálata körében a membránhéjak elméletének pontosítása. A membránhéjak derékszögű koordinátákban vizsgált általános hajlításmélete is ebben az időszakban született. A gyakorlati alkalmazások területén is úttörő munkát végeztek a hazai kutatók, tervezők (pl. a Hamzsabégi úti garázs elliptikus paraboloid héja, konoid héjak, torzfelületű héjak stb.).

A geotechnika területén a JÁKY József által kijelölt úton eredményes kutatások folytak a cölöpök és cölöpcsoportok teherbírásának meghatározására. Elméleti úton meghatározták az egyedi cölöpök terhelési-alakváltozási



diagramja és a cölöperő mélység szerinti megoszlását. A cölöp csoportoknál részletes elméleti és kísérleti vizsgálatsorozattal tisztázták a cölöphossz-cölöp-átmérő viszonyának és a cölöptávolságnak, valamint a csoport nagyságának a szerepét, s az erőátadás módját. Az egyedi cölöp és cölöp csoport viselkedését véges elemek módszerével nemzetközileg is elismert módon vizsgálták, az eljárások számos esetben gyakorlati alkalmazásra is kerültek.

A földnyomás meghatározására elismert, igen mélyreható elméleti és kísérleti eredmények születtek. Ezek alapján kidolgozásra kerültek a tökéletesen képlékeny földtestek statikai problémái és eljárásokat dolgoztak ki a támfalak stabilitásvizsgálatára, az új talajfizikai ismeretek figyelembevételével.

A hidrológia és hidromechanika területén a mederállandósági tényezőre, a hordalékmozgás határállapotait meghatározó paraméterre végzett kutatásokat világszerte hasznosítják. A mozgás megindulásának ún. változó törvényei, a szakaszos kopási összefüggések, a lebegtetett hordalék mérlegegyenletei ugyancsak fontos eredmények. A kutatási eredmények a folyók szabályozásánál, az öntözőcsatornák és a víziműtárgyak építésénél jelentős előnyöket és megtakarításokat eredményeztek. A szabadfelszínű nempermanens vízmozgások számításában is nemzetközileg elismert eredmények születtek. A hazánkban levezetett szivárgási modellek törvényeit általánosan alkalmazzák és kézikönyvekben idézik. Fontos gyakorlati eredményekre vezettek az árvédelmi töltések alatti szivárgásra vonatkozó kutatások.

A vasútépítés területén a hézag nélküli vasúti felépítmény elmélete és kialakítása terén nemzetközileg is elismert eredményeket értünk el. A kiterjedt kísérletekre alapozott tudományos munka megoldotta azt a kulcskérdést, hogy a dilatációs hézag nélküli felépítményben ne következzen be kivetődés, a biztonság ne csökkenjen. Az eredmények hasznosságát a több mint egy évtizedes tapasztalat igazolta.

Tervszerű kutatómunkával a közlekedés fejlesztésének reális technikai feltételeit teremtették meg. Úttörő jellegűek a közlekedési ágazatok közötti koordináció és munkamegosztás tudományos megalapozását biztosító, racionalizálást elősegítő kutatások, amelyek lehetővé tették azt, hogy SZÉCHENYI István első közlekedéspolitikai koncepciója után CSANÁDI György ismét az Országgyűlés elé terjeszthette az új, korszerű, közlekedéspolitikai koncepciót, amelyet az Országgyűlés 1968-ban el is fogadott.

A *gépészeti-kohászati tudományok* területén kiemelkedő jelentőségű tudományos és gyakorlati eredményt jelent a nemzetközi viszonylatban is szinte egyedülállóan gyenge minőségű, kb. 1400 kcal/kg fűtőértékű hazai lignitekre tervezett nagyteljesítményű gőzkazánok (100–350–650 t/óra) megtervezése és e kazánok zavarmentes üzeme. A 25÷30%-os hamutartalom mellett 45÷50%-os nedvességtartalmú lignitek gazdaságos, biztonságos, és olajtámasztó láng nélküli tüzelőberendezéseinek, valamint a korszerű gőzjellemzőket biztosító nagy kazánegységeknek kifejlesztése egyebek között széleskörű aprítási

és szárítástechnológiai, valamint tüzeléstechnikai kutatási és korszerű laboratóriumban végzett kísérleti munkát igényelt. A kazánokhoz kapcsolódó újrendszerű, ún. hidropneumatikus pernyeszállító berendezés kifejlesztése jelentős nemzetközi sikert, exportszállításokat hozott a magyar tervezőknek és az iparnak.

A gőzturbinák fejlesztése terén külföldtől való függésünk felszámolása és elmaradásunk behozása érdekében a hazai szerkesztők az 1950-es évek elején saját erőből fejlesztették ki előbb az 50 MW-os, majd e periódus végén a 100 MW-os gőzturbina egységeket. Jóllehet ugyanebben az időben külföldön már kb. kétszer ekkora egységeket is építettek, jelentős önálló tudományos eredménynek minősíthető a fejlesztés tényén kívül a gépegység szabályozásának megoldása, különös tekintettel az újrahevítés szabályozására. A további fejlesztési munkától az ipar ezután gazdasági és biztonsági okokból elállt és az ennél nagyobb egységeket már licencia vétele útján valósította meg.

Az áramlástechnikai gépek járókerekeinek és azok lapátozásának számítása terén jelentős eredményeket hozott az a hazánkban, GRUBER József vezetésével kialakult iskola, amelyik az eddigi félempirikus módszer helyett új elméleti módszereket dolgozott ki az álló és forgó körrácsokban végbemenő áramlás számítására. Konform transzformációk és a szingularitások elvének alkalmazásával tudományos dolgozatok egész sora adott olyan megoldásokat, melyeknek felhasználásával az áramlástechnikai gépek hatásfokát sikerült nemcsak világszínvonalra emelni, hanem azt gyakran meghaladó eredmények is jelentkeztek. Az ezen a területen elért eredményeket a külföld „magyar iskola” néven emlegeti. Ugyancsak nemzetközi elismerést kiváltó eredmények születtek a kavitációs áramlás, a kavitációs erózió és a kavitációnak akusztikai módszerekkel történő vizsgálata területén.

Az elmúlt 25 évben került kifejlesztésre Magyarországon a légkondenzációnak ún. indirekt rendszere, mely azóta az egész világon elterjedt és a hazai feltalálók nevét viseli. A rendszer lehetővé tette hőerőműveknél a kondenzátorhűtésre használt hűtővízigény teljes kiküszöbölését és ezzel az erőművek telepítésének a vízlelőhelyektől való függetlenítését, ugyanekkor erősen csökkenti a környezet hőszennyezését. A rendszer alkalmazását az alumíniumból készült, ún. apróbordás hőcserélők elméleti kidolgozása, majd gyakorlati nagyipari megvalósítása tette lehetővé. Ezt az eljárást a világ számos, köztük vezető ipari országa is megvásárolta és alkalmazza.

Az erőművek építésénél szűk keresztmetszetet jelentő építőipari kapacitásnak tört részére való csökkentését tette lehetővé az ún. félszabadtéri erőmű építési mód, melyet hazánkban az 1960-as évek elején valósítottak meg először, és amely módon azóta kb. 4000 MW erőmű épült már. Az eljárás megvalósítása igen széleskörű kutatási és mindenre kiterjedő tervezési felkészültséget vett igénybe. Az elért eredmények hazánkhoz hasonló kontinentális klímaviszonyok között még ma is egyedülállóak a világon.

A gépszerkezettan tudományterületén magyar szakemberek oldották meg a hengeres fogaskerek kiegészített csúszásos általános és kompenzált fogazatát, az általános fogazat tartományhatárait (közte az alsó és a felső interferencia jelenségét), a hármas kiegészítés azonosságának bizonyítását, a belső fogazat néhány interferenciáját, a csavarszivattyúk egyik fajtájának geometriai méretezését és gyártását, a nagyteljesítményű globoid és ívelt csigahajtások geometriai méretezését és gyártását, az általános fogazat optimalizálását.

A fémszerkezettan területén kidolgozásra került — a világon először — többfázisú ötvözetek fázisainak mennyiségi meghatározására egy mind a mai napig használt eljárás, azok lineáris méretei segítségével. Elméleti megfontolások és kísérleti bizonyítékok alapján kidolgozták a hipereutektikus Al—Si ötvözetek szövetfinomítását, amit az ilyen dugattyúanyagoknál általánosan még ma is használnak.

A hegesztés területén teljesen új, magyar kezdeményezésű kutatáson alapuló eredmény a fajlagos törési munkának mint a hegesztett kötések ridegtörési hajlamanak megítélésére szolgáló mérőszámnak a kifejlesztése. Az elért eredményeknek jelentős nemzetközi visszhangja van és a kutatásban több külföldi intézmény munkatársai is bekapcsolódtak. Ezen az alapon készül jelenleg a KGST tagországok ridegtörés-vizsgálati szabványának tervezete.

A forgácsoló, megmunkálás területén világszerte új utat jelent az NC szerszámgépek alkalmazása. Bár az NC gépek szerkesztéséhez igen sok külföldi tudományos és gyakorlati eredményt vettünk át, kiemelkedő jelentőségű az az állandó kutató és fejlesztő munka, melynek révén a magyarországi NC gépeket kifejlesztettük az iparvállalatok és akadémiai kutatóintézetek jó együttműködésében.

A textiltechnológiában folyó kutatómunka eredményeképpen Európában elsőnek került megvalósításra a pamutszövet fehérítés folytonos üzemi technológiája és az ehhez szükséges berendezés kialakítása, amelyet napjainkig több más fehérítő gépsor és technológia követett. A folyamatos fehérítési technológiák kialakítása mellett ebben az időben valósult meg a komplex kikészítő folyamatok (fehérítés, színezés, kikészítés) rövidítése és aggregálása is.

Az *elektrotechnikai* tudományok területén az utolsó harminc év kiemelkedő eredményei főként a szilárdtestfizika műszaki alkalmazásában születtek. Nemzetközileg elismert kiemelkedő szerepüket megtartották a régebben megindult hazai wolfram-kutatások. Ezekben belül iparilag is nagyjelentőségű volt a vízgőz jelenléte kedvező hatásának felismerése a wolfram redukciójában, valamint a gallium adalékolás szerepének felismerése és kiaknázása a nagy-kristályos wolframdrót előállításában. A magyar ipar számára új nemzetközi piacot szereztek a fénycsőgyártás alapjait biztosító fémportutató kutatás eredményei és a félvezető-kultúra hazai meghonosítása.

Jelentős önálló magyar kutatási eredmények alapján fejlődtek ki és kerülnek exportra a mikrohullámú rádióösszeköttetések berendezései. A keskenysávú rendszerek  $24 \div 300$  telefoncsatorna átvitelére a 2 és 8 GHz sávban, a szélessávú rendszerek  $600 \div 1920$  telefoncsatorna és televízióműsor átvitelére a 4 és 6 GHz sávban működnek. A keskenysávú berendezésekből eddig több mint 50 000 km hosszban, a szélessávú berendezésekből pedig kb. 25 000 km hosszban létesült összeköttetés. A kutató, fejlesztő munkában nagy jelentőségűek WINTER Ernő és kutatókollektívájának eredményei a mikrohullámú elektroncsövek meghonosításában.

Az erősáramú elektrotechnika terén a Ganz Gyár továbbfejlődését tette lehetővé MÁNDI Andor, aki a párhuzamos hornyú forgórészes turbogenerátor konstrukcióját alkotta meg; a legújabb fejlődést a radiális hornyú forgórész jelenti a vezetők közvetlen hidrogén hűtésével, amellyel a jelenleg határteljesítményt jelentő  $1000 \div 1200$  MW nagyság is elérhető és amellyel a magyar ipar nemzetközi sikert ért el.

A hálózatzelmélet területén lényeges előrehaladás történt az elosztott paraméterű hálózatok kauzalitásának és stabilitásának vizsgálatában. A kidolgozott realizálhatósági kritériumok fontos szerepet játszanak a bonyolult hálózatok számítógépes analízisében és tervezésében. Említést érdemelnek az elektronikus áramkörök érzékenysége és toleranciája területén elért kutatási eredmények, melyek a hazai alkalmazásokon túlmenően nemzetközi visszhangot is keltettek.

Új eredmények születtek az információelmélet területén a statisztikai következtetések hatékonysági vizsgálatában, a zajmentes kódolásban, a forráskódolásban és más területeken. A számítástechnika terén nagy fejlődés volt megfigyelhető az utóbbi években mind a hardware mind a software vonatkozásában. Kiemelkedő jelentőségű, hogy licencia alapján hazánkban kidolgozták az R-10 számítógépet, amelyik beleilleszkedik a szocialista országok számítógép rendszerébe. Nemzetközi sikere van a hazánkban kifejlesztett TPA típusú kis számítógépnek is.

Nagyarányú a fejlődés a korszerű számítógépek üzemét biztosító software fejlesztés terén is, amely különösen az R-10 gép szempontjából jelentős, de kiemelhető az egyéb nagy gépekre végzett software fejlesztési munka is, különösen az alkalmazási software-k vonatkozásában.

Amint e rövid és korántsem teljes felsorolásból is kiviláglik, természetes, hogy az esetek nagy részében nehéz annak megállapítása, hogy ezek az eredmények személy szerint kihez, melyik tudóshoz, vagy a körülötte csoportosuló kutató kollektívához fűződnek. A tudományos kutatás egyre inkább beépül az ország teljes gazdasági és ipari vérkeringésébe, s így az Akadémia szerepe is egyre sokrétűbbé és — legalább is a műszaki tudományok területén — egyre kevésbé elhatárolhatóvá válik.

#### 4.4 *A jövő fontos feladatai*

A műszaki tudományok előtt álló legfontosabb, koordináltan elvégezhető feladatokat a népgazdasági fejlesztési tervekkel összhangban döntő mértékben az országos távlati tudományos kutatási terv foglalja magában. A Műszaki Tudományok Osztálya (jelenlegi 25 tagjával, 8 tanácskozó jogú tagja segítségével) arra törekszik, hogy bizottságai útján egyebek között az egyes főirányok és célprogramok előrehaladását folyamatosan figyelemmel kísérje és ahol lehet, kezdeményezően is lépjen fel.

Annak érdekében, hogy a mostani jubiláris tudományos ülésszak résztvevői képet kapjanak a távlati tudományos kutatási terv egyes feladatairól, ülésszakunkon 3 rövid, idevonatkozó előadás fog elhangzani, mégpedig: Gillemot László akadémikus az alumíniumipari központi kutatási célprogram, Bognár Géza akadémikus a digitális hírközlés, Szabó János akadémikus pedig a komplex könnyűszerkezetes építésmód egyes kérdéseit, illetve tudományos feladatait fogja ismertetni.

Fontos azonban, hogy a távlati tudományos kutatási tervben nem szereplő, de jövőnk szempontjából nagy jelentőségűvé válható tudományos kérdéseket idejében felismerve, azok művelését erőnkhez képest készítsük elő kihasználva a nemzetközi, elsősorban a szocialista táboron belüli együttműködést és különös figyelmet fordítva az egyetemeken, valamint az ipari kutatóhelyeken folyó kutatásokra. Eközben egyik kulcskérdésnek kell tekintenünk a tudományos káderutánpótlás folyamatos vizsgálatát és a Tudományos Minősítő Bizottsággal együttműködve annak előmozdítását.

Mindaz, ami a műszaki tudományok területén az egész világon mind nagyobb intenzitással fejlődik, nem maradhat hatás nélkül a mi kis országunkban sem. Ezzel az előrehaladással lépést tartani -- hazai igényeink szerint is ma már csak tudományos kollektívák lehetnek képesek, minél nagyobb mértékben kihasználva a nemzetközi együttműködésben rejlő lehetőségeket.

Egyáltalán nem tagadva, sőt erőteljesen hangsúlyozva egyes nagy tudósok kezdeményezőképeségének, felismerésének fontosságát, a fejlődés útja ma már csak egy-egy nagy egyéniség vezetésével kialakított olyan kollektíva lehet, amely a bekövetkező fejlődéshez megfelelően alkalmazkodni tud és tudományos eredményeit leghatékonyabban át tudja ültetni a gyakorlatba is. Ez a műszaki tudományok legtöbb területére jellemző kutató és fejlesztő kollektíva, hagyományokkal rendelkező iskola a jövő legfontosabb tudományos bázisa kell, hogy legyen. A másfél évszázados múlt eredményeiből következtetve szilárd meggyőződésünk, hogy így is lesz, és ha az Akadémia kellő befolyást tud az ilyen iskolák kialakítására összpontosítani, elegendő hatékony irányító erőt a tudomány előrehaladására kifejteni, egyúttal még szorosabbra fűzi kapcsolatait a tudomány eredményeit felhasználó termelő ágazatokkal és vállalatokkal, akkor megvalósul a tudomány és a gyakorlat egysége

révén az a jövő, ahol a tudomány az élet minden területén a szocialista előrehaladást, a magyar nép, de ezen túlmenően az egész emberiség jólétét, boldogságát szolgálja.

**Role and Significance of the Department of Engineering Sciences in the Life of the Hungarian Academy of Sciences.** The engineering sciences play a significant role in the scientific activity of the Hungarian Academy of Sciences since its foundation, but while in the first 120 years the work in engineering fields was mainly displayed by the individual activity of some few scientists of the engineering profession, after 1945 the work of the Academy became an organized activity even in this discipline. The Academy of Sciences exercises, through the committees of the Department of Engineering Sciences, a policy making and methodological influence in the field of working out conceptions on scientific development, in discussing scientific problems, cadre-training, propagation of general knowledge, etc. Some outstanding results achieved in the field of engineering sciences in the country during the last 25 years are summarized and a number of important problems to be treated in the near future are mentioned.

**Die Rolle und Bedeutung der Abteilung für technische Wissenschaften im Leben der ungarischen Akademie der Wissenschaften** Die technischen Wissenschaften spielten immer eine wichtige Rolle im Leben der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, dennoch beschränkte sich die Tätigkeit der Akademie während der ersten 120 Jahre in diesem Bereich vorwiegend auf die persönliche Arbeit einiger berühmten technischen Wissenschaftler, die Mitglieder der Akademie waren. Nach dem Jahre 1945 wurde die wissenschaftliche Tätigkeit der Akademie auch auf diesem Gebiet organisiert. Sie übt jetzt prinzipielle und methodologische Einflüsse durch das zur Abteilung der Technischen Wissenschaften gehörige Netz von Ausschüssen auf das Gebiet der Ausarbeitung von wissenschaftsfördernden Konzeptionen, Besprechung von wissenschaftlichen Problemen, Kaderschulung, Unterrichtswesen usw. aus. Außerdem werden noch einige auf dem Gebiet der technischen Wissenschaften in den letzten 25 Jahren in Ungarn erzielte hervorragende Erfolge zusammengefaßt, und auf einige wichtige Aufgaben der nächsten Zukunft hingewiesen.

# SZÉCHENYI SZEREPE A HAZAI MŰSZAKI FEJLŐDÉSBEN

BOGÁRDI JÁNOS

AZ MTA RENDES TAGJA

Széchenyi elképzelései, megvalósított vagy megvalósítani kívánt tervei nagyon sokoldalúak. A tanulmány különválasztva tárgyalja a közlekedéssel, a vízgazdálkodással és az iparral kapcsolatos műszaki alkotásokat. Széchenyi már több, mint 120 évvel ezelőtt komplex távlati közlekedésfejlesztési programot dolgoz ki. Legjelentősebb azonban átfogó ármentesítési és folyamatszabályozási munkássága. Korszakalkotó kezdeményezéseihez hozzátartozik a Tisza szabályozása, amelynek során a Tiszavölgy csaknem valamennyi gazdasági problémája egyidejűleg megoldást nyert. Széchenyinek ezt az alkotását méltán nevezik a „második honfoglalásnak”.

## Bevezetés

Talán egyetlen egy magyarról sem írtak és vitatkoztak annyit, mint SZÉCHENYI Istvánról. Életútját, munkáját tekintve ez talán érthető is. Hogyan lett a nemzet legelső napszámosa, miért nevezte a nagy eszmei ellenfél a legnagyobb magyarnak és a haza bölcsét — aki ugyan gyakran távol állt tőle — mi készítette 1860-ban arra, hogy kijelentse: Széchenyi fénye eleinte nehezen elviselhető a szemnek, de ma már nélkülözhetetlen, mint a napfény.

A történelem ugyan mindent feljegyzett, megértése mégis nehéz. Kora politikai, gazdasági, szociális és társadalmi rendszere szövevényes. Maga SZÉCHENYI sokoldalú lélek. A simára egyengetett útról nagyon fiatalon letér. Úttalan utakon, ismeretlen akadályokkal teli ösvényeken jár. Siker, kudarc, sőt ellenségeskedés, bénító közöny összefonódva kísérik. Esetenként a hatalom bérencének, majd a nemesség, sőt a parasztság-jobbágyság árulójának, a másik oldalról véres forradalmárnak kiáltják ki. Államférfi, politikus, tudós, közigazdász, pénzember, író, mérnök egyszemélyben. Korának minden problémájával foglalkozik.

SZÉCHENYIT sokan, sokszor és nagyon eltérően is értékelték. Végülis legjobban és legtöbbet úgy érthetünk meg, ha őt magát, írásait, tetteit, gondolatait, törekvéseit tekintjük. Így jutunk el oda, hogy SZÉCHENYI már a mi korunk embere, előfutára, úttörője az önálló magyar állam kulturális és gazdasági megteremtésének. Figyelme egyaránt kiterjedt a közművelődés, a tudomány, az ipar, a mezőgazdaság, a közlekedés, a pénzügyi élet fejlesztésére,

és világosan látta azt is, hogy miként hatnak kölcsönösen egymásra, egymás fejlődésére az anyagi és szellemi életnek ezek a területei.

Talán nem vagyunk túlságosan elfogultak, ha legfontosabbnak műszaki fejlődésünk területén végzett működését tekintjük.

A SZÉCHENYI István által kezdeményezett, vagy megvalósított technikai alkotások a magyarországi reformkor idején világraszólóak voltak, az általános haladást, az elmaradott ország felemelkedését, műszaki fejlődését szolgálták. A nagy reformer műszaki érzékét, érdeklődését már kortársai is felismerték.

SZÉCHENYI István mindig kiváló megfigyelő képességgel rendelkezett: nemcsak nézett, hanem látott is. Rendkívüli érzéke volt a tudományos technika új vívmányai iránt: külföldi útjain minden olyan műszaki létesítményt megtekintett, lerajzoltatott, amelyről úgy gondolta, hogy az Magyarországon is megvalósítható.

Felismerte, hogy az emberiség a gép alakjában olyan hatalmas termelési eszközhöz jutott, amely az ipari termelést egy rövid történelmi időszak alatt gyökeresen megváltoztatja és a gyorsütemű fejlődését is megalapozhatja. Az emberi közösség szemszögéből figyelte, tanulmányozta a gépek működését, kereste azok alkalmazásának lehetőségeit hazájában.

SZÉCHENYI műszaki elképzelései, megvalósított vagy megvalósítani kívánt tervei nagyon sokoldalúak. Időbelileg és céljukat tekintve is látszólag rendszertelenül kapcsolódnak össze. Minden amit látott, tapasztalt rögtön megragadta és újabb és újabb gondolatokat ébresztett benne. Kézlőereje néha a felhők közt szárnyalt, de gyakorlati tevékenységében mégis a földön, a realitások talaján maradt. Ha terveit akadályok hátráltatták, nem csüggedt, hanem azonnal másik feladat megoldását szorgalmazta. Ha az akadály elhárult, folytatta a már megkezdett munkát. Mindez megnehezíti műszaki fejlődésünkben játszott szerepének időbeli, sorrend szerinti ismertetését. Ezért célszerűbb, ha a műszaki tudományok egyes ágazatait különvéve tárgyaljuk munkásságát. A következőkben SZÉCHENYINEK a közlekedés, a vízgazdálkodás és az ipar terén kifejtett tevékenységét részletezzük.

## 1. Közlekedés

SZÉCHENYI világosan felismerte, hogy hazánk gazdasági elmaradottságának egyik legfőbb oka, illetve a fejlődés egyik legnagyobb gátja közlekedésünk kezdetleges volta. Külföldi útjai során tapasztalatgyűjtő érdeklődése nagy részben a fejlettebb nyugati országok közlekedési vívmányai felé irányult. Jellemző erre 1814-i olaszországi útja nyomán tett egyik megjegyzése: „Velenében a Szent Márk temploma éppen nem bővült el, míg a Mont Cenis átjárása rendkívül megragadott, . . . ez utóbbi az újkor nagy vívmánya”.



1818-i keleti útja során a hajózási technikával történő megismerkedést tűzte ki maga elé célul, és 1822–23-ban Németországban, Franciaországban és Angliában utazva ugyancsak a közlekedés technikai kérdései kötötték le figyelmét, valamint annak kapcsolatai a gazdasági és szellemi élet egészével.

SZÉCHENYI átlátta, hogy az ország gazdasági reformja nem halasztható tovább és ezen belül lényeges tényezőnek tartotta a közlekedést, amely nélkül nem csupán az anyagi felemelkedést, hanem a kulturális haladást sem tudta elképzelni. Kedvenc hasonlata szerint a közlekedési reform volt hivatott arra, hogy „az ország testének ereiben megaludt vért keringésbe hozza.” Közlekedési reformjának elvi alapjai közt számos fontos felismerést találunk. El akarta érni, hogy a jó közlekedés ne csupán a belkereskedelem és ipar fellendülését célozza, hanem a *külfölddel való árucserét* is, éppen az Ausztriától való függőség csökkentése érdekében. De a közlekedéstől várta a *személyforgalom* fellendülését is, ezzel együtt — mint mondotta — megteremtődik a „művelt társas élet” is.

A közlekedési reform egyik elvi alapjául a központosítást tekintette, kétféle értelemben is. Egyrészt Pestet jelölte meg az ország valamennyi fő közlekedési útvonala kiinduló pontjául, ami a mai közlekedéspolitikánk alapja is, másrészt az addigi patriarchális, megyékre tagolt irányítást központi kormányzati feladattá kívánta tenni. Mindez ma természetes, de ő még óriási ellenállásba ütközött ezen a téren a maradiak és a hazafiságot helytelenül értelmezők részéről egyaránt.

Tudományos technikai szempontból is SZÉCHENYI egyik legjelentősebb, szinte korszakalkotó műve az 1848. január 25-én az „Országos rendek” elé terjesztett „Javaslat a magyar közlekedési ügy rendezéséről” c. munkája. Ez a javaslat „rendszerbe foglalja SZÉCHENYINEK a közlekedés minden területén közel negyedszázados közéleti tevékenysége alatt ismételt hangzott eszméit, beható tanulmányait és ezen az alapon a jövőt irányító gondolatait.”

Az Országgyűlés 1968 őszi Ülésszakán CSANÁDI György erről a munkáról a következőket mondotta:

„Jelenlegi közlekedési rendszerünk alapvető vonásait lényegében a múlt század közepén kialakított közlekedéspolitika határozta meg. SZÉCHENYI István, annyi sok közlekedési alkotás fáradhatatlan kezdeményezője, támogatója és megvalósítója . . .” több, mint „. . . 120 évvel ezelőtt olyan koncepcióval lépett a nyilvánosság elé, amelyet bátran tekinthetünk — a mai szóhasználatnál élve — a korszak komplex távlati közlekedésfejlesztési programjának. Híres 1848. évi javaslata a vasúti, közúti és vízi közlekedés fejlesztését egységes egészbe foglalta. Nagy sikerét annak köszönhette, hogy reálisan számolt az ország akkori politikai és gazdasági helyzetével, erőforrásaival, földrajzi viszonyaival és kellő előrelátással ismerte fel a múlt század forradalmi technikai eszközeinek jelentőségét.

SZÉCHENYI közlekedési programja — amely a nemzeti függetlenségért, a polgári haladásért küzdő reformkorszak kimagasló szellemi hagyatéka — tartalmilag már a múlté. De javaslata és egész életműve ma is nagyszerű példája annak, hogy miként kell a közlekedés szerepét, jelentőségét az ország életében megítélni és fejlesztését történelmi felelősséggel, tudományos alapos-sággal és előrelátással meghatározni.”

### 1.1. Dunai hajózás

A közlekedési reform *gyakorlati tennivalói* során Széchenyi először a Duna felé fordította figyelmét. Felismerte a Dunának, mint víziútnak a fontosságát és szomorúan hasonlította össze üres folyamunkat az akkor már gőzhajóktól hemzseggő Themsével, Rajnával.

Az első nagy technikai alkotása bizonyos mértékben a természetátalakítással — a természetadta hatalmas folyónk útjának részbeni megváltoztatásával, szabályozásával volt kapcsolatos. Évszázadok álmát valósította meg az Aldunai hajózó út megteremtésével.

A fő célkitűzés az volt, hogy a Duna Magyarország számára megszűnjék „egy vak zsák” lenni és ezzel a Keletet — hazánkon keresztül — össze lehessen kötni a Nyugattal. SZÉCHENYI, amikor ezt a főcél-t megjelölte, nem csupán Magyarországra gondolt, hanem az európai gazdasági, politikai és kulturális érdekeket, a nemzetközi kapcsolatok kiszélesítésének lehetőségeit is figyelembe vette. Nyilvánvaló, hogy ismerte a Nagy Károly által megkezdett hajózó csatornának, a Fossa Carolinának tervét, amely — a Rajnát a Dunával összekötve — az Atlanti Óceántól a Fekete tengerig vezető (ab Oceano usque ad Pontum Euxinum) hajózó utat teremtett volna. SZÉCHENYI ennek az elképzelésnek egy részét tervezte megvalósítani, amikor hozzálátott ehhez az igen nagy jelentőségű, sok nehézséggel járó munkához, melyet csak a ma embere fejez be a Duna — Majna—Rajna csatorna létrehozásával.

Ennek a munkának első eredménye az volt, hogy — kedvező vízállás-kor — Béctől Konstantinápolyig terjedő mintegy 3000 km hosszú hajózó út kapcsolódott be a „világforgalomba”. A Vaskapu és az Alduna későbbi, akkor „végleges”-nek tekintett szabályozásáig, 1898-ig — ha nehézségekkel is — jelentős, egyre növekvő gőzhajóforgalom bonyolódott le ezen a fontos közlekedési úton.

Az aldunai Széchenyi-út szintén fontos és jelentős műszaki alkotás volt, amelynek építését a „Trajanus”-úttal szemben levő parton a legfontosabb mederrendezési munkák elvégzése után kezdték meg. SZÉCHENYI elképzelése az volt, hogyha a hajózás a zuhatagi szakaszokon alacsony vízállás mellett nem lehetséges, a megszakított hajózó útnak a szárazföldön legyen folytatása a Kazán-szoroson keresztül. Mindkét nagy alkotását — amelyek azonos, egy-

mást kiegészítő célt szolgáltak – csak „tenger bonyodalmak között”, a nem-törődömséget, a maradiságot leküzdve lehetett valóra váltani.

Már 1829-ben megalakul az első dunai hajózási társaság, a Donau-Dampfschiffahrts-Gesellschaft, s annak első gőzhajója, az „I. Ferenc”, 1831-ben már jövedelmezően bonyolította le a forgalmat.

A DDSG a Felső-Duna veszélyei miatt 1832-től már a Pest—Bécs útvonal helyett csak a Pest—Győr útvonalon hajlandó hajóját közlekedtetni. Ugyanakkor meggyőzi SZÉCHENYI a társaságot arról, hogy indítson közlekedést a Pesttől lefelé terjedő szakaszon is, ami 1833-ban, a két újabb hajó elkészülte után meg is történik.

Ezt követően külföldre utazik s Angliában részben az ottani hajóépítést tanulmányozza, részben az angol cégeket vonja be a hazai hajóépítés és közlekedés fejlesztésébe.

1834-ben már sikerült megvalósítani a Bécstől Galacig terjedő rendszeres hajózást, a Vaskapunál történő megszakítással, ahol csak dereglyék közlekedhettek.

A vaskapui munkálatok 1842-ig folytak, majd pénz hiányában abba-maradtak. Ennek ellenére, a dunai hajózás szépen fejlődött és 1845-ben már több, mint 10 hajó bonyolította le a dunai, valamint a Galactól Konstantinápolyig terjedő forgalmat.

### 1.2. Tiszai hajózás

1833-ban, a vaskapui munkálatok átmeneti megrekedését követően SZÉCHENYI szorgalmazni kezdte a Tisza hajózhatóvá tételét is. Ez év szept. 3-án érkezett meg a Tisza első gőzhajóján Szegedre, hogy a hajózás akadályait tanulmányozza. Feljebb azonban nem mert menni, nehogy a DDSG-től kölcsönkapott hajót veszélyeztesse. Meggyőződött azonban arról, hogy a hajózás a Tisza átfogó szabályozása (és ehhez kapcsolódó ármentesítés) nélkül nem valósítható meg.

SZÉCHENYI, VÁSÁRHELYI Pállal együtt felismerte, hogy az egész Tiszavölgy egységes és általános rendezésére van szükség. Így alakult ki a gondolat és indult meg az a méreteiben és műszaki megoldásában páratlan munka: „A Tisza szabályozása”, melyet a vízgazdálkodás nagyszerű alkotásaként ismert meg a világ.

### 1.3. Balatoni hajózás

A balatoni hajózás megteremtésének fontosságát már fiatal korában átérzte, azonban megvalósítását csak 1845-ben érezte reálisnak. Nem hitt abban, hogy a vállalkozás „nyereséges” volna, de a közvetett haszon miatt mégis fel kell karolni. Ekkor írta DEÁK Ferencnek: „A gőzös a Balatonon egész új és

alig kihasználható életet és élénkséget hozna Magyarország e kies vidékeinek . . . erről én tökéletesen meg vagyok győződve . . .”

SZÉCHENYI — KOSSUTH Lajos együttműködésével — részvénytársaságot alapított és 1945. december 27-én megtartották a Balaton Gőzhajózási Társaság előkészítő ülését. A következő évben jelent meg a Társaság (KOSSUTH vezetésével elkészített) alapszabálya („A Balaton Gőzhajózási Társaság Alapszabályai” címen) és SZÉCHENYI „Balatoni Gőzhajózás” c. röpirata. Ez utóbbiban olvasható: „A Balatonon mostanáig egyetlen megfelelő hajó, de csak egy tűrhető csónak sincs. Bámuljon az ember vagy nevéssen, én nem tudom.”

Mérnöki alapossággal, pontossággal állapította meg a gőzhajózás feltételeit, a partrendezést, a mederszabályozást, éppúgy, mint ahogyan — a szerinte szükséges — kilenc kikötő építését indokolta, s választa a fejlődés várható útját is. Kitért az ellenvéleményekre is. Szerinte bűn lenne a Balaton lecsapolása; a vízszint szabályozását azonban szükségesnek tartotta. Nem kell féltetni a balatoni halállományt, hanem azt „okszerű halászattal” és mesterséges halastavakkal „szükséges biztosítani”.

Az első balatoni gőzhajó fából készült hajótestét az óbudai hajógyárból 1846 júniusában lovakkal vontatták Balatonfüredre, a géprészeket Angliából szállították. SZÉCHENYI mindenre gondolt, figyelemmel kísérte az óbudai szakmunkások szerelőmunkáját, a hajó külső és belső csinosítását egyaránt. A Kisfaludy gőzös 1846. szeptember 21-én 9 órakor indult el Balatonfüredről Kenesére.

A balatoni gőzhajózással kapcsolatos „Széchenyi-jóslat” bevált: valóban olyan gyors fejlődést indított el ezen az igen szép vidéken, amelyre csak kevesen gondoltak, hiszen akkor „. . . Keszthelyen és Füreden kívül alig . . . volt . . . nyoma szép tavunk fürdőletének!”

#### 1.4. Csatornák

SZÉCHENYI nyilvános működése elején nagy szószólója volt a különféle csatornák, elsősorban hajózási csatornák építésének is. Így pl. erőteljes agitációt fejtett ki a Duna—Tisza-csatorna mellett, amelynek akkor egy Pest—Szolnok és egy Pest—Szeged végpontú változata volt előtérben. A későbbiekben azonban az a meggyőződés vált úrrá benne, hogy olyan vonalon ahol vasút is létesíthető, hajózási csatornával nem érdemes foglalkozni, mivel építési költségük közel azonos volt akkoriban, de a csatorna egészéves üzemét a tél akadályozta, míg a vasútét nem. Így 1848-ban már hevesen ellenzi a pest—szegedi csatorna és a Drávát a Szávával összekötő eszék—brodi csatorna tervét is. Mindvégig szószólója maradt azonban a Sió-csatornának, mint a Balaton vízszintszabályozása egyetlen hatékony eszközének, valamint annak, hogy a már meglevő Béga- és Ferenc-csatornát a vízi szállításra még alkalmasabbá tegyék.

### 1.5. Vasút

SZÉCHENYI külföldi, főleg angliai útjai során felismerte a vasút nagy politikai, gazdasági és társadalmi jelentőségét. A vasút kérdését rendszeresen tanulmányozta a következő években, de csak 1836-ban, az első magyar vasúttörvény életbe lépését követően vetette először latba tekintélyét ezen a téren, mert előzőleg a Duna szabályozásának és hajózásának problémái minden idejét és erejét lekötötték. Az 1836:XXV. t. c. nem volt kielégítő. A vasutak üzemét magántársaságok kezébe utalta és a törvényben előírányzott 13 vasútvonal semmiféle összefüggő rendszert nem alkotott. SZÉCHENYI, aki minden vonatkozásban a közlekedés államosításának híve volt, látta a törvény gyengéit, de megpróbálta kihasználni az általa kínált lehetőségeket. Ebben az ügyben is, mint egyebütt, a szükséges tőke előteremtése jelentette a legfőbb nehézséget. SZÉCHENYI ekkor egy nemzeti pénzalap létesítését javasolta, holdanként 2 garasnyi földadó 35 éven át történő kivetésével, ami a nemesi adómentesség feladását jelentette volna. Érdekes, hogy az országgyűlés mindkét háza ezt elvben elfogadta, de az egyenlő közteherviselés kérdése 1848-ig húzódott. SZÉCHENYINEK sajnos nem sikerült a vasútépítéshez nemzeti tőkét gyűjtenie.

A vasútvonalak építését a különféle pénzügyi érdekeltségek közötti viszályok késleltették. ULLMANN bankár Pestet Béccsel a Duna balpartján kívánta összekötni, lóvasúttal és ebben KOSSUTH támogatta. SINA György, a Lánchíd és a DDSG főrészevényese egy jobbparti gőzvasút mellett kardoskodott és ebben SZÉCHENYI is mellette állt. Végül is 1840-ben ULLMANN terve győzött, SINA viszont egy győr—trieszti vonal építésére kapott engedélyt, bár az végül is nem valósult meg.

A pest—váci vonal 1846-ban és a pest—szolnoki vonal 1847-ben történt megnyitása voltak az első lépések a magyar vasúti közlekedés megvalósulásában. Közben azonban egyre inkább kiéleződött a helyzet SZÉCHENYI és KOSSUTH között, ami a vasút fejlesztése terén SZÉCHENYI Pest—Székesfehérvár—Károlyváros—Fiume közti és KOSSUTH Vukovár—Fiume közti (még hozzá az utóbbinak lóvasúti) vonatközlekedési terve ellentétében nyilvánult meg. Mindketten ugyanazt akarták: Magyarország tengeri kikötőjének vasúttal való megközelítését, de szempontjaik különböztek. SZÉCHENYINEK sikerült KOSSUTH tervét levétni a napirendről, de saját elgondolása sem valósulhatott meg életének tevékeny szakaszában.

A vasút fejlesztése terén kifejtett munkássága azonban végülis meghozta a kívánt eredményt. Mint már említettük, 1848. évi javaslatát fogadták el közlekedésünk fejlesztésének alapjául.

### 1.6. Közút

Hazánk úthálózata SZÉCHENYI működésének idején hírhedetten kezdetleges állapotban volt. A meglevő utak vonalát a megyék vagy a földbirtokosok

egyéni érdekei szabták meg és ugyanez volt a helyzet a megyei pénzek útépitésre és fenntartásra való felhasználásánál is. Az utak karbantartását a jobbágyok közmunkában végezték és nyilvánvaló, hogy ebben nem sok köszönet volt. Egyetlen igazán jó minőségű és műszakilag is figyelemre méltó útunk a „Lujza-út” volt, amely 1801–1812 közt épült és Károlyvárost Fiuméval kötötte össze. Ezt egy magántársaság magas útvám szedésével tartotta fenn. SZÉCHENYI mindent megmozgatott, hogy az állam saját maga számára váltsa meg ezt az utat, de 1848-ig erőfeszítései nem vezettek sikerre; az államosítás csak 1851-ben következett be.

Érdekes módon, SZÉCHENYI elgondolásában a vasút és a közút nem két egymástól független és csak helyenként kapcsolódó hálózat. Ő a vasúti főközlekedési hálózatot elsődlegesnek tekintette és a közutakat csak az előbbi kiegészítőjének. Ha figyelembe vesszük, hogy az ő idejében a már gépesített vasút teljesítőképessége milyen óriási mértékben különbözött a még csak fogatolt közúti szállítástól, szemlélete teljesen érthetővé válik. Mindamellet SZÉCHENYI 1848-ban kiadott „Javaslat a magyar közlekedési ügy rendezésirül” c. könyve már részben a mai elveknek megfelelő úthálózatra vonatkozó elképzeléseket tartalmaz. Megkülönböztet elsőrendű sugár-útvonalakat, másodrendű keresztútvonalakat — amelyek két vagy több várost hivatottak a főhálózattal összekapcsolni —, valamint harmadrendű, szárnyútvonalakat — ma bekötő útnak neveznök, — kisebb városoknak a vasúttal való összekötésére. Az általa javasolt utak összes hossza 6034 km. Ez a tervezett úthálózat az ugyancsak SZÉCHENYI által tervezett vasúthálózattal együtt szerves egészet alkot.

### 1.7. Lánchíd

Akik Budapesten élték át 1945-öt, jól tudják, mit jelent a Dunán a hidak teljes hiánya. Bár másfélszáz évvel ezelőtt még jóval kisebb volt a Buda és Pest közti személy- és áruforgalom, SZÉCHENYI már 1821-ben felismerte az országrészeket összekötő állandó híd fontosságát és egyévi jövedelmét ajánlotta fel erre a célra, de szavára nem figyeltek fel. 1828-tól kezdve azonban szüntelenül munkálkodik a híd ügyén, annak 1848-beli elkészültéig. 1832-ben életre hívja a Hídegyesületet, amelynek feladata volt a politikai akadályok elhárítása, a pénzügyi fedezet biztosítása és a műszaki tervezés előkészítése.

1832 őszén angliai tanulmányútra megy a különféle hidak tanulmányozására és hazatérése után készített jelentésében a lánchíd, mint műszaki megoldás mellett foglal állást.

SZÉCHENYI a Lánchíd építésének szervezési, pénzügyi vonatkozásai mellett csodálatra méltó műszaki tevékenységet is kifejtett.

Angol bűvárokkal leszállt a Themse medrébe, hogy helyes fogalma legyen a híd-pillérek alapozásáról, a víznek és jégnek a pilléralapra gyakorolt hatásáról. A tapasztalatok alapján megnyugodva írta naplójába: „... a helyes

megépített mederpillér a még olyan hatalmas dunai jégnek is ellenáll!” Négy évig kellett harcolnia azért, hogy létrejöjjön az 1836:XXVI. t. c., amely ki-  
mondja a nemesség hídvám-fizetési kötelezettségét. A másik nehézség volt a  
budai és pesti polgárság ellenállása az állandó híddal szemben, mivel az addigi  
hajóhíd a két város jövedelmét gyarapította.

Az „állandó híd” ellenzői szerint Buda és Pest közötti függőhíd lengései  
veszedelmesek, a Dunába pillért építeni nem lehet, mert a jégzajlás veszélyez-  
tetné magát az objektumot és a jégtorlódás árvizet okozhat. Az említett ang-  
liai útja során a „Menai-lánchíd” építője: TELFORD mérnök és Tierney CLARK  
a hammersmithi, shorehami és marlowi lánchíd tervezője megnyugtatták: le-  
hetséges Magyarországon, a Dunán „függő lánchidat építeni” és „a helyesen  
megépített mederpillér” a jégzajlásnak is ellenáll, „... nem törődnének az  
önök folyójának jegével...”

SZÉCHENYI második, 1834. évi aldunai útján — alacsony vízállás mel-  
lett — látta az egykori Traján-híd oszlopmaradványait. Erről írt a „Társal-  
kodó” c. lapban: „... tán csak magam éreztem ... szívszorongva a római híd  
szemrehányását. Miért kincseztük e ... nagy nemzetnek egyedül nyelvét s  
miért nem inkább nagylelkű” (technikai) „erényeit, mi fővárosunkat is vala-  
hára már híddal egybekapcsolná...”

A hazai akadályok megszűnte után a bécsi kormány kezdett nehézsége-  
ket gördíteni az ügy elébe, mivel nehezményezték, hogy SZÉCHENYI nevéhez  
kapcsolódott a híd dolga és nem a kormányéhoz. Könnyen megérthetjük ezt,  
hiszen Trajanus ideje óta a Dunán nem volt állandó híd. BONFINI feljegyzése  
szerint ilyen tervvel ugyan Zsigmond király is foglalkozott, de az akkor nem  
valósult meg. A XIX. század elején Magyarország területén csak öt ideiglenes  
híd volt a Dunán. Budát és Pestet 42 hajóból álló ideiglenes híd kötötte össze  
(a Türr István utcánál); ezenkívül Komáromnál, Újvidéknél hajóhíd, Po-  
zsonynál és Esztergomnál „repülő-híd” volt. Ezeket részben a hajóforgalom,  
részben a jégzajlás és magas vízszint miatt gyakran szét kellett szedni és ilenkor  
nemcsak a városokat, hanem az egész országot valóban szinte „ketté vágta”  
a Duna. Végre 1840-ben megkezdődtek az előmunkálatok, 1842-ben lerakták  
az alapkövet s az akkori ünnepélyen KOSSUTH javasolta a majdani hídnak  
Széchenyiről való elnevezését.

Az akkori technikai lehetőségek mellett a Lánchíd építése rendkívüli  
feladatok elé állította az építőket. Példaként elég a hídfők és a pillérek alap-  
ozására utalni, amelyre a külföldi szakemberek is felfigyeltek.

A mederpillérek és hídfők alapozásakor az építögödör körülzárására  
szolgáló zárógátakhoz igen sok 12 ÷ 24 m hosszú cölöpre volt szükség. A Duna  
alatti hordképes agyag, amelyre alapozni kellett, mélyen feküdt a mederfenék  
alatt; például a budai pillér helyén a vízmélység 9 ÷ 11 m, a kavicsréteg vas-  
tagsága több mint 6 m volt. Néhány adatot érdemes felsorolni: a pillérek és  
hídfők építő gödrét vízelzáró gátakkal kellett körülvenni. A zárógátak mind-

egyike három sor, egymástól 1,5 m távolságban levő, szorosan egymás mellé helyezett cölöpökből állt. A cölöpsorok között levő kavicsot kikotorták és helyét agyaggal töltötték ki, hogy a vízátzivárgást lehetősen csökkentsék. Az így körülzárt helyen a kavicsot az agyagrétegegig kikotorták, a vizet kiszivattyúzták és így építették fel a pillért. A két hídfő és két mederpillér építőgödrenek körülzárására kereken 7000 cölöpöt használtak fel (ezeknek összes hossza kereken 40 km-t tett ki). A cölöpök beverése lassan történt, mert mind-egyikre átlag 400 ütés volt szükséges. A hídfők és a pillérek elkészülése után a cölöpöket — az alacsony vízállás alatti mélységben — lefűrészelték.

A Lánchídhoz szorosan kapcsolódik a budai alagút terve is, amelyet ugyancsak Széchenyi kezdeményezett.

A hid 1848-ban készült el, de az a férfiú, akinek érdemeit ma is hirdeti, már nem láthatta meg elkészültét.

## 2. Vízgazdálkodás

Széchenyi műszaki elgondolásai, tervei és az ezekből fakadó alkotásai közül a legnagyobb szerűbbek a vízgazdálkodáshoz kapcsolódnak. Közlekedésügyi programja a maga nemében egyedülálló és iránymutató. De kora külföldi tapasztalatait követi és bőven merít a fejlettebb országok közlekedéspolitikájából. A vízgazdálkodás területén, csak a részleteket illetően támaszkodhatott külföldi példákra. Nem járunk messze az igazságtól, ha megállapítjuk, hogy SZÉCHENYI korában ilyen komplex szemléletet igénylő tudományágzat nem is létezett. És éppen ebben rejlik működésének óriási jelentősége. Felismerte és ezzel korát messze megelőzte, hogy a vízügyi feladatokat összességükben kell szemlélni és megoldani.

A múlt század elmaradott Magyarországon munkatársaival olyan nagyszabású és tudományosan megalapozott természetátalakító terveket dolgozott ki, olyan átfogó ármentesítési, folyamszabályozási koncepciónak volt a kezdeményezője, fáradhatatlan szervezője s irányítója, amelyek egész országrészek térképét rajzolták át. Ezek a tervek kora országépítő programjának építőkövei voltak. Ezek teremtették meg a — világviszonylatban is jelentős — magyar árvízvédelmi rendszer kiépítésének, folyóink szabályozásának és mai korszerű vízgazdálkodásunknak alapjait.

Vízimunkálatokat természetesen SZÉCHENYIT megelőzően is végeztek hazánkban. Ilyenek voltak például a reformkor kezdetén a Sárvíz—Sió és a Kapos vízrendszerének rendezése. A Tisza völgyében a meg-megisméltendő árvizek ellen pedig már a 17. és 18. században is védekeztek. Mindezek azonban egy-egy szűkebb terület érdekeit szolgáló rész megoldások voltak.

SZÉCHENYI a vízrendezési, folyószabályozási és árvízmentesítési munkálatokat nem látványos részfeladatok megoldásával kívánta végrehajtani,



hanem összességükben a műszaki, gazdasági és társadalmi szempontok alapján óhajtotta megtervezni és megépíteni.

A fejlődés a sürgető népesedési, gazdasági motívumok jelentkezése mellett a feladat megoldásának tudományos-műszaki feltételeit, a tervező és kivitelező mérnöki kar kialakulását is biztosította. A hazai térképezés és vízépítés zseniális úttörőjének, MIKOVINY Sámuel iskolájának legjelentősebb képviselői, illetve követői VEDRES István, BESZÉDES József, HUSZÁR Mátyás és VÁSÁRHELYI Pál voltak. E kiváló mérnöki gárda kiképzése az első hazai gazdasági-műszaki szakiskola (a Collegium Oeconomicum) után — az „Institutum Geometricum”-nak (1782—1850) köszönhető.

SZÉCHENYI a közlekedés és az ipar fejlesztésénél elsősorban külföldi szakemberekre támaszkodott. Vízügyi elgondolásainak tervezésénél és végrehajtásánál a hazai vízimérnökképzés eredményessége folytán kitűnő magyar mérnökök álltak rendelkezésére. Közülük magasan kiemelkedik VÁSÁRHELYI Pál, akit joggal tekintünk a haladó szellemű műszaki értelmiség jelképének.

VÁSÁRHELYI Pálnak SZÉCHENYI ösztönző támogatásával végzett térképészeti munkáit, a „Duna mappáció”-t a tudományos világ mindmáig a vízrajzi térképezés egyik klasszikus művének tekinti. Nemzetközi viszonylatban is úttörő jellegű vízhozammérési, szintezési munkái ugyancsak egy-egy előkészítő lépést jelentettek a majdan életművét betetőző Tisza-szabályozás terveinek megalkotásához.

SZÉCHENYI munkássága a hazai vízügyek fejlesztésében éppen az általa kezdeményezett komplex szemlélet folytán nagyon sokrétű. Szorosan kapcsolódik a népgazdaság legkülönbözőbb ágaihoz, elsősorban a közlekedéshez és a mezőgazdasághoz. Részleteinek tárgyalására tanulmányunkban nem vállalkozhatunk. A jobb áttekinthetőség érdekében ezért célszerűen külön foglalkozunk a Duna szabályozásával és a Tisza szabályozásával.

## 2.1. *Duna-szabályozás*

SZÉCHENYI a Duna szabályozását három szempontból tartotta fontosnak. Egyrészt a szabályozás révén csökken az árvízveszély és az anyagi kár. Másodszor, a szabályozott meder a kereskedelmi hajózást is fellendíti és harmadszor, a működő víziút eszközül szolgál a más népekkel való érintkezés, a látókör és a civilizáció fejlődéséhez is. A dunaszabályozást nem csupán magyar, hanem európai érdekként értelmezte és álláspontjának igyekezett megnyerni a török portát és a szerb fejedelmet is. Első dunai útjára 1830. június 24-én indul Pestről saját evezős hajóján, a „Desdemona”-n, amely 1826 májusában készült el. Útjára BESZÉDES Józsefet, a kitűnő vízimérnököt és még hat kísérőt visz magával. Lassú útja során tanulmányozza a Duna folyását és BESZÉDESSel megtanácskozza a szükséges átvágásokat, egyéb mun-

lákatoakat. Az akkor kitört kolerajárvány útközben őt is megtámadja, vesztég-zárba is kényszerül.

A Duna szabályozásával kapcsolatos tapasztalatait, terveit előadva megnyeri azoknak a bécsi udvar nagyhatalmú minisztereit. Megkapja királyi biztosi kinevezését az Alduna szabályozásához. Még 1830-ban a helyszínrre utazik VÁSÁRHELYI Pál kíséretében és személyesen irányítja a munkálatokat a következő évben is.

Sajnálatos módon, a bécsi udvar megvonja támogatását SZÉCHENYITŐL. Már első dunai útjára is mellé akarták beosztani Bécs egyik megfigyelőjét, de akkor sikerült tapintatosan visszautasítania.

SZÉCHENYI most feladatul a Gönyü és Pozsony közti dunaszakasz szabályozását tűzi maga elé. JÓZSEF nádor pártfogó támogatásával ismét megkapta az Alduna-szabályozás királyi biztosi tisztét 1833 júniusában. A Vas-kapu szabályozásának költségvetése 3,8 millió forintról szól. Ezzel szemben az induláshoz a kormány csupán 30 ezer forintot adott. SZÉCHENYI július 8-án indul gőzhajón Pestről és júl. 29-én már meg is kezdik a szirtek repesztését. OZMÁN orsovai pasa azonban a SZÉCHENYITŐL kapott gazdag ajándékok ellenére azzal fenyegetőzik, hogy ágyúval löveti, ha a török területen levő sziklákhoz nyúlnak. „Az orsovai pasa talán nagyobb akadály, mint a sziklaszirtek” — jegyzi meg keserűen SZÉCHENYI. A diplomáciai huzavonák és tárgyalások idején VÁSÁRHELYI Pállal európai körutat tesz, amelynek során kotrógépeket vásárol a Felső-Duna számára.

1835-ben veti fel egy pesti téli kikötőnek és egy Óbudán létesítendő hajógyárnak a tervét, valamint a hazai hajósképzés eszméjét. Ezek is néhány évben belül megvalósultak és a „Kisfaludy”, az első balatoni gőzös már ott épült.

## 2.2. Tisza-szabályozás

SZÉCHENYI korszakalkotó kezdeményezései közé tartozik a Tisza szabályozása. Amikor 1845-ben a Helytartótanács közlekedési osztálya élére került, ezt a feladatot helyezte első sorba.

Az „Eszemetöredékek különösen a Tiszavölgy rendszerét illetőleg” c. munkájában meghatározta a célt: termővé tenni ezt a hatalmas, az áradásoktól, aszályoktól veszélyeztetett földterületet, mert meggyőződése volt, hogy ez országos érdek, hiszen” . . . a dunántúli és egyéb magyarság is . . . csak hervadozni fog és kora halálra fog jutni, ha pusztulásnak indul a Tisza-völgy . . .” A Tisza-szabályozására, az ármentesítés és a hajózás lehetővé tétele érdekében egyébként már korábban is történtek jelentős lépések.

A 18. század második felétől mind jobban erősödött a tizsakörnyéki elvadult állapotok megjavításának igénye. Az ármentesítés — folyószabályozás munkájáról, annak egyes szakaszairól, eredményeiről, nehézségeiről számos beszámoló, tanulmány jelent meg. E leírások nemcsak arra világítanak rá,

milyen kedvezőtlen volt a Tiszavölgy lakosságának élet- és vagyónbiztonsága, hanem arra is, hogy a hónapokig tartó árvizek lehetetlenné tették a mezőgazdasági termelést, sőt a közlekedés tartós korlátozásával a kulturális haladást is megbénították.

A reformkorban - nagyrészt SZÉCHENYI hatására -- meginduló vízügyi műszaki tevékenység során csak az 1840-es években kerülhetett újra napirendre a Tisza-völgy rendezése, amely nemcsak hazai, hanem európai szempontból is páratlan méretű vállalkozás volt. A munka eredményeként az ország lényegesen nagyobb területet nyert, mint Hollandia ármentesített területe volt.

A Tisza-völgy felmérése aránylag rövid idő alatt befejeződött, jól haladt a tervezés munkája is, a kivitelezésre pedig rendelkezésre állott a megfelelő mérnöki kar: VÁSÁRHELYI Pállal az élen. Hiányzott azonban az - európai viszonylatban is egyedülálló méretű - gazdasági-műszaki feladat megoldására alkalmas szervezet, jogi szabályozás, anyagi fedezet. Ezért vállalta el SZÉCHENYI a „Közlekedési Bizottmány” elnökségét és a királyi biztosságot, hogy mindezeket a feltételeket megteremtse. A Tiszavölgyi Társulat megszervezése érdekében 1845 őszén VÁSÁRHELYIvel bejárta az Alsó- és Közép-Tiszát és így közvetlenül megismerkedhetett a valósággal, a vidék súlyos helyzetével. Realitásának, kiváló műszaki érzékének köszönhető, hogy felismerte: a munkálatokat, a szabályozást, a rendezést az egész Tiszára, sőt az egész Tiszavölgyre ki kell terjeszteni. Jól látta, hogy a hatalmas, országos érdekű feladat megoldásában nem támaszkodhat a megyékre, a földbirtokosokra és az öncélúan politizáló országgyűlésre. Az aldunai tapasztalatok megmutatták, hogy a kormányra sem. A kivezető utat a társulati formában látta. Eddigi közéleti tevékenysége után a Tisza-völgy komplex rendezésében találta meg azt az eszközt, amely a leghatásosabban szolgálhatja a kívánt cél elérését: az ország gazdasági-műszaki haladását, egész Magyarország fejlődését.

„. . . A Tiszavölgy szabályozásának fogalmába nemcsak a Tisza, hanem a vele közvetett, vagy közvetlen kapcsolatban levő folyók és általuk okozott mocsárok és kiöntések rendezését, korlátozását, illetőleg lecsapolását, nemkülönben az egész tiszavölgyi vízszerkezetnek bárminemű hasznosítását is belefoglaljuk . . .” írja többek között az 1846-ban megjelent Szerződvényben.

Mivel egy egész országrész természeti viszonyainak átalakításáról volt szó, hangsúlyozta, hogy a feladat megoldásában nem lehet és nem szabad „vidéki körülmények és szokások szerint foltot foltra rakni és így javítgatni.” A helyi érdekeken és a pillanatnyi szempontokon felülemelkedve országos és több évtizedes távlatokban kell vizsgálni a teendőket.

Nem lehet eléggé hangsúlyozni azt a nagy szerepet, amelyet SZÉCHENYI a programban az öntözésnek szánt. A vizek kártételei elleni védekezést csak a vízrendezés első lépésének tekintette.

„A Tisza-szabályozás első részét, t. i. a védmunkálatokat kivinni . . .”

nem elég. Meg kell valósítani az öntözést is melyet „... csak a jövő nemzedék fog ugyan elérni, de melynek előbb-utóbb végre be kell következnie...”

SZÉCHENYINEK néhány hónapig tartó agitációs körútja során az egész Tisza-völgyet (amely 22 törvényhatósághoz tartozott) sikerült megnyernie a közös munka számára. Tapasztalatait — egyben a létrehozandó Tiszavölgyi Társulat programját — 1846 januárjában adta közre „Eszmetöredékek különösen a Tiszavölgy rendezését illetőleg” c. röpiratában. Ez nemcsak a Tiszaszabályozás történetének alapvető dokumentuma, hanem egyben vízügyi politikájának kitűnő összefoglalása is, s különösen jól mutatja fejlesztési elgondolásainak műszaki megalapozottságát. Az igen fontos „eszmetöredék”-nek nevezett röpirat csak látszólag „töredék”, lényegében a helyzetet reálisan, teljeskörűen mutatja be, igen fontos műszaki-gazdasági összefüggések feltárása mellett. A földrajzi adottságokból fakadó műszaki nehézségeket éppúgy, mint az ország elmaradottságából eredő gazdasági, politikai, jogi, szervezési és művelődéspolitikai nehézségeket, feladatokat és azok bonyolult összefüggéseit.

A Tiszavölgyi Társulat megalakulását — SZÉCHENYI István programja alapján — az 1846. január 19-én megnyílt nagygyűlés mondta ki. A megalakulás tényét „Szerződvény”-ben és az alapszabályokban rögzítették. SZÉCHENYI ezekben — és a munkálatok megindulásakor — messzemenően gondoskodott a tervszerűségről és a kivitelezés megfelelő műszaki ellenőrzéséről. Az ármentesítés és mederszabályozási tevékenység koordinálása érdekében kívánta azt is, hogy a legfelső műszaki irányítás egy kézbe kerüljön: az állami hajózási felügyelő, VÁSÁRHELYI Pál, majd utóda KECSKÉS Károly látta el a Társulat főmérnökének teendőit.

A Tisza szabályozás nehézségei (anyagi eszközök biztosítása, a szabályozási tervek körüli viták, stb.) és bonyodalmai lényegében már VÁSÁRHELYI Pál halálával (1846-ban), még a munka megindulása előtt kezdődtek.

A vitás kérdések eldöntésére FRANCESCONI udvari tanácsost és PALEOCAPA velencei építési igazgatót hívták meg. FRANCESCONI elfogadta a Vásárhelyi-féle tervet, PALEOCAPA azonban egyszerűsítette azt és a 101 „átvágás” helyett 15 „átvágás” azonnali végrehajtását ajánlotta; ezt a gyors sikerre és kisebb költségre való tekintettel elfogadták. (Jó néhány évvel később — a szerzett tapasztalatok — VÁSÁRHELYI Pál tervének helyességét igazolták és a későbbi szabályozási munkákat annak figyelembevételével végezték el.) Ugyanebben az évben, július hó közepén SZÉCHENYI István PALEOCAPA olasz mérnök társaságában Tokaj—Szeged között (ekkor haladt át itt először gőzhajó!) beutazta a Tiszát. A felmerült nehézségeket leküzdve, 1846. augusztus 27-én megkezdődött a hatalmas munka: a Tisza-vidék szabályozása Tiszadobnánál, a később SZÉCHENYI-ről elnevezett gátnál. Az első, ünnepélyes kapavágást ő maga végezte el. Az itt felállított emlékmű ma is hirdeti SZÉCHENYI István és VÁSÁRHELYI Pál nagy tervének megvalósítását.

A folyószabályozással végül is a Tisza hosszát 1/3-ával csökkentették, esését megnövelték és a Tisza-völgy mocsarait lecsapolták. E munkát VÁSÁRHELYI országépítő nagy terve alapján az alföldi agrárproletárok, kubikusok tízezrei valósították meg. Ősi primitív eszközökkel, talicskával, kapával, lapáttal verejtékes erőfeszítéssel formálták alakították át e táj arculatát. Ezt az alkotást méltán nevezték a múlt század krónikásai a „második honfoglalás”-nak.

### 3. Ipar

SZÉCHENYINEK az ipar területén kifejtett tevékenysége lényegesen kisebb, mint a vízgazdálkodás és a közlekedés fejlesztésére fordított munkássága. Mégis a különböző iparágakban bevezetett elgondolásait és kezdeményezéseit úttörőnek mondhatjuk.

Valóban feltűnő, hogy SZÉCHENYI milyen alaposan tanulmányozta az Angliában látott gépeket a különböző gyárakban, üzemekben. Műszaki ismereteit kitűnő mérnökök segítségével tervszerűen és tudatosan bővítette. Atyjának írta erről az útjáról (1815-ben): „Most éppen a gázvilágítást tanulmányozom, amit otthon is előnnyel lehetne alkalmazni.” Egy kisebb gázfejlesztő gépet — a fennálló tilalom ellenére — hazavitt Nagycenkre és ott próbálta ki miként lehetne azt Magyarországon hasznosítani. Később — tapasztalatai alapján — javasolta, hogy vizsgálják meg a gázvilágítás bevezetésének lehetőségét a fővárosban. Egy másik levelében csodálattal írt egy angol „kolbászkesztőről”, aki műhelyében gőzgéppel dolgozott. Nem csodálható, hogy ezt is kipróbálta birtokán, ahol később kisebb gépműhelyt, gépgyárat (itt készítették a híres „cenki vasekét”), majd cukorgyárat és selyemfonodát létesített.

Meglepetéssel tapasztalta, hogy „. . . a kő- és vasércbányákban 280 és 600 lóerős gőzgépek szivattyúzzák a vizet a közeli csatornába, így egyik a másikat . . .” (a bányászat a mezőgazdaságot) „. . . segíti”. Látta azt is, hogy „a kőszén alatt nagy réteg vaskő is van, mely mintegy 45% vasat tartalmaz . . . Fogadni mernék, hogy nálunk is van ez a kettő együtt s csak keressük és elég mélyre ássunk.”

További adatokat gyűjtött és rajzokat készített a vasutakról, gőzhajókról, gőzmalmokról, cséplőgépekről, papírgyárakról, a légszusz-világításról és a hidakról.

A gépipar fejlesztésénél elsősorban a mezőgazdasági termékek értékesítésére gondolt. Így lett kezdeményezője például malomiparunknak.

Közlekedéspolitikai tevékenységével szorosan összefügg a hazai gőzgép és gőzhajózás bevezetése.

## Befejezés

SZÉCHENYI által kezdeményezett, vagy meg is valósított technikai alkotások az általános haladást, az elmaradottság felszámolását, a műszaki fejlődést szolgálták. Tevékenysége úttörő volt, s maradandót alkotott, amely jelentős hatással volt a későbbi fejlődésre, anyagi és technikai előrehaladásra egyaránt. Nemcsak hirdette, hanem minden tette is arra irányult: „A jövő nemzedéke hadd menjen egy lépéssel közelebb a világosságához.”

Elgondolásai — vagy másoknak az ő koncepciójába illő tervei — érdekében számos könyvet, tanulmányt, hírlapi cikket jelentet meg, felszólal és beszédeket mond az országgyűlésen, megyegyűléseken, az általa alapított társaságokban, egyesületekben. A terveivel szemben felmerülő politikai akadályok elhárítása érdekében levelez és személyesen tárgyal a bécsi udvarral, a török portával, a szerb fejedelemmel, orosz diplomatákkal. Terveinek pénzügyi fedezetét is az irodalmi agitáción túl úgy teremti elő, hogy személyesen tárgyal a vagyonos magyar főnemességgel, a bécsi és olasz bankárokkal, a német fejedelmekkel. Rengeteget utazik, eleinte azért, hogy tapasztalatokat gyűjtsön, később pedig azért, hogy gépeket vásároljon, hajókat rendeljen, politikai és pénzügyi tárgyalásokat folytasson. Életrajzát olvasva joggal felvetődik bennünk a kérdés, hogy miként jutott minderre ideje és ereje.

A megrögzött konzervatívok lázadónak, sőt kommunistának nevezték, az elfogult sovíniszták pedig a bécsi udvar kiszolgálójának. Mindez sok keserűséggel töltötte el, de azért változatlan erővel folytatta a harcot szeretett hazája felvirágoztatásáért, mindaddig, míg 1848 végén az az érzése nem támadt, hogy minden igyekezete hiábavaló volt és ez érzékeny idegrendszerét megroppantotta. Műszaki alkotásai és úttörő felismerései nyomán később megvalósult gondolatai, egyaránt hálával töltenek el bennünket.

Nemcsak gondolkodott és írt, hanem cselekedett is, előremutató tettekkel nyújtva példát honfitársainak a haza és a haladás gyakorlati szolgálatára.

Egyet kell tehát érteni a Magyar Tudományos Akadémia Történeti Főbizottsága — ismert — (1960. évi) téziseivel:

„SZÉCHENYI nagy történelmi személyiség volt a magyar nép szemében és annak bizonyul a marxista történettudomány szigorú mércéjével mérve is. Az igazi történelmi nagyság a kor szükségleteinek felismerésében és a történelmi szükségszerűség győzelméért kifejtett erőfeszítésekben nyilvánul meg. Korábbi történelmünk hősei között is kevés olyan van, . . . mint a múlt század harmincas évek SZÉCHENYIJE . . .”

SZÉCHENYI Istvánnak „. . . ma is kiemelkedő helye van népünk szívében; életműve haladó múltunk szerves alkotórésze, emlékét azok soraiban őrizzük, akik az emberiség haladásának úttörői voltak, alkotásai nagy tettek, új erőfeszítésekre lelkesítik napjaink új országot, új társadalmat építő nemzedékét.”

Széchenyi szerepe a hazai műszaki fejlődésben. Milyen sokat is lehet erről mondani? És milyen tömören fennköltén írja le ezt nagy költőnk Akadémiánk néhai főtítkára:

„Duna, Tisza . . . ez mely prüszögve hordja  
Fékét, s szabályhoz törni kénytelen;  
Amannak hódol a sziklák csoportja,  
A Trajanusz híre újból megjelen;  
Az ifjú szép Pest, ki bizton ölelve  
Nyújt Corvin agg várának hű kezét,  
S az édes honni szót selypíti nyelve . . .  
Széchenyié mindez emlékezet!”

**Role of I. Széchenyi in the Field of Technical Development in Hungary.** The ideas of I. Széchenyi, the plans realized by him and intended to be realized were manifold. In the paper the technical projects in connection with the transport, water management and industry are separately treated. I. Széchenyi worked out comprehensive long-range transportation plans more than 120 years ago. However, his most significant works were the large-scale flood control and rivercontrol projects. One of the most important of his epoch-making initiatives was the regulation of the river Tisza by which nearly all of the economical problems of the Tisza-basin have been solved. This great project of I. Széchenyi was rightly called „the second conquest of his country”

**Széchenyi's Rolle auf dem Gebiet der technischen Entwicklung in Ungarn.** Széchenyi's Konzeptionen sowie seine verwirklichten und zu verwirklichenden Pläne waren sehr vielfältig. In der Abhandlung werden die mit dem Verkehrswesen, mit der Wasserwirtschaft und Industrie zusammenhängenden technischen Schöpfungen voneinander abgesondert behandelt. Széchenyi hat schon vor mehr als 120 Jahren ein komplexes langfristiges Programm für die Verkehrsentwicklung Ungarns ausgearbeitet. Am wichtigsten war jedoch seine umfassende Tätigkeit in Zusammenhang mit dem Hochwasserschutz und mit der Flußregulierung. Eine seiner epochemachenden Initiativen war die Regulierung der Theiß, wodurch gleichzeitig beinahe alle Wirtschaftsprobleme des Theißtals gelöst wurden. Dieses großzügige Werk von Széchenyi wurde mit Recht „zweite Landeseroberung” genannt.





# AZ ALUMÍNIUMIPAR KÖZPONTI KUTATÁSI CÉLPROGRAMJÁNAK NÉHÁNY KÉRDÉSE

GILLEMOT LÁSZLÓ\*

AZ MTA RENDES TAGJA

A tanulmány csak azokról az ötvözési és technológiai lehetőségekről kísérelt meg összefoglaló képet adni, amelyeknek a megalapozása a hazai tájékozódó kísérletekkel megtörtént és amelyeknek továbbfejlesztése az ipari alkalmazás szintjéig az 1990-ig tervezett kutatási programnak súlyponti kérdése lehet, nem hanyagolva el természetesen azt, hogy a kutatási célprogramban kitűzött, de itt nem tárgyalt fontos és lényeges kérdéseket akár a belföldi kutatómunkával, akár nemzetközi kooperációval, akár pedig licenc és know-how vásárlással minél előbb meg kell oldanunk.

## I. Bevezetés

Magyarország számottevő mennyiségű bauxittal rendelkezik, amelynek nagyrésze közepes, illetve jóminőségű. Ezért hazánkban az alumíniumipar fejlesztése különlegesen fontos. Az Országos Távlati Tudományos Kutatási Tervben összesen 11 célprogramot emeltek országos szintre. Az alumíniumipar fejlesztésének fontosságára való tekintettel a 11 kiemelt kutatási célprogram egyike az alumíniumipar fejlesztésének kutatási célprogramja.

Az alumíniumipar hazai fontosságát az is szemlélteti, hogy az első magyar ipari kutatóintézet az 1948-ban megalapított Fémipari Kutató Intézet volt. Az intézet és az alumíniumipar vállalatai, valamint vállalati laboratóriumai között az alapítás óta eltelt több mint 25 év alatt igen jó együttműködés alakult ki. Ennek következtében az alumíniumipar 1990-ig kidolgozott hosszútávú kutatási célprogramja jól alkalmazkodik az iparfejlesztés célkitűzéseire. A kutatási célprogram tartalmazza mindazokat a kutatási feladatokat, amelyek az alumíniumipar tervezett fejlődéséből szükségszerűen következnek, de tartalmaz olyanokat is, amelyek az alaptudományok újabb eredményeit felhasználva visszahatnak az ipari fejlődésre. Ez a tanulmány csak néhány olyan problémát emel ki, amelyek a természettudományokra vagy műszaki alaptudományokra támaszkodva fogalmazhatók meg, és jelentős hatással lehetnek az ipar fejlődésére. Ezek közül is szerző csak a saját szűkebb kutatási területének, az alumínium és ötvözetek, félgyártmány-, illetve készgyártmány technológiájával kíván foglalkozni és csupán röviden, tájékoztató jelleggel kívánja megemlíteni a timföldgyártás és az alumíniumkohászat kutatásá-

\* Prof. Dr. Gillemot, 1113 Budapest, Tarcali u. 2.

nak főbb irányvonalait. Ezeket is elsősorban csak azért, mert a fémalumínium minősége szükségszerűen kihat a félgyártmányok és a készgyártmányok minőségére is.

## 2. A timföldgyártás és az alumínium-előállítás néhány fontosabb feladata

A magyar bauxitkészletek jelentős része a 7-es és a 10-es modulus közé esik, kis része a 10-es modulusnál jobb. Ezek a bauxitminőségek a hagyományos Bayer-technológiával feldolgozhatók. Mivel a már ma is jelentős méretű magyar timföldgyártás alapvetően a Bayer-technológiára van beállítva, következik, hogy a timföldgyártással kapcsolatos kutatások főiránya alapvetően a Bayer-technológia egyes fázisainak további javítása lesz. Ezzel az általános célkitűzéssel kapcsolatban nagy szerepet fog játszani az egyes műveletek folyamatossá tétele és automatikus szabályozása. A gyengébb minőségű bauxitok feldolgozása érdekében pedig szükségessé válik az ún. kombinált eljárások kutatása. Bár mind a soros, mind a párhuzamos eljárások kutatásában az iparág jelentős eredményeket ért el, az optimális technológiát még tovább kell kutatni már csak azért is, mert a Bayer-féle timföldgyártás során keletkező nagymennyiségű vörösiszap feldolgozása nem csak a visszanyerhető értékes anyagok miatt, hanem környezetvédelmi szempontból is egyre nagyobb fontosságúvá fog válni.

Rendszeres és visszatérő feladatot jelentett és fog is jelenteni az újabb bányanyitásokból származó változó minőségű bauxitok optimális technológiájának a kidolgozása a már meglévő berendezések segítségével.

Az alumínium-elektrolízis területén a magyar ipar rendkívül jelentős haladást ért el. Az elmúlt évtizedek alatt az elektrolízis fajlagos energiafogyasztása a 15 000 kWó/tonna alumínium értékre csökkent le, ami világviszonylatban is kiváló eredmény. Az elektrolizáló kádak méretének és konstrukciójának további javításával a fajlagos energiafogyasztás tovább csökkenthető. Az alumínium-elektrolízissel kapcsolatos kutatásoknak egyik fő iránya a folyamatok automatizálása, a második pedig az elektrolízishez szükséges segédanyagok fogyasztásának csökkentése, illetőleg ezek hazai előállításának megteremtése.

Az itt felsorolt néhány kutatási feladat korántsem jelenti a kutatási célprogram ismertetését. A timföldgyártás kutatási feladatait alapvetően a bányászott bauxitok minősége és a már régóta működő Bayer rendszerű timföldgyárak, az elektrolízis feladatait pedig alapvetően az energiahelyzet szabja meg. Ezen két tényező és az elmúlt évtizedek tapasztalatai alapján a hagyományos Bayer-eljárás kiegészítése, illetve a hagyományos elektrolízis további javítása és az elért eredmények továbbfejlesztése lehet a fő feladat.

Az 1990-ig terjedő tervperióduson belül legfeljebb tájékoztató jellegű kísérleteket lehet folytatni ezektől alapvetően eltérő jellegű technológiákkal, amelyek közül csak példának említem a klórméttallurgia alkalmazását.

### 3. Az alumínium alkalmazásának elvi problémái

Magyarországon az egy főre eső alumíniumfogyasztás kerekén 10 kg/fő, ami több mint háromszorosa a világtátlagnak. Az egy főre eső alumíniumfogyasztás tekintetében Magyarország igen sok iparilag fejlett államot is megelőz. Már évtizedek óta volt a hazai kutatómunka célkitűzése az alumínium alkalmazása minden olyan területen, ahol az sajátságainál fogva előnyösen, vagy más fémek helyett (réz, cink stb.) ésszerűen és gazdaságosan alkalmazható. Az utóbbi évtized műanyagiparának fejlődése azt mutatta, hogy nagyon sok alkalmazási területen az alumíniumnak a műanyagok lesznek a versenytársai technológiai és gazdasági szempontból. Ez a helyzet jelenleg bizonytalanná vált a világszerte mutatkozó energiaválság nyomán. Az alumínium és műanyagok jövőjének és az ezzel kapcsolatos kutatási célkitűzéseknek a meghatározását igen nehézé teszi az, hogy a szénhidrogének ára az utóbbi időben olyan mértékben ingadozott, ami reális gazdasági kalkulációt pillanatnyilag nem tesz lehetővé. Az alumínium és a műanyagok jövőbeni fejlődését azonban kétségtelenül befolyásolja majd az, hogy bár az alumíniumgyártás és ezen belül főleg az alumínium elektrolízise energiaigényes iparág, ahol azonban pusztán gazdasági kérdés az, hogy az energia előállítása milyen úton történik (hőerőmű, vízierőmű, atomenergia), addig a műanyagok gazdaságos előállításánál a szénhidrogének a kiinduló alapanyagot képezik. Ezért a további kutatási feladatok tárgyalásakor szerző az alumínium és a műanyagok áralakulásának várható bizonytalansága miatt sehol nem fog kitérni az alumínium és a műanyagok összehasonlítására, hanem a továbbiakban kizárólag az alumínium félégyártmány és készárugyártás azon területeivel fog foglalkozni, amelyeken az alumínium alkalmazási lehetőségeit csak a többi fémes szerkezeti anyaggal, elsősorban az acéllal és az öntöttvassal kell összehasonlítani. Ahol ilyen összehasonlításra szükség van, ott is a műszaki adatok elemzésére fog szorítkozni, mert azt a kérdést, hogy valamely szerkezetben az acél vagy az alumínium alkalmazása az előnyösebb-e, nem teljesen a nyersanyagok árai, hanem a feldolgozási technológia költségei is döntően megszabják.

Az alkalmazás és felhasználás szempontjából az alumínium legfontosabb tulajdonságai a következők:

- jó villamosvezetőképesség,  
kis fajsúly,
- jó képlékenyalakíthatóság,
- jó önthetőség,
- viszonylag jó korrózióállóság.

Ezek a sajátságokon alapuló alkalmazási lehetőségek illetőleg gyártási technológiák közül szerző csak azokat fogja itt tárgyalni, amelyek valamilyen új utat jelentenek, és kutatásuk még nem haladta meg a laboratóriumi vagy félüzemi kutatások kereteit. Mivel kizárólag fejlődőben levő technológiákat és alkalmazási lehetőségeket fog tárgyalni, a felvetett témák nagy számára való tekintettel mellőzi a vonatkozó szakirodalom részletes felsorolását, mert a kutatási lehetőségekről és irányokról csupán egy átfogó képet szeretne vázolni anélkül, hogy ezeket a következőkben tudományos pontossággal tárgyalná.

#### 4. Az alumínium villamos-vezetőképességén alapuló kutatások

Az ezüst és a réz után az alumínium vezetőképessége a legjobb. Ez a körülmény szabja meg széleskörű felhasználását a villamosiparban. 1973-ban az összes alumíniummennyiség 28,8%-át a villamosipar használta fel.

A tisztafém vezetőképessége jelenlegi ismereteink szerint ötvözéssel nem javítható, így a vezetőképesség javítására legfeljebb olyan mikroötvöző elemek jöhetnek szóba, amelyek más, a vezetőképességet erősen rontó ötvöző illetve szennyező elemeket olyan formában kötnek le, amelynek hatására a vezetőképesség javul. Ilyen célokra a magyar ipar már régen használja a bórral való ötvözést. Ettől eltekintve a vezetőképesség növelésének az útja a szennyezők mennyiségének csökkentése, ezért a problémakör inkább a timföldgyártás és az alumínium-elektrolízis feladatkörébe tartozik. Bár a fémalumínium vezetőképessége a legjobb, szilárdsága kicsiny, ezért a nagyfeszültségű távvezetékek céljaira — ahol a vezetőképesség mellett a szilárdság is szerepet játszik — acél-alumínium sodronyok vagy ötvözött alumínium huzalok alkalmazása a célszerű. A jó vezetőképesség és megfelelő szilárdság együttes követelményeinek az Al—Mg—Si ötvözésű vezeték-huzalok felelnek meg leginkább. Ezek tulajdonságait hosszú évek kutatómunkájával a magyar iparnak sikerült olyan színvonalúra fejlesztenie, hogy a hazai ötvözött vezeték-huzalok az ismert legszigorúbb követelményeknek is megfelelnek.

Az alumínium vezetékek gyártástechnológiájában tehát a közeli feladat a kiinduló fém minőségének további javítása, valamint a már folyamatban levő öntve-hengerlési kísérletek folytatása a durva huzalok előállítására, és az egyenletes homogén minőségek biztosítása.

Távolabbi célkitűzés lehet a huzalok gyártástechnológiájának alapvető megváltoztatása, amely azonban abból a szempontból erősen megfontolandó, hogy jelentős kutatási költségekkel jár. A huzalgyártás fejlesztésének egyik ma már félüzemi kísérletek alapján is bizonyított lehetősége az ún. hidrosztatikus sajtolás. A hidrosztatikus sajtolásnál a kisajtolandó anyagot egy nagyszilárdságú hengerből 10 000 atmoszféra nagyságrendben mozgó folyadék nyomásával sajtolják ki a hengerbe épített szerszámon keresztül.

Az egy lépésben elérhető keresztmetszetszökkenés a  $10^3$  nagyságrendben mozog, tehát sok nagyságrenddel nagyobb, mint a huzalhúzás során egy számban elérhető keresztmetszetszökkenés. Emiatt úgy látszik, hogy a hidrosztatikus sajtolás különlegesen alkalmas az alumíniumhuzalok gyártására. Megfontolandó azonban az, hogy jelenleg a hidrosztatikus sajtolást még folyamatos műveletként nem lehet alkalmazni, továbbá, hogy az alkalmazandó nagy nyomások miatt a hidrosztatikus sajtoláshoz szükséges berendezések költségesek.

Járhatóbb útnak látszik a huzalgépjártásban a hidrosztatikus sajtolás és a hagyományos huzalhúzás kombinációja. Számolni kell azonban azzal, hogy az ehhez szükséges kísérleti berendezések megépítése is jelentős költségekkel jár.

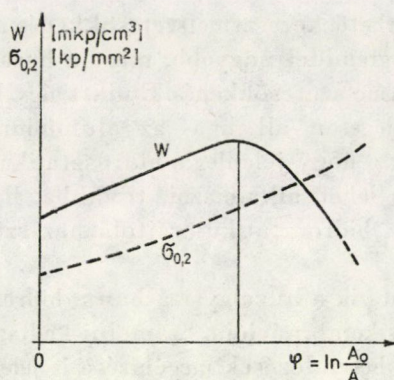
Az alumíniumhuzalok alkalmazásának jelentős kiszélesítését jelentené a forraszthatóság jó és gazdaságos megoldása. Ennek egyik útja az ultraszónikus forrasztás, másik lehetséges útja pedig a jól forrasztható fémmel borított huzalok előállítás.

## 5 Az alumínium szilárdsági és technológiai tulajdonságaitól függő alkalmazási területek kutatási problémái

Az alumínium alkalmazását gépekben vagy szerkezetekben illetve az építészetben az ötvözet szilárdsága, korrózióállósága, illetőleg gyártási technológiája külön-külön vagy együttesen határozza meg. A felsorolt szempontok szerint az alumíniumot és ötvözeit elsősorban az acéllal és vasötvözetekkel kell összehasonlítani és ennek az összehasonlításnak az alapján lehet a technológiai kutatások célját meghatározni. Mindezen megfontolásoknál természetesen nagy szerepet játszik az, hogy az alumínium fajsúlya lényegesen kisebb, mint az acélké, tehát az összehasonlítás során mindig a szilárdsági mérőszám/fajsúly viszonyt kell figyelembe venni.

A ma használatos alumíniumötvözetek szakítószilárdsága hozzávetőleg megegyezik a kevésbé ötvözött lágyacélok szilárdságával, a nemesíthető acélok szilárdsága ennek több mint kétszerese, a legújabban kifejlesztett ún. maraging acélok szilárdsága pedig a ma használt alumíniumötvözetek szilárdságának 4–5-szörösét is eléri. A pusztán szilárdsági mérőszámok összehasonlításán túlmenően azonban mindig figyelembe kell venni a feldolgozási technológia által adott lehetőségeket is. Az azonban nem kétséges, hogy a szerkezetekben alkalmazandó alumínium ötvözetek szilárdságát a jelenlegihez képest növelni kell ahhoz, hogy az alumíniumötvözetek alkalmazása az acél alkalmazásával szemben egyes területeken műszaki előnyökre vezessen.

Egy anyag minőségének megítélésére már igen régóta alkalmazzuk a *fajlagos törési munkát* [1]. A fajlagos törési munka a repedés keletkezéséig a térfogategységben elnyelt munka. A fajlagos törési munkáról sikerült kimu-



1. ábra. Hidegen alakított fémek vagy ötvözetek fajlagos törési munkájának, valamint folyási határának ( $\sigma_{0,2}$ ) változása a hidegalakítás függvényében

tatni azt, hogy a terjedő repedés megjelenésének kritériuma és független az igénybevétel módjától [2]. A fajlagos törési munka egyszerű szakítókérséletről meghatározható és nem egyéb, mint a valódi feszültség — valódi nyúlás léptékben ábrázolt szakítódiagram területe, tehát olyan mérőszám, amely a szilárdságot és az anyag nyúlását jellemző tényezők szorzata. Az eddigi kutatásaink során a fajlagos törési munka következő sajátosságait állapítottuk meg:

1. szilárdoldatot alkotó elemekkel való ötvözésnél a fajlagos törési munka folyamatosan nő;
2. szemcsehatármenti kiválások a fajlagos törési munka értékét csökkentik;
3. az alumíniumötvözetek nemesítő hőkezelése során keletkező kiválások a fajlagos törési munka értékét csökkentik;
4. a hidegalakítás során a fajlagos törési munka értéke egy darabig nő az alakítás mértékének függvényében, egy bizonyos pont után ismét csökken (1. ábra). Az ábra vízszintes tengelyén a keresztmetszetváltozás mértéke van felmérve, a függőleges tengelyen pedig a fajlagos törési munka, illetőleg a folyáshatárnak megfelelő feszültség ( $\sigma_{0,2}$ ). Az ábra csupán vázlat, mert nem egy meghatározott ötvözetre vonatkozik, hanem elvileg kívánja szemléltetni a hidegalakítás hatását a fajlagos törési munkára, illetőleg a folyáshatárra.

A fenti — már eddig is bizonyított — tételeket figyelembe véve, az alumíniumötvözetek szilárdságnövelésének útjai is elég pontosan kijelölhetők. Mivel az alumíniumnak más fémekkel alkotott kétalkotós ötvözeteti ismertek, ezek közül tágabb határok között szilárd oldat csak az Al—Mg, illetve Al—Zn ötvözetsorban képződik. Pusztán szilárd oldatot eredményező ötvözéssel tehát az ismertnél sokkal nagyobb szilárdságnövekedés nem várható, a további szilárdságnövekedést hidegalakítással kell elérni az 1. ábrán bemutatott elvi diagram figyelembevételével, ahol a szerkezeti célokra megkövetelt jó szilárd-

sági tulajdonságokat jó képlékenységi tulajdonságokkal együtt abban a pontban lehet elérni, ahol a fajlagos törési munka értéke a hidegalakítás során a legnagyobb.

A nemesíthető ötvözeteknek hidegalakítással való szilárdságnövelése szintén következik a fajlagos törési munka alapján felállított tézisekből. A nemesíthető ötvözetek hőkezelésének első lépése az ötvözőelem (vagy ötvözőelemek) oldódását előidéző hőmérsékletre való hevítést követő gyors hűtés. Következésképpen az így keletkezett szilárd oldat hidegkialakítása után kell a kiválásokat (Guinier—Preston zónákat) előidéző öregítő hőkezelést alkalmazni. A gondolatmenetből következik, hogy a ma ismert ötvözetek szilárdságnövelésének egyik kézenfekvő útja a hidegalakítás. Ez természetesen nem zárja ki azt, hogy eddig nem ismert újabb ötvözetek és a hidegalakításnak már itt ismertetett kombinációja még további szilárdságnövekedésre vezethet. A folyáshatár növelésének lehetőségeit az irodalmi adatok alapján PROHÁSZKA János [3] foglalta össze, ezért azokra jelen tanulmány nem tér ki. A fémfizikai megfontolások is teljes mértékben alátámasztják azokat az előbbi rövid megfontolásokat, amelyek szerint a legnagyobb folyáshatár növekedés a hidegalakítás hatására várható.

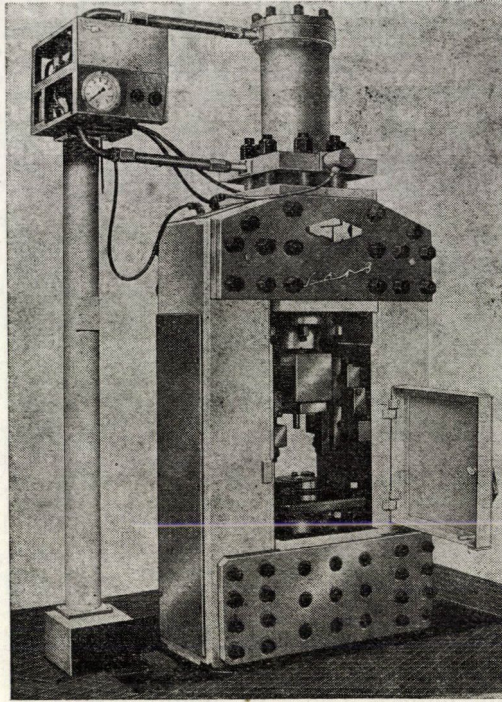
A fajlagos törési munkán alapuló megfontolások azonban az ötvözetek fejlesztésére további támpontot is adnak. A tisztafém fajlagos törési munkája ( $50 \text{ mkp/cm}^3$ ) nagyobb, mint a 99,5%-os kohófémmel fajlagos törési munkája ( $30 \div 40 \text{ mkp/cm}^3$ ). Következésképpen a nagy tisztaságú alapanyagból készülő ötvözetekkel elérhető szilárdságnövelés a már ismertetett utakon tovább javíthatja az ötvözetek szilárdságát.

Mivel a fenti gondolatmenet szerint a szilárdságnövelés egyik módszere mindig a hidegalakítás, a további tárgyalás szempontjából széjjel kell választani a lemezből vagy idomdarabból készült szerkezetek és a térfogatalakítással készült munkadarabok gyártási technológiáját.

### 5.1 Alumínium ötvözetű kovácsdarabok és porkohászati testek előállítása

Bármilyen képlékeny alakító művelet (kovácsolás, sajtolás stb.) munkaszükségletének vagy az alakításhoz szükséges erőknél a kiszámítására vonatkozó képletek mindig olyan jellegűek, hogy az anyag alakítási szilárdsága azokban a képletben egyszerű szorzóként szerepel, a szorzat második tagja pedig a munkadarab geometriájától függ és tartalmazza a szerszám és az anyag között fellépő súrlódás tényezőjét is. Az alumínium és ötvözeteinek alakítási szilárdsága a hőmérséklet növekedésével csökken, tehát az alakítás erőszükséglete, illetve munkaszükséglete nagyobb hőmérsékleten kisebb, mivel az alakítási szilárdság csökken. Figyelembe véve azonban a felhevítéshez szükséges hőmennyiséget is, a melegalakítás energiafogyasztása két részből áll:

- a hevítés energiaszükségletéből és
- az alakítás energiaszükségletéből.

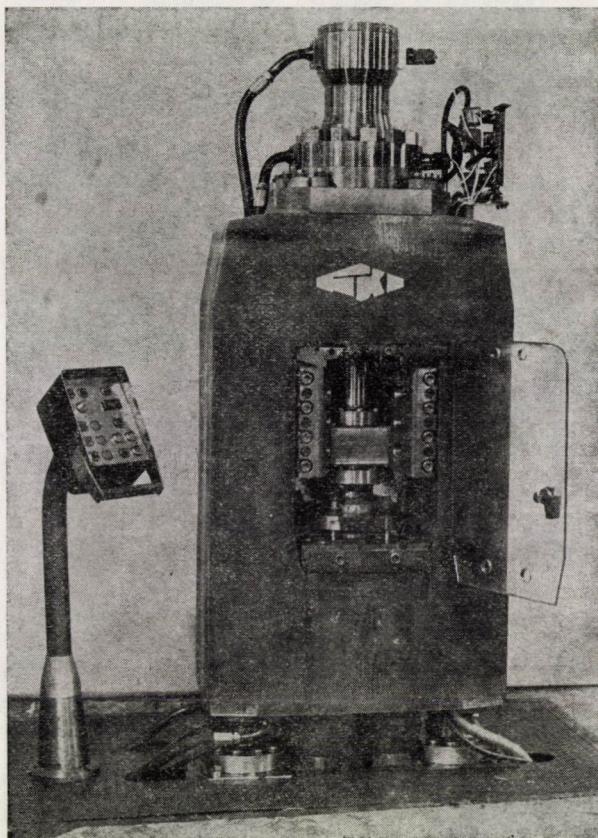


2. ábra. 6 tm-es nagysebességű ütőmű

Bár a vonatkozó adatok ötvözet típusonként változnak, mégis igen egyszerű számítással kimutatható az, hogy a hidegalakítás összes energiaszükséglete általában mindig kisebb, mint a melegalakítás energiaszükséglete. Következésképpen az alumínium és ötvözeteinek hidegalakítása energiafogyasztás szempontjából biztosan gazdaságosabb, mint a melegalakítása, elmarad ugyanis a kovácsolási vagy sajtolási hőmérsékletre való hevítés. További előnyt jelent az, hogy a hidegalakításnál a súrlódási tényező jóval kisebb, mint a melegkialakításnál. Kétségtelen tény azonban az, hogy a hidegalakításnál az alakítási szilárdság nyilván  $4 \div 5$ -ször nagyobb, mint az alakítási szilárdság értéke a melegalakítás szokásos hőmérsékletén. Következésképpen a hidegalakító berendezések mérete, súlya és beruházási költsége is közel ilyen arányban nagyobb, mint a melegalakításhoz használt berendezéseké.

Figyelembe véve a hidegalakítás által nyújtott előnyöket és lehetőségeket, szinte szükségszerűvé vált hogy éppen a Fémipari Kutató Intézetben hozzunk létre olyan berendezéseket, amelyek lehetővé teszik az alumínium és ötvözeteinek kovácsolását hideg állapotban, egyidejűleg biztosítva a nagy méretpontosságot és a hidegalakítás által elérhető szilárdságnövekedést. Ezért a Fémipari Kutató Intézet szerkesztőivel már az 1960-as évek közepén kifejlesztettük a nagysebességű ütőműveknek több típusát, amelyek közül a





3. ábra. 2,5 tm-es nagysebességű ütőmű

2,5 tm-es és a 6 tm-es gép működik rendszeresen a Fémipari Kutató Intézetben, illetve a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Intézetében (2., 3. ábrák) [4, 5, 6, 7].

A nagysebességű ütőművek ütési sebessége mintegy 25 m/sec, ami lehetővé tette a gépsúly csökkentését. A 6 tm-es típus önsúlya mindössze 6000 kp, a gép által kifejtett erő maximuma pedig kereken 1000 tonna. Ezeknél a gépeknél a teljesítmény mkp-ban kifejezve, viszonyítva a gép súlyához kb. 1, míg a hagyományos gépeknél ugyanilyen erőhatás, illetve ütési teljesítmény kifejtéséhez 5 ÷ 6-szor nagyobb gépsúly szükséges. A nagysebességű ütőmű tehát ugyanolyan gépsúly mellett képes hidegalakításra, mint amilyen súlyú gép szükséges a hagyományos típusok közül a melegalakításra.

A nagysebességű ütőművekkel a Fémipari Kutató Intézet és a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Intézete több tízezer darabra terjedő kovácsolt alumíniumdarabot gyártott már eddig is. Természetesen a berendezések alkalmasak acélalkatrészek kovácsolására is.

Mind az elméleti megfontolások, mind az eddig szerzett tapasztalat a következőket mutatja: a nagy sebesség következtében a súrlódási tényező csökken, a fellépő dinamikus erőhatások elősegítik a forma kitöltését, és, mivel az ütés rendkívül gyors, az alakítás egy századmásodpercen belül történik, az alakítás folyamata adiabatikusnak tekinthető. Ennek folytán a munkadarab hőmérséklete az ütés során növekszik. Mindez arra vezet, hogy a formakitöltés igen jó és éppen ezért sorjakiképzésre általában nincsen szükség. A kiinduló darab súlya és a készre kovácsolt darab közt a különbség tehát igen kicsiny. Adva van tehát a továbbiakban a nagyszilárdságú kovácsdarabok előállításának útja, amely szerint a kiinduló darab szilárdoldat típusú ötvözet, ez a nagysebességű ütművel hidegen alakítandó, majd utána ha az ötvözet nemesíthető, természetes vagy mesterséges öregítéssel éri el végső szilárdságát. A kísérleteket először a már ismert ötvözet típusokon célszerű lefolytatni, esetleg, felhasználva azt az elvet is, hogy a nagy tisztaságú fémből készített ötvözetek fajlagos törési munkája kedvezőbb. Amennyiben az ötvözet nemesíthető, úgy a hidegalakítás után következhetik az ötvözet öregítése.

Az itt leírt technológia a már meglévő gépeken is alkalmazható, sőt mivel a gépekbe hűtőberendezés is beépíthető, szóba jöhet olyan technológia is, amelynél az alakítás arról a hőfokról történik, amelyen a nemesíthető ötvözet szilárdoldatot alkot, tehát az alakítás meleg, és az alakítással közvetlen egy időben történik az ötvözet hirtelen hűtése.

Végül, de nem utoljára megemlítendő az, hogy a nagysebességű alakító gépek adnak lehetőséget az öntvénykovácsolási technológia kutatására. Azt, hogy az öntvények tulajdonságai lényegesen javíthatók az öntvény melegalakításával, már PIWOWARSKY kimutatta a második világháború előtt. Az öntvények alakításának azonban legfőbb nehézsége az, hogy a formakitöltés miatt szükséges vékony sorja a kovácsolás során rendszerint megreped. A nagysebességű alakító gépeknél — mint azt az előzőekben kifejtettük — jól szerkesztett szerszámban a sorja elhanyagolhatóan kicsiny lehet és úgy lehet elhelyezni, hogy esetleges repedése esetén se terjedjen a repedés a kovácsdarabba. Öntvénykovácsolási kísérleteket egyelőre tájékozódó jelleggel öntött szilumin ötvözet előrefolyatásával végeztünk pusztán a lehetőségek felmérésére. Az a közel 12% Si, 0,5% Mg tartalmú öntvény, amely kokillaöntésben az átmérő ötszörösének megfelelő mérőhosszon mérve mindössze  $1 \div 2\%$  nyúlást eredményez, nagysebességű előrefolyatás után  $10 \div 18\%$  nyúlást adott. A kísérletek során a kovácsolást 430 °C-on végeztük, az öntött ötvözet keresztmetszete 2,7 : 1 arányban is redukálható volt. Ezen tájékoztató előkísérletek arra mutatnak, hogy alumínium gépalkatrészek gyártásánál nagyjelentőségű lehet az öntvénykovácsolás nemcsak azért, mert az ismert önthető ötvözetek sajátosságait javítja és igen nagy pontosságú alkatrészek elkészítését teszi lehetővé, hanem azért is, mert kifejleszthető olyan technológia is, amelynél a kiinduló anyag nagyszilárdságú ötvözetből készített, a végső kovácsdarab alakját

csupán megközelítő olyan ötvény, amelynek végső alakítása a megkívánt alakra melegalakítással történik.

Bár a jelenlegi gépek az ötvénykovácsolási technológia tanulmányozására alkalmasak, a kísérletek eredményességétől függően ki kellene fejleszteni olyan géptípust, amely automatizált kivitelben, egyszerre — csekély időbeli eltéréssel — végzi az öntés és a kovácsolás műveletét.

Igen biztató kezdeti eredményeket értünk el a nagysebességű alakítás porkohászati alkalmazásával is [8]. Mind vasporból, mind alumíniumporból a szilárd test fajsúlyának  $99,5 \div 99,7\%$ -át elérő tömör portesteket lehet előállítani egyetlen ütéssel. Az oxidos alumíniumporokból készített nagysebességű alakítással tömörített és izzított alumínium portestek, amelyek elvileg teljesen ridegek, nagysebességű alakítással tovább kovácsolhatónak bizonyultak. Ezért, főleg gyorsan járó gépszerkezetekben, ahol a dinamikus hatások miatt kis súlyú alkatrészekre van szükség, nemcsak a hidegen kovácsolt nagyszilárdságú alumínium gépalkatrészek, hanem a porkohászati úton előállított és esetleg a portest kovácsolásával tovább megmunkált alkatrészeknek is nagy szerepe lehet.

## 5.2 Nagyszilárdságú lemezekből készült szerkezetek

Valamennyi lemezből készült szerkezetnél alapvető probléma a kötésnek az elkészítése, amely lehet oldhatatlan kötés (forrasztás, hegesztés, szegecslés), vagy oldható kötés (pl. csavarkötés). Az oldhatatlan kötések készítésére a legelterjedtebb technológia az ömlesztő hegesztés. Az ömlesztő hegesztéssel hegeszthető anyagok közül a legnagyobb szilárdságúak ma az Al—Zn—Mg típusú ötvözetek, melyekkel kereken  $18 \div 20$  kp/mm<sup>2</sup>-es folyáshatárú ( $\sigma_{0,2}$ ) kötés állítható elő. Kétségtelen, hogy ezen ötvözeteknek kisebb-nagyobb javítását el lehet érni — az előzőekben kifejtettek szerint — nagy tisztaságú alapanyag alkalmazásával [9]. Ha az acél és az alumínium ára közti különbséget figyelmen kívül hagyjuk, akkor az ilyen ötvözettypusból ömlesztő hegesztéssel készült szerkezetek kétségtelenül könnyebbek a ma Magyarországon használt acélszerkezeteknél. Jelenleg ugyanis általában a 35-ös folyáshatárú acélokat hegesztik. A 35-ös folyáshatárt a fajsúlyok arányában átszámítva, egy 12,4 kp/mm<sup>2</sup> folyáshatárú anyagból készített hegesztett alumínium szerkezet eredményezne hasonló súlyt. A fejlett nagyipari államokban azonban már kiterjedten használják a 70 kp/mm<sup>2</sup> folyáshatárú acélokat. Az ezekből készített szerkezettel az alumínium csak akkor volna versenyképes, ha a folyáshatára 25 kp/mm<sup>2</sup> volna. Amennyiben a 70 kp/mm<sup>2</sup> folyáshatárú hegeszthető acélok használata elterjed, akkor az alumínium ötvözetből készített hegesztett szerkezet súly szempontjából sem marad versenyképes az acéllal, nem is beszélve az árkérdésekről. Jelenleg még laboratóriumi kísérletek formájában sem ismert olyan alumínium ötvözet, amelyből ömlesztő hegesztéssel készített szerkezetben a 25 kp/mm<sup>2</sup> folyáshatárnál nagyobb folyáshatárt

lehetne előállítani. Kézenfekvő tehát a problémát megkerülni a már tárgyalt hidegen alakított lemezek alkalmazásával. A hidegen alakított lemezekhez szükségképpen nem lehet ömlesztő hegesztést használni. A kísérletek azonban azt mutatták [10], hogy a ponthegeztés környezetében a hidegen alakított lemez kismértékű lágyulása a kötés szilárdságát nem csökkenti, sőt acéloknál még növekedést is lehetett észlelni. A ponthegeztést célszerű ragasztással kombinálni, mert a ponthegeztett, ragasztott kötések szilárdsága eléri, sőt meghaladja a hidegen alakított anyag szilárdságát is. A ponthegeztés és ragasztás kombinációjával javul a kötés szilárdsága ismételt igénybevételek esetén is.

Végül, de nem utolsósorban említendő meg, hogy ott, ahol a ragasztás és ponthegeztés kombinációjával előállított kötés sem kielégítő szilárdságú, vagy fáradással szemben nem felel meg, könnyen és gyorsan lehet a kötést előállítani szegeccseléssel vagy a szegeccselés és ragasztás kombinációjával.

A nagysebességű alakító gépekkel végzett kísérleteink során azt találtuk, hogy a nagysebességű ütőművekkel még rideg anyagokat is kifogástalanul lehet lyukasztani úgy, hogy a lyuk környezetében repedés vagy képlékeny alakváltozás ne forduljon elő. A lyuk minősége eléri a fúrással készített lyuk minőségét. A Fémipari Kutató Intézetben a lyukasztási kísérletekre is kifejlesztettünk egy kisméretű berendezést, amely azonban — szemben az előbb bemutatott ipari méretű kovácsoló berendezésekkel, — egyelőre csak laboratóriumi kutatómunkára alkalmas.

A hegesztett kötésekön kívül sok helyen, főleg helyszíni szereléseknél felmerül az oldható kötések készítésének szükségessége. Erre két utat lehet megjelölni:

- a szükséges nagyszilárdságú csavarokat a nagysebességű ütőművekkel hidegen előrefolyatással lehet gyártani, csupán a csavarmentet kell bevágni. A csavar hidegalakítása itt nemcsak szilárdsági szempontból szükséges, hanem a csavarmentek berágódásának az elkerülésére is;
- egy másik megoldási út a csavarokat kevésbé ötvözött acélból készíteni és a kész csavart nitridálni. A nitridált felület érintkezése az alumínium ötvözetrel nem jelent korrózióvesztést.

Végül a teljesség kedvéért a kötésmódok között megemlítendő a forrasztás problémái is. Az alumínium a felületén levő vékony oxidhártya miatt hagyományos módszerekkel nem forrasztható. Megoldható a feladat azonban ultraszónikusan rezgetett forrasztópákával. Ez a módszer tömeggyártásra nem alkalmas.

Ha forrasztott kötések tömeggyártásban kell előállítani, legcélszerűbb az alumíniumot hengerlés vagy húzás során olyan anyaggal borítani, amely könnyen forrasztható. Vezetékeknél ilyen célra a legcélszerűbb a vékony rézréteggel bevont alumínium, lemezeknél pedig Al—Zn vagy Al—Zn-ötvözet-kombinációk jöhetnek majd számításba.

## IRODALOM

1. GILLEMOT, L.—SINAY, G.: *Acta Techn. Hung.* **22** (1958), 149—173
2. GILLEMOT, L.: International Conference on Fracture (1965) Sendai, Japan, No. 3. D. I. 47—80
3. PROHÁSZKA J.: *Műszaki Tudomány* **44** (1971), 255
4. GILLEMOT, L.—MORZÁL, J.—GILLEMOT, L. jr.: *Acta Techn. Hung.* **64** (1969), 259
5. GILLEMOT, L.: *Metal Forming* (1970), 137
6. GILLEMOT, L.: *La Metallurgie* **101** (1969), 333
7. GILLEMOT, L.: *Gépgyártástechnológia* **11** (1971), 16
8. GILLEMOT, L. jr.: *Acta Techn. Hung.* **64** (1969) 427—442
9. GILLEMOT, L.—BURAY, Z.—BURAYNÉ MIHÁLYI E.: Magyar szabadalmi bejelentés (1968)
10. BAUER, F.: *Periodica Polytechn.* **16** (1972), 375—391

**Some Questions of the Central Research Program of the Aluminium Industry.** The paper tries to recapitulate only those alloying and production possibilities, which are founded on Hungarian informative experiments and the further development of which up to industrial application level could be the central questions of the research program planned for the period up till 1990. Naturally, the important and essential questions incorporated in the research program, but not discussed here, must be solved either by national or by international cooperation, or by the purchase of licences and of know-how, as soon as possible.

**Einige Probleme des zentralen Forschungsprogramms der Aluminiumindustrie.** In der Arbeit versucht der Verfasser nur über jene Legierungs- und technologischen Möglichkeiten einen Überblick zu erteilen, die durch einheimische informative Versuche begründet wurden und deren Weiterentwicklung bis zum Niveau der industriellen Anwendung eine zentrale Frage des für den Zeitraum bis 1990 geplanten Forschungsprogramms sein kann. Dabei wurde auch daran gedacht, daß die in das Programm der Forschungsthemen aufgenommenen, aber hier nicht besprochenen, wichtigen und wesentlichen Themen durch einheimische Forschungsarbeit, oder durch internationale Kooperation, oder aber durch Ankauf von Lizenzen und Know-how sobald als möglich gelöst werden müssen.



# DIGITÁLIS HÍRKÖZLÉS

BOGNÁR GÉZA

A MTA RENDES TAGJA

A hírközléssel szemben támasztott követelmények fokozódása következtében a hírközléssel kapcsolatos kutatások nem nélkülözhetik az információelmélet és a hírközlélmélet széleskörű, intenzív alkalmazását. Információforrások, információközlő csatornák, információtároló és -feldolgozó rendszerek sztochasztikus modellezése, az ezekre vonatkozó algoritmusok kidolgozása, az algoritmusok hatásságának vizsgálata csak a valószínűségszámítás axiómatikájának, a sztochasztikus folyamatok elméletének, a matematikai statisztikának és a matematikai logikának eszközeivel és módszereivel lehetséges. Az információ továbbítása, tárolása és feldolgozása, az információelméleti algoritmusok gyakorlati megvalósítása jelek zajban való vételének és felismerésének vizsgálatánál, jelparaméterek becslésénél, jelek szűrésénél és előrejelzésénél a statisztikai hipotézisvizsgálat felhasználását teszi szükségessé.

A hírközléssel szemben támasztott egyre fokozódó igények kielégítése szükségessé teszi az egész Földet átfogó egységes hírközlési rendszer kialakítását. A Földet jelenleg átfogó rendszer az egyes országok nemzetközileg koordinált hírközlő hálózatainak összekapcsolásából áll, amelynek teljesítő-képessége korlátozva van. Az országos rendszerek összekapcsolásánál kompatibilitási problémák merülnek fel, amelyeket csak a Föld egészét átfogó rendszer teljes átgondolásával lehet megoldani.

A teljes rendszer alapja olyan egységes hírközlési gerinchálózat, amely biztosítja a kontinensek közti és a kontinenseken belüli nagy sebességű, nagy mennyiségű információátvitelt és rendelkezik olyan kapcsolócentrumokkal, amelyek az információ szétesztását megfelelő sebességgel biztosítják.

A kontinensek közti összeköttetést nagy sebességű és nagy információ-mennyiséget hordozó műholdas reléállomásokkal lehet biztosítani. A kontinenseken belüli nagy távolságú távközlő rendszerekben mind műszaki, mind gazdaságossági szempontok alapján ugyancsak jelentős szerepet kaphat a műholdas hírközlés.

Kontinenseken belüli összeköttetések eszköze 5000 km-t meg nem haladó távolságokra továbbra is a nagykapacitású, szélessávú kábel és a szélessávú mikrohullámú rádióösszeköttetés.

Különösen nagyforgalmú helyek közti összeköttetés milliméterhullámú, csőtápvonalas rendszerekkel és üvegszállal vezetett lézer összeköttetésekkel oldható meg.

A hang- és kép-információközlésre jellemző, hogy nemcsak a szükséges információmennyiséget tartalmazzák, hanem tartalmazznak ezen túlmenő elemeket is. Például telefonbeszélgetések alkalmával jó minőségű összeköttetés esetén a beszélő személy egyéni hangja felismerhető, tehát ennek alapján a beszélő személy identifikálható. Átviteli szempontból feltétlenül gazdaságosabb lenne egy, a közlendő információt hordozó szűkebb sáv alkalmazása, amikor is a személyre vonatkozó információt egy közlés, a telefonbeszélgetésnél amúgy is szokásos bemutatkozás helyettesítené. Ugyanakkor azonban fennáll az az általános igény, hogy a telefonbeszélgetés során az egyéni hang felismerhető legyen. Az információközlésnek ez a módja tehát redundáns. Erre a redundanciára a gyakorlati hírközlésben feltétlenül szükség van, mert az átviteli út zajossága, torzítása, jelkiesése esetén is biztosítja az információ megértését. Maga az emberi beszéd is redundáns, mert hiszen egyes hangok, sőt szavak kiesése esetén az összefüggő szavakból álló mondat segítségével az információ kielemezhető.

A képátvitelnél fellépő torzítások, jelkiesések egy bizonyos fokig az alapinformációt nem zavarják, de amennyiben pl. televízióközvetítésről van szó, az élvezhetőséget erősen csökkentik. Ugyanez vonatkozik zenei műsor átvitelére is.

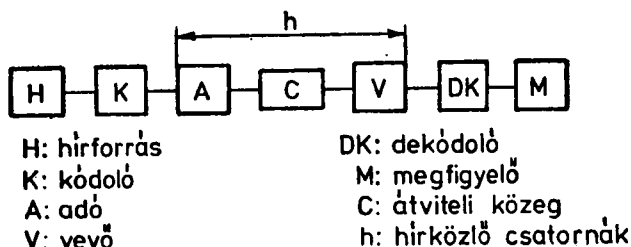
A gépi jelek átvitele, akár táviratozásra, akár géptávíróra, akár gépi adatátvitelre gondolunk, lényegében kódokkal történik.

Morsejeleknél a kód hosszabb és rövidebb jelekből álló jelsorozat, géptávírónál egy ötös jelkombináció, gépi adatátvitelnél pedig az átvitt adattól függő jelkombináció. Az információt hordozó kódolt jelek átviteléhez segédinformációs jelek is tartoznak, amelyek információt adnak a szinkronizáló jel számára az időpontra vonatkozóan, továbbá a távkezelő, illetőleg a távkapcsoló rendszer számára és az esetleges jelmeghibásodás korrigálása céljából

A gépi adatok átvitelénél az átviteli út hibái miatt mesterséges redundanciát kell bevezetni, olyan mesterséges redundanciát, amelynek elemzésével az eredeti információ feltárható, illetve annak hibás vagy hibátlan volta felismerhető. Egyszerű példaként megemlítem, hogy a géptávíró-összeköttetések-nél alkalmazott ötös jelkombinációt zavart rádiócsatornán való átvitelnél két többlet-jellel kiegészítik, tehát összesen hetes jelkombinációt alkalmaznak. A hetes jelkombinációból képzett mátrix elemzése választ ad arra a kérdésre, hogy a kapott információ beleesik-e abba a jeltartományba, amely adott esetben az információközlés jelkészletét alkotja. Amennyiben nem, úgy a gép az információ megismétlését kérheti.

Az országos és a nemzetközi számítógépes összeköttetések iránti igények fokozódása következtében elkerülhetetlenné válik a nagy mennyiségű adat továbbítására szolgáló távközlő hálózatok létesítése, ami a digitális hírközlés felé való intenzív eltolódást vonja maga után. A digitális hírközlés technikai





1. ábra

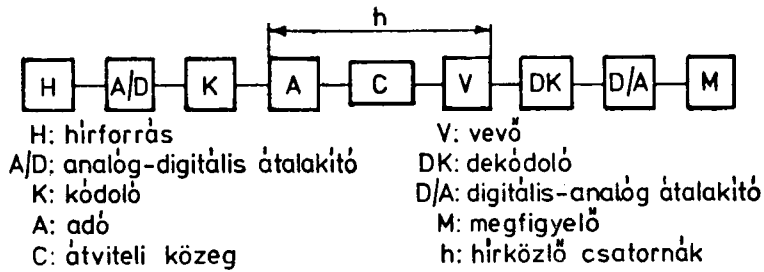
eszközeinek rohamos fejlődése lehetőséget ad integrált hírközlő hálózatok létesítésére, amelyekben a csatornanyalábolás és a kapcsolás azonos elveken és azonos szerkezeti elemekkel valósul meg. A beszédjelnek és a televíziós képjelnek digitális eljárással (PCM) való továbbítására az amerikai Bell cég az 1960-as évek közepén kidolgozta a 224 Mb/sec. sebességű, nagykapacitású kísérleti berendezését, amely kódmodulált távbeszélőcsatornák és televíziós képek továbbítására egyaránt alkalmas.

Egyre inkább fokozódik a kódmoduláció gyakorlati felhasználása, analóg jeleknek digitális eljárásokkal való továbbítása. Attól függően, hogy a hírforrás által előállított  $x(t)$  elektromos jel az időnek folytonos függvénye-e vagy csak meghatározott (diszkrét) időpontokban vehet fel értékeket, megkülönböztetünk időben folytonos és időben diszkrét jelet. Az analóg jelek egy előírt amplitúdó-tartományon belül minden hullámalakot (vagy minden amplitúdóértéket) felvehetnek. Analóg jel esetén a hírforrás által keltett jellel arányos a továbbítani kívánt elektromos jel (innen az analóg elnevezés).

Digitális jel esetén az elektromos jelet csak véges hosszúságú időintervallumokban értelmezzük. A digitális jel bármelyik időintervallumon belül csak végesen sok időfüggvény egyikével lehet azonos. Szorosabb értelemben vett hírközlés esetében a hangból a mikrofonnal vagy a képből a kamerával keltett elektromos jel analóg jel. A továbbítani kívánt táviratból vagy valamilyen adatsorozatból előállított elektromos jel pedig digitális jel. A gyakorlatban minden analóg jel digitális jellé alakítható, az értelmezési tartományban mintavétel, az amplitúdótartományban pedig kvantálás és kódolás alkalmazásával. A mintavétel, a kvantálás és a kódolás műveletét analóg/digitális átalakítók végzik. A digitális hírközlés tömbvázlatát az 1. ábra szemlélteti.

Analóg/digitális hírközlés esetén a hírforrás analóg jelet ad, amelyet a csatorna bemenetén digitális jellé alakítunk, a csatorna kimenetén pedig a megfigyelő feldolgozására alkalmas analóg jellé alakítunk vissza.

Az analóg/digitális hírközlés vázlata a 2. ábrán látható. Ebben az esetben is a hírközlő csatornának digitális jelek továbbítására alkalmasnak kell lennie. Az analóg/digitális hírközlésre példák azok a hírközlő rendszerek, amelyek a hangból (beszédből vagy zenéből), továbbá a televíziós képből a hírforrás által



2. ábra

keltett elektromos jelet a digitális hírközlés elvén – kódmodulációs eljárások alkalmazásával – továbbítják.

Analóg elektromos jelnek digitális jelként való továbbítása esetében a kvantálást a kódolás művelete követi. Kódolásakor az időben és amplitúdóban diszkrét jelmintákat valamilyen alkalmas kódábécé felhasználásával kód-szavakká alakítjuk és azokat az adott információközlő csatornához csatlakoztatjuk.

Ha kettes alapú kódábécét (2-es számrendszert) választunk, akkor:

$$q = 2^r \quad (1)$$

és

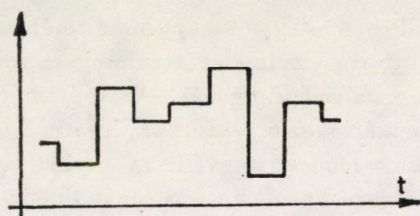
$$r = \log_2 q. \quad (2)$$

Például beszédjel továbbítása és bináris kódábécé alkalmazása esetében, impulzus-kódmodulációs, ún. PCM rendszerben, 7-jegyű kódok (7-elemes kódszavak) esetén 128, 8-jegyű kódok esetén pedig 256 amplitúdószintet különböztethetünk meg. Ha a kvantálás után kapott digitális jelsorozatot kódoljuk, akkor a  $q$  amplitúdóérték helyett lényegesen kevesebb, bináris kódábécé esetén  $r$  számú bitet kell megkülönböztetni.

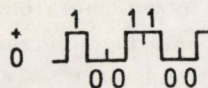
Felmerül az a kérdés, hogy zajos információközlő csatornában, meghatározott jel/zaj viszony esetén milyen alapú kódábécét válasszunk (vagyis a kódjelnek maximálisan hány amplitúdófokozata lehet), hogy a zaj ne okozzon hibát. Zajos hírközlő csatornában a megkülönböztethető szintek maximális száma:

$$b_{\max} = 1 + \frac{P}{N}, \quad (3)$$

ahol  $P$  a jelteljesítmény,  $N$  pedig a zajteljesítmény. Adott jelteljesítmény esetében tehát annál nagyobb zajt engedhetünk meg, minél kisebb a  $b$  szint-szám. A legkisebb jel/zaj viszonyt ( $P/N = 3$ ) bináris kódábécé ( $b = 2$ ) esetében kapjuk. A  $b_{\max}$  esetében az egységnyi idő alatt továbbított hírmennyiséget



3.a ábra



3.b ábra

Shannon-féle csatornkapacitásnak nevezzük és  $C$ -vel jelöljük:

$$C = B \log_2 \left( 1 + \frac{P}{N} \right), \quad (4)$$

ahol  $B$  a sávszélesség. A  $C$  mennyiség annak számszerű kifejezése, hogy a  $B$  sávszélességű információközlő csatornán előírt  $P/N$  jel/zaj viszony esetén hány bit-et lehet maximálisan átvinni egységnyi idő alatt hibamentesen.

Ha a továbbítani kívánt jel sávszélessége  $B_0$ ,  $T$  idő alatt összesen  $n$  mintát veszünk és minden egyes jelminta  $q$  lehetséges amplitúdószintjét  $r$  bináris elemmel reprezentáljuk (vagyis minden egyes jelmintát  $r$ -jegyű bináris kódszóvá transzformálunk), akkor a továbbítani kívánt hír mennyisége  $T$  idő alatt:

$$I = n r. \quad (5)$$

A mintavétel alaptételének értelmében azonban:  $n = 2B_0T$ . Az (1) és (2), továbbá az (5) összefüggés alapján:

$$I = 2B_0T \log_0 q. \quad (6)$$

A (6) összefüggést Hartley-összefüggésnek (az információmennyiség Hartley-féle mértékének) nevezzük. Az egységnyi idő alatt továbbított információmennyiség pedig az információközlés sebessége:

$$R = I/T = 2B \log_2 q. \quad (7)$$

Az információközlés sebességének mértékegysége: bit/sec. Egy bit/sec vagy egy baud másodpercenként egy döntéssel egyenlő. A (7) összefüggés a távíróátvitelből ismert. Az információközlés sebességének egyenlőnek kell lennie a csatornkapacitás számértékével:

$$R = C = 2B_0 \log_2 q = B \log_2 \left( 1 + \frac{P}{N} \right). \quad (8)$$

Digitális jel tipikus hullámalakját a 3.a ábra, unipoláris impulzusokat és bináris kódábécét alkalmazó kódjel hullámalakját pedig a 3.b ábra szemlélteti.

A hírközlés matematikai elméletével az információelmélet foglalkozik.

Az információelméletet Shannon 1948-ban és 1949-ben publikált két erre vonatkozó munkája alapozta meg. Az információelmélet területei az információközlés, az információátvitel és információfeldolgozás. Az információelmélet egyrészt az információforrások, információközlő csatornák, információátvitelő és feldolgozó rendszerek sztochasztikus modellezésével, az ezekre vonatkozó algoritmusok kidolgozásával és az algoritmusok hatásosságának vizsgálatával foglalkozik. A továbbítani kívánt információkat, információközlő csatornákat információelméleti mennyiségekkel jellemzi. A hírközlélmélet matematikai apparátusa az információelmélet axiomatikus felépítésével is foglalkozik. Az információelmélet a valószínűségszámítás axiomatikájára, a sztochasztikus folyamatok elméletére, a matematikai statisztikára, továbbá a matematikai logikára támaszkodik.

A hírközlésben az információ továbbítása, tárolása és feldolgozása, továbbá az információelméleti algoritmusok gyakorlati megvalósítása sok olyan problémát vet fel, amelyek ugyan nem tartoznak a szorosabb értelemben vett információelmélet tárgykörébe, de ahhoz igen közel állnak. Ilyen témakör a jelek felismerése és vétele zajban, jelparaméterek becslése, jelek szűrése és előrejelzése. Ezek a problémák statisztikai hipotézisvizsgálatot igényelnek és a sztochasztikus folyamatok statisztikájában új irányzat kibontakozását indították el. Az adaptív vevőkkel, a számítógépes tanuló-felismerő rendszerekkel és algoritmusokkal kapcsolatos problémák szintén a folyamatok statisztikájának apparátusát igénylik. Az optimális kódok, kódstruktúrák, továbbá dekódolásra vonatkozó algoritmusok konstrukciójához és hatásosságuk vizsgálatához az absztrakt algebra apparátusa szükséges. Jeleknek lineáris és nemlineáris csatornákon való továbbításakor keletkező torzítások vizsgálata (analog és digitális jelek továbbítása esetében egyaránt) a sztochasztikus folyamatok többszörös leképzési rendszereinek vizsgálatát és optimálását teszi szükségessé.

A jeltovábbítás során a zajok és torzítások módosítják a jelet. Ennek következtében a hírközlési feladatok megoldása során a hírközlő csatorna vételi oldalán az alábbi két problémával állunk szemben: jelek vételével zajban, továbbá jelek felismerésével és jelparaméterek becslésével zajban. Minden digitális csatorna valamilyen döntési eljárást foglal magába, mivel a jeltovábbítás során a zaj és torzítás módosító hatása a vett jelet bizonytalanná teszi. A vett jel megfigyelése alapján dönteni kell, hogy a megfigyelési intervallum végén a csatorna kimenetén a lehetséges alternatívák közül melyiket kell választani. A döntő eszköz a jel megfigyelése alapján időszakra időszakra a digitális jel soron következő értékét állítja elő. Digitális jel felismeréséhez az szükséges, hogy adott hipotézisek közül az egyiket elfogadjuk. A digitális jel felismerése tehát egyfajta hipotézis-vizsgálati feladat. Döntésnél általában a minimális hibaválósínséggel való döntésre törekszünk. Az egyik fajta döntési eljárás digitális jeleknek zajban való vétele esetén a Bayes-próba.

Ennek lényege, hogy feltételezzük az *a priori* eloszlás ismeretét, feltételezzük továbbá, hogy ismerjük a helyes, illetve hibás döntések következményeit, a döntési sémát pedig a minimális kockázat elve alapján határozzuk meg. A Bayes-próba a különféle döntéseket súlyozással veszi figyelembe.

Jeleknek zajban való felismerése során, különösen olyan döntési feladatoknál, amelyeknél semmi közelebbit nem tudunk arról, hogy a vizsgált hipotézisek milyen sűrűn fordulnak elő (pl. rádiólokációs feladatoknál), a Neyman – Pearson-próba alapján való döntési eljárás használható előnyösen. A Neyman – Pearson-próbával való vizsgálat abban különbözik a Bayes-próba esetétől, hogy az előbbinél a döntési küszöbértéket előírt szint alapján jelöljük ki. A Neyman – Pearson próbával való hipotézisvizsgálat esetén is a valószínűségi hányados alapján kell dönteni.

Az utóbbi másfél évtizedben különböző statisztikai, kombinatorikai és algebrai, továbbá képfajták speciális tulajdonságain alapuló módszereket dolgoztak ki képeket leíró adatok tömörítésére. A képkódolás információelméleti lehetősége kétféle feltétel mellett realizálható:

1. kétdimenziós, a képek síkbeli redundanciáját szabadon hasznosító kódolás,
2. soronkénti letapogatáshoz kötött kódolás.

Képek kétdimenziós kódolásának információelméleti vizsgálatából a soronkénti letapogatás kódolási eljárása is leszármaztatható egyszerű eszközökkel.

A soronkénti letapogatás jellemzője, hogy kódolással a képnek csak egy-egy sor mentén fennálló redundanciáját tudjuk csökkenteni, különböző sorok szomszédos szakaszainak redundanciáját azonban nem.

A legjobb kétdimenziós kódolás kb. feleakkora sávszélességet igényel, mint a legjobb soronkénti kódolás. Ezzel szemben a soron belüli kódolás lényegesen egyszerűbb, mivel sokkal kisebb a memóriagénye.

Képek kódolásánál az információelméleti lehetőségek gyakorlati hasznosítására jó lehetőséget adnak a predikciós vagy interpolációs képkódolási módszerek. Ilyen célra előre rögzített paraméterű és adaptív módszerek különféle fajtái ismeretesek.

Erősen redundáns folyamatok (jelek), mint pl. a televíziós képjel kódolására igen előnyösek a prediktív kvantálást alkalmazó differenciál impulzus-kódmodulációs (DPCM-PQ) módszerek, mivel ebben az esetben az optimális lineáris jóslás gyakorlatilag is aránylag könnyen realizálható. A DPCM-PQ rendszereknek két változata ismeretes. Az egyik variáns egy adott mintavételi időpontban a pontos és az utána következő időpontban a lineárisan jósolt amplitúdóérték közötti különbséget kvantálja, majd kódolja. A második típusú eljárás egy és ugyanazon mintavételi időpontban hasonlítja össze a pontos és a lineárisan jósolt amplitúdóértéket. Ezután az amplitúdókülönbséget kvantálja, majd kódolja.

Információközlésnél az információnak a továbbítás során bekövetkező, a zajok és zavarok által okozott hibás vétele hibajavítást tesz szükségessé. Ebből a szempontból lényeges könnyítést jelent, ha az adót a vétel helyességéről valamilyen alkalmas visszacsatolás (ellenkező irányú csatorna) felhasználásával tájékoztatjuk. A visszacsatolást vezérelheti az analóg csatorna kimeneti jellemzője, vagy a demodulátor kimeneti jele (a döntés eredményével).

Az előbbi esetben a visszacsatolást információ-visszacsatolásnak, az utóbbiban pedig döntés-visszacsatolásnak nevezzük. Földfelszíni összeköttetések esetén a döntés-visszacsatolásnak van nagyobb jelentősége, különösen digitális összeköttetések esetében. Döntés-visszacsatolásnál a főirányú csatornán hatékony kódolás és információátvitel szükséges, viszont a visszairányú csatorna időszakos igénybevétele is elegendő a megbízhatóság lényeges növeléséhez. Ezen az elven működnek a klasszikus és a legújabb automatikus visszakérdező (ARQ) rendszerek. Ilyen rendszerekben bizonytalan vétel esetén a vevő az adótól a közlemény kritikus szakaszának megismétlését kéri. A tengertüli összeköttetések ezt az elvet már régóta sikeresen alkalmazzák. Digitális információ továbbításakor a hibajavítás másik módszere hibajavító kódok alkalmazása.

Hibajavító kódok alkalmazásával „redundanciát viszünk be” a továbbítani kívánt üzenetbe. Hibajelzés esetén arra törekszünk, hogy a meg nem engedett szimbólum-sorozatok felismerésével a hibák legnagyobb része azonosítható legyen. Hibajelzésnél a hibát a közlemény egy részének ismétlésével tudjuk javítani. Hibajavítás esetében az a feladat, hogy a hibák előírt részét azonosítsuk. Hibajavításhoz ellenkező irányú csatorna és az adás ismétlése nem szükséges.

Nagy valószínűséggel állítható, hogy a jövőbeni trendek a hírközlő hálózatban a számítógépes vezérlés nagymértékű előretörése felé mutatnak. Nagy valószínűséggel várható továbbá, hogy a különböző szolgáltatások (telefon, televízió, adatátvitel) kódmodulációt alkalmazó, digitális globális hálózatok realizálásával valósulnak meg.

A berendezéseket tekintve a félvezetősisítés nagyarányú előretörésére, az integrált szilárdtest áramkörök és a mikrohullámú integrált áramkörök széleskörű alkalmazására lehet számítani.

**Digital Telecommunication.** Due to the increased requirements in telecommunication, the research in this field can not dispense with the comprehensive, intensive application of information and telecommunication theories. The stochastic modelling of information sources, information transmitting channels, information storing and processing systems, the elaboration of the respective algorithms, the examination of the efficiency of these algorithms are possible only with the means and methods of the axiomatics of probability calculus, the theories of stochastic processes, mathematical statistics, mathematical logics. The transmission, storing and processing of the information, the practical realization of the algorithms of information theory in the reception and recognition of signals in noise, estimation of signal parameters, filtering and prediction of signals require the use of statistical hypothesis investigation.

**Digitale Nachrichtenübertragung.** Zufolge der an die Nachrichtenübertragung gestellten erhöhten Anforderungen können die bezüglichen Forschungen die weitgehende, intensive Anwendung der Informationstheorie und der Nachrichtenübertragungstheorie nicht entbehren. Stochastische Modellierung von Informationsquellen, informationsübermittelnden Kanälen, informationsspeichernden und -verarbeitenden Systemen, Ausarbeitung der diesbezüglichen Algorithmen, Untersuchung der Effektivität derselben sind nur mit den Mitteln und Methoden der wahrscheinlichkeitstheoretischen Axiomatik, der Theorie der stochastischen Vorgänge und der mathematischen Logik möglich. Die Weiterleitung, Speicherung und Aufarbeitung der Information, die praktische Verwirklichung der informationstheoretischen Algorithmen bei dem Empfang und der Erkennung von Signalen im Geräusch, der Schätzung von Signalparametern, der Filterung und der Vorhersage von Signalen erfordern die Anwendung der statistischen Hypothesenuntersuchung.





# A KOMPLEX KÖNNYŰSZERKEZETES ÉPÍTÉSI MÓD KÖZPONTI FEJLESZTÉSI PROGRAMJÁNAK TUDOMÁNYOS FELADATAI

SZABÓ JÁNOS

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

A könnyűszerkezetes építési mód bevezetésének kutatási célprogramja a kutatást sok tekintetben újszerű — az építőipar magasfokú iparosítását szolgáló — feladatok megoldása elé állítja. A kutatási tevékenység szerves része a könnyűszerkezetes építési mód bevezetését célul kitűző kormány szinten kiemelt központi fejlesztési programnak. A célprogramba felvett kutatások — beleértve az alap és alkalmazott kutatásokat — komplexen kiterjednek az építési mód minden lényeges területére, így tartalmazzák többek között az anyagok és szerkezetek, az építési rendszerek, az iparosított gyártóbázisok és szervezetek, a gazdasági hatékonyság kérdéseinek megoldásával összefüggő kutatási feladatokat. A kutatási program figyelembe veszi az iparilag fejlett országok könnyűszerkezetes építési tapasztalatainak átvételét és kiemelten támaszkodik a KGST tagországok két és sokoldalú együttműködési lehetőségeire.

## 1. A kutatási és fejlesztési program kapcsolata

A Kormány 1970 decemberében hozott határozatával a komplex könnyűszerkezetes építési mód bevezetését kormány szinten kiemelt központi fejlesztési programmá minősítette. A programhoz kapcsolódó kutatási-fejlesztési feladatokat az Országos Távlati Tudományos Kutatási Terv 4. sz. célprogramja foglalja magába. A célprogram a fejlesztési program kutatási része, és ez határozza meg a kutatási célprogramban kitűzendő és megoldandó feladatokat.

A könnyűszerkezetes építési mód fejlesztési programja sok tekintetben újszerű problémák elé állítja az építőipart. Ezek egyike, hogy a termelés mennyiségi bővítésének extenzív módszerei az építőiparban is kimerültek, az intenzív fejlesztési módszerekre való áttérés pedig azt a követelményt támasztja, hogy olyan szerkezeti megoldásokra — és ezzel együtt olyan alapanyagokra — kell áttérni, amelyek az eddigieknél lényegesen kisebb társadalmi munkaráfordítással, vagyis magasabb termelékenységi szinten állíthatók elő a korábbi, hasonló célt szolgáló szerkezeteknél. A kifejlesztendő szerkezeti rendszer elemeinek gyártására a nagyüzemi tömegtermelés módszerei és hatékonysága jellemző. Az építés — főleg az építéshelyi tennivalók — más rendszerekhez viszonyítva kevés élőmunka ráfordítást igényel, jellegében szerelési feladattá válik.

A nagyüzemi jellegű tömegtermelés megvalósításának két előfeltétele van: az egyik, hogy maguk a termékek egyáltalán alkalmasak legyenek a sorozatgyártásra, a másik, hogy az egyes termékekből elegendően nagy mennyiségre legyen folyamatosan szükség, tehát hogy gazdaságilag is indokolt legyen a megfelelő gyártósorok, célgépek munkába állítása.

Ez a két követelmény -- a nemzetközi tapasztalatok és a hazai műszaki-gazdasági elemzések szerint -- akkor elégíthető ki, ha egyrészt a készítendő szerkezeteket a szilikátbázisú építőanyagok ésszerű alkalmazása mellett döntően fémekből (acélból vagy alumíniumból), különböző műanyagokból (lemezekből, profilokból vagy habokból) és néhány más alapanyagból (azbesztcementből, fából vagy faalapú anyagokból, gipszből, üvegből stb.) állítják elő, másrészt, ha az ezekkel készülő épületeket nem esetenként és egyedileg tervezik meg, hanem „építési rendszereket” alakítanak ki, és egyidejűleg létrehozzák azokat a szerkezeti kereteket, amelyek az építési rendszerek alapján történő építést lehetségessé és hatékonyá teszik.

Ennek megfelelően a fejlesztési program céljai az alábbiakban foglathatók össze:

- az építési rendszerek kidolgozása;
- gyártókapacitások kialakítása a rendszerkomponensek előállítására; kivitelezői és vállalkozói szervezetek létrehozása az egyes építési rendszerek szerinti épületek megvalósítására.

A kutatási célprogramnak hozzá kell járulnia a fejlesztési program mindhárom fő céljának megvalósításához.

Az építési rendszerek kidolgozása elsősorban műszaki-tervezési feladat. Nem választható azonban külön a rendszerekben alkalmazott szerkezetek kialakításának kérdéseitől, amelyeknél szükségképpen a gyártás szempontjai is érvényre kell hogy jussanak. A kormányhatározat előírja, hogy a komplex könnyűszerkezetes építési mód bevezetésében nagy mértékben fel kell használni az iparilag fejlett országok tapasztalatait licencek és know-how-k vétele formájában. A kutatás-fejlesztés feladata ezért ezzel a célkitűzéssel kapcsolatban úgy jelentkezik, hogy meg kell határozni a licencvásárlás útján megoldható kérdések körét, a hazai kutatásokat pedig az ezek után még nyitva maradó kérdésekre kell koncentrálni.

A gyártókapacitások kialakítása elsősorban beruházási-iparfejlesztési feladat. E célkitűzés megvalósításában is támaszkodni kell a know-how-k vagy licencek útján megszerezhető ismeretekre; a hazai kutatás-fejlesztés célja az előbbi ismeretek megszerzése mellett főleg a gyártástechnológiák honosítása.

A kivitelezői és vállalkozói szervezetek létrehozása főleg szervezési feladat. A hazai kutatás-fejlesztés feladata ezzel a célkitűzéssel kapcsolatban főleg a megfelelő szerkezeti formák és gazdasági feltételrendszerek kimunkálása, kiegészítve a kivitelező szervezetek szereléstechológiai felkészítésével összefüggő kutatásokkal.

Jelentkeznek ezeken kívül egyes, a program egészét érintő problémák, elsősorban az iparpolitikai döntéseket megelőző vizsgálatok, amelyek szintén a kutatási-fejlesztési program részét képezik.

A továbbiakban részletesen foglalkozunk az egyes célkitűzésekkel, illetve a program egészét szolgáló kutatási-fejlesztési munkákkal.

## 2. Az építési rendszerek kidolgozását szolgáló kutatások

Az építési rendszerek keretében történő tervezés, gyártás és kivitelezés szükségszerűségének elismeréséhez egyfelől a megfelelő gyártási sorozatnagyságok követelménye vezetett el, másfelől pedig az az igény, hogy az adott szerkezeti elemekből viszonylag nagy számú, különböző épület legyen összeállítható, tehát az, hogy a tömeggyártás termelési feltételeinek kielégítése ne vezessen kényszerűen néhány típusépület tömeges alkalmazásához. Ennek az igénynek a kielégítése tette szükségessé azokat a rendszertervezés módszertanára vonatkozó kutatásokat, amelyek eredményeként alakult ki jelenlegi felfogásunk az építési rendszerekről.

E felfogás alaptézise, hogy egy rendszer akkor tekinthető valóban építési rendszernek, ha az valamilyen forgalmazó szervezethez kötött, és célja a számos konkrét esetben (tervben) való hasznosítás. A rendszer emellett definíciószerűen a részrendszerek koordinált együttese. Építési részrendszeren az épület elemeinek azokat a jellegzetes csoportjait értjük, amelyek az épület együttesében meghatározott részfunkciót töltenek be, így beszélhetünk

- a vázszerkezet,
- a külső falak,
- a külső nyílászárók és árnyékolók,
- a belső válaszfalak és belső nyílászárók,
- az álmennyezetek,
- a felső födém,
- a közbülső födémelek,
- a lépcsők,
- a fűtés,
- a szellőzés vagy klimatizálás,
- a világítás és energiaátvitel, hírközlés,
- a víz-, gáz-, csatornaellátás

részrendszeréről.

Egy adott rendszer valamely részrendszerében természetesen szerepelhetnek különböző, egymást helyettesítő variánsok — éppen ezek adnak lehetőséget a különböző igényszintek kielégítésére a rendszeren belül — azt azonban nem kívánjuk meg, hogy különböző variánsokhoz tartozó elemek egymással

kombinálhatók legyenek. Feltételünk csupán annyi, hogy a részrendszerben szereplő bármelyik variáns — a saját elemeivel — illeszthető legyen a rendszer más részrendszereihez.

Voltaképpen az építési rendszer léte éppen abban jut kifejezésre, hogy a nagyszámú variációs lehetőség közül, amelyekkel az egyes részrendszerekben található variánsok egymással kombinálhatók, kiválasztásra kerültek a ténylegesen alkalmazandó változatok és kidolgozták e változatok konkrét műszaki megoldásait.

A rendszertervezési módszertani kutatások kiterjedtek a „nyílt” vagy „zárt” rendszerek alkalmazásának kérdéseire is. E tekintetben fontos elvi eredmény, hogy a nyílt vagy zárt megjelölés alkalmazása különböző kritériumokra vonatkozhatik. Szerkezeti kritérium szempontjából például *zárt* az a rendszer, ahol az elemek mérete és alakja meghatározza azok helyét az épületben, így csak kevés számú változat építhető; *nyílt* rendszer viszont az, amelynek elemei, részrendszerei a modulkoordináció útján egymással kombinálhatók és az elemek önmagukban nem határozzák meg sem az épület rendeltetését, sem alaprajzát, sem méretét. A nyíltság vagy zártság más kritériuma a minőség változtathatósága. Ez lényegében a részrendszerekben szereplő, egymást helyettesítő variánsok kisebb vagy nagyobb számától függ. A nyíltság vagy zártság harmadik kritériuma a szervezeti szempontból való kötöttség mértéke (a kombinátban való gyártás például szervezeti szempontból zárt rendszert jelent).

A fenti megfontolások alapján beszélhetünk például szerkezeti és minőségi szempontból nyílt, szervezeti szempontból viszont zárt rendszerről. Ez az elemzés azt a konklúziót is magával hozta, hogy egy rendszer valamely kritérium szerinti nyíltsága nem feltétlenül előny és a zártság nem feltétlenül hátrány, az adott építési feladat megoldása szempontjából lehet keresni és találni optimális variánst a rendszernek a különböző kritériumok szerinti nyitottságára vagy zártságára.

Az építési rendszerek egyik döntő kérdése a méretkoordináció. Ez teszi lehetővé, hogy a különböző részrendszerek önmagukon belül, valamint a részrendszerek a rendszeren belül egymással koordinált egységgé állhassanak össze. A tervezés-módszertani kutatások kiterjedtek a méretkoordináció egyes elvi kérdéseire is. A 10 cm-es alapmodulus elfogadása mellett a kezdő multimodulusok képzésére az ISO és KGST szabványok felhasználásával az 1, 3, 2, 5 sort fogadták el ( $1 \times 10 = 10$ ,  $3 \times 10 = 30$ ,  $2 \times 30 = 60$ ,  $5 \times 60 = 300$  cm-es multimodulusok). A moduláris elemek méreteinek meghatározására a — méretsor („szőnyegelv”) szerinti, illetve a — méretkombináció elve szerinti meghatározást dolgozták ki.

A méretsor elve szerinti meghatározás a lineáris elemeknél kerül alkalmazásra, lényege, hogy az egyes méretlépcsők (például a gerenda lehetséges

hosszméretei) valamelyik multimodulussal, mint közös osztóval rendelkező számsorra illeszkednek.

A méretkombináció elve viszont a kvadratikus elemek méretlépcsőinek meghatározásánál kerül alkalmazásra olyan módon, hogy az elemek az egyik irányban a méretsor elve szerinti lépcsőkkel rendelkeznek, a másik (az előbbire merőleges) irányban viszont 2—3—4 olyan méret határozandó meg, amelyek kombinálásával — a kritikus méret felett — minden moduláris távolság kirakható.

A rendszertervezés elvi kérdéseinek tisztázása mellett meghatározták az egyes részrendszerek kidolgozásának kritériumait, különös tekintettel a rendszerdokumentációk egyik fő alkotó részére, a katalógusra. Ennek rajzi anyagát tekintve az „összerakó rajzoló rendszer” elvét fogadták el. Ez az elv a gyakorlatban azt jelenti, hogy az alkatrészek tervei alapján gyártmánytervek, ezekből félkésztermék-tervek, majd a szerelési egységek terve, végül a szerelési egységek összeállítási terve készül el. A tervek felépítése tehát az elemtől az összetett egység felé halad, ugyanakkor a tervek utasításokat mindig csak fordított irányban tartalmazhatnak, tehát az alsóbb szintű terveken nem lehet utasítás a magasabb szintű tervek felé.

A katalógus másik fontos részét képező, az elemeket meghatározó és a számítógépi feldolgozás számára alkalmassá tevő kódszámokat, illetve azok rendszerét, a kódrendszert illetően vizsgálták a „beszélő” és az „azonosító” kódrendszerek felhasználásának lehetőségét. A „beszélő” kódok — ahol tehát a kódszám minden jegyének meghatározott értelme van, — elvileg igen alkalmasak lennének arra, hogy a gyártás programozása is ezekre épüljön, de gyakorlatilag alkalmazhatatlanok a szükségessé váló számjegyek nagy száma miatt. Az „azonosító” kódok — amelyek gyakorlatilag csak egyszerű sorszámot jelentenek, — egyrészt kevesebb számjegyet tesznek szükségessé a kódban, másrészt a gépi memóriában kevesebb helyet foglalnak el (nincsenek „üres” kódszámok), viszont semmiféle rendszerezési lehetőséget nem nyújtanak. Ezért a kialakult álláspont szerint vegyes kódrendszert célszerű alkalmazni, amelyben a kódszám 1÷2 helyértéke értelmezett (beszélő), a többi helyérték viszont már azonosító sorszám jellegű.

A kódrendszer kérdése már közvetlenül átvezet a rendszertervezés egy másik alapvető kérdéséhez, a tervezés számítógéppel történő elvégzéséhez. Ebben a tekintetben kialakultnak mondható, hogy a számítógép segítségével végezhetőek el a különböző (statikai, épületfizikai) számítások „méretező programok” révén, az épülethez szükséges elemek összeválogatása a katalógusból a „konszignáló program” révén, majd a szerelési ütemterv, illetve a költségvetés elkészítése az e célokat szolgáló programok révén. Elkészíthetők továbbá a különböző konkrét alaprajzok, metszetek stb. a rajzó programok alapján. Vizsgálni kellett viszont a fenti feladatok megoldására alkalmas számítógépi rendszer kialakítását. A vizsgálat eredménye szerint a „nem kizárólag központi

számítógépre orientált” rendszer létrehozása célszerű, amelyben az adatbank és a fő program a központi számítógéphez tartoznak, a terminálok közötti kapcsolat off-line jellegű, az adatátvitelt pedig egy külön vezérgép biztosítja, amely kisebb műveletek elvégzésére is programozható. Ebben a rendszerben az adatátvitel nem a központi egység gépidejét terheli, így a viszonylag lassú adatátvitel nem befolyásolja a számítás sebességét, a még lassúbb kirajzolási műveletek pedig a végrehajtás szempontjából teljesen függetlenül vannak a központi géptől.

Az építési rendszerek kialakításával szorosan összefügg, és annak mintegy előfeltételét képezi azoknak az előírásoknak a kidolgozása, amelyek az egyes gyártott építőelemekkel szemben támasztott követelményeket rögzítik. Egy adott terméknek az említett előírásokban lefektetett követelményekkel való összevetése dönti ugyanis el, hogy az adott termék valamely építési rendszer rendszerkomponensként felhasználható-e vagy sem. Ez a körülmény tette indokoltá azokat az eléggé széleskörű és kiterjedt kutatásokat, amelyek egyelőre legalábbis a legfontosabb — részrendszerek követelményrendszerének kidolgozására irányultak.

A követelmények megfogalmazásában a teljesítményelv (performance analysis) érvényesül. Nemzetközi síkon az ISO is ennek az elvnek az érvényesítését szorgalmazza. Ennek az elvnek az alkalmazása a gyakorlatban azt jelenti, hogy valamely követelmény tekintetében lehetőség szerint több követelményszintet határozunk meg. A termékek minőségellenőrző vizsgálata során az kerül megállapításra, hogy a szóbanforgó termék az adott követelmény vonatkozásában melyik követelményszintet elégti ki. Annak eldöntése viszont, hogy a valamely követelményszintet elérő termék alkalmas-e egy konkrét épületben egy meghatározott helyen történő felhasználásra, az épület tervezése során az épület rendeltetésének, valamint az összes helyi körülmények mérlegelése útján történik. Ez az eljárás biztosítja a gyártmányfejlesztés kellő szabadságát a termékek mindenkor megfelelő minőségi színvonalának biztosítása mellett.

E célból megkezdődött hat különböző szerkezettypus:

- a külső térelválasztó falak,
- a belső térelválasztó falak,
- az álmennyezetek,
- a könnyű tető és födém szerkezetek,  
az árnyékolók és
- a nagyelemes homlokzatburkolatok

követelményrendszerének kidolgozása. A követelményrendszerek kidolgozása lényegében kétirányú kutatási tevékenységet tesz szükségessé. A kutatás egyik irányához tartozik annak vizsgálata, hogy egy adott építőelem kifogástalan felhasználhatósági feltételeiként egyáltalán milyen követelményeket kell támasztani. Ha az elemre vonatkozó követelmények már kialakultak, a következő lépésben meg kell határozni az ún. „szignifikáns tulajdonságokat,” tehát

azokat a mérőszámmal és dimenzióval jellemezhető mutatókat, amelyek bizonyos meghatározott értékének elérése esetében a követelményt kielégítettnek ismerjük el, végül a harmadik lépésben az igények és az anyagok nyújtotta tényleges lehetőségek reális egybevetésével meghatározzuk a követelményszinteket a szignifikáns jellemző különböző számértékeinek rögzítésével.

A kutatások másik, de az előbbihez szorosan kapcsolódó iránya azoknak a vizsgálati módszereknek a kidolgozása, amelyekkel objektíve és reprodukálható módon meg lehet állapítani, hogy egy adott termék a rá vonatkozó különböző követelmények mely követelményszintjeit képes kielégíteni.

A fenti célok érdekében folytatott kutatások során három fontos vizsgálati berendezés kifejlesztése történt meg. Így elsőként elkészült egy hő- és páratехnikai vizsgálatok végzésére alkalmas vizsgálati kamra. A kamrában — bizonyos ésszerű határok között — gyakorlatilag tetszőleges légállapotokat lehet létrehozni a vizsgálat céljából beépített és a kamrát ilyen módon két térféltre osztó határolószerkezet két oldalán. Ilyen módon a két oldalon beállított különböző légállapotok mellett lehetővé válik a vizsgált szerkezet felületén, illetve belsejében kialakuló hőmérséklet, páratartalom stb. vizsgálata, a hőhidak kialakulása, illetve hatása, a hézagokon áthatoló levegő mennyiségének mérése.

A külső térelhatároló szerkezetek akusztikai tulajdonságainak megállapítása céljából egy nagyteljesítményű, közelítőleg síkhullámot kisugárzó mobilhangforrást állítottak össze. Ezzel a könnyen mozgatható berendezéssel tényleges beépítési állapotban végezhetőek el a homlokzati elemek helyszíni akusztikai vizsgálatai. E vizsgálatok szolgáltatják az alapadatokat a zajhatásokkal kapcsolatban a telepítés és a beépítési mód függvényében kialakítandó követelményszintek megállapításához.

A harmadik fontos vizsgálati berendezés a homlokzati falak tűzterjedésének vizsgálatára szolgál. A tűzvédelmi kutatásokban élen járó nyugati országokban már több mint egy évtizede megkezdtek a homlokzati falak tűzállósági vizsgálatát célzó új módszerek kifejlesztését.

1973-ban a KGST tagországok is elfogadták a homlokzati tűzterjedés vizsgálatára szolgáló berendezés tárgyában kidolgozott javaslatot. E javaslat szerint a vizsgálati berendezésnek lehetővé kell tennie, hogy a homlokzati falelemeket legalább 2 szintben, a tényleges felhasználási feltételeknek megfelelően lehessen beépíteni a berendezésbe. A szentendrei kísérleti telepen megvalósulás alatt álló hazai berendezés kielégíti a KGST ajánlás előírásait.

Az eddigiektől lényegesen eltérő jellegűek, de ugyancsak az építési rendszerek kialakítását szolgálják az elvégzett, részben még folyamatban levő épületfunkcionális kutatások. Annak a kérdésnek az eldöntéséhez ugyanis, hogy egy adott épületben a megkívánt klímaviszonyok eléréséhez szükségesek-e épületgépészeti berendezések, és ha igen, milyenek, a következő tényezőket kell együttesen figyelembe vennünk:

- az épület mikroklímájára vonatkozó követelményeket;
- az épület meteorológiai környezetét;
- az épület építészeti és szerkezeti kialakítását;
- az épületben folytatott *használati* technológia milyenségét.

Nyilvánvaló, hogy amennyiben eldöntésre kerül a létesítendő épület rendeltetése és telepítésének helye, akkor ez a döntés meghatározza az épület számításbaveendő meteorológiai környezetét, továbbá az épületben folytatandó használati technológia — ipari, mezőgazdasági, társadalmi — jellegét, ezeket tehát a továbbiak szempontjából fix adottságnak kell tekinteni. A megoldás tehát lényegében egyfelől a mikroklímára vonatkozó követelményeknek, másfelől az épületszerkezeti megoldásnak és az épületgépészeti berendezésnek összehangolásában jelentkezik.

Az ezen a területen végzett kutatómunkák egyik csoportja a „társadalmi” jellegű használati technológiájú épületek, így iskolák, óvodák, bölcsődék klímaviszonyaival foglalkozott. Az ipari és mezőgazdasági használati technológiájú épületek e vizsgálatokban nem szerepeltek, mivel ezekben az épületekben — a szociális szempontok figyelembevételével mellett is — az üzemi technológiával összefüggő klimatikus követelmények a mértékadóak. A felsorolt építménycsoportokban végzett vizsgálatok viszont, amelyek kiterjedtek mind az épület hőtechnikai és akusztikai vizsgálataira, mind pedig a bennük foglalkoztatott személyek vizsgálatára, arra az eredményre vezettek, hogy — figyelembe véve a használati célból folyó működési feltételeket, mint például a nyári szünet létét az iskolákban — megfelelő szellőztetés és árnyékolás mellett könnyűszerkezetes épületekben is megfelelő klimatikus viszonyok érhetők el aktív klímaberendezések használata nélkül is.

Míg az épületfunkcionális kutatások a ténylegesen kialakuló mikroklímával kapcsolatos egyes kérdéseket igyekeztek tisztázni, addig a fizikai kutatások az épületek hőtechnikai méretezése terén világitottak rá új lehetőségekre. E kutatások kezdetben annak a fizikai ismeretnek a hasznosítására irányultak, amely szerint bizonyos anyagösszetételű és szemcsestruktúrájú festékanyagok, mint bevonatok alkalmazásával egészen más felületi hőmérséklet alakul ki egyes anyagokon (főleg fémeken), mint a bevonat nélkül, de egyébként azonos körülmények között. Megállapítást nyert, hogy a bevonatok hatása a bevonati anyag magas hőmérsékleti, illetve alacsony hőmérsékleti elnyelési, illetve kisugárzási tényezőjének számértékétől függ. Az ismereteknek már ez a szintje is lehetővé tette például a korábbiaknál lényegesen jobb hatásfokú árnyékoló szerkezetek kialakítását. A kérdés mélyebb elemzése viszont arra mutatott rá — és ez a vizsgálat jelenleg is folyik — hogy a könnyűszerkezetes épületek hőtechnikai méretezése során a valóságos helyzetet jobban megközelítő eredményeket kapunk akkor, ha nemcsak a határolófelületeken vezetés útján átáramló hőmennyiségeket, hanem a sugárzás útján felvett és leadott energiamennyiségeket is számításba vesszük.



### 3. Gyártókapacitások kialakítását szolgáló kutatások

A program megvalósítását szolgáló gyártókapacitások létrehozásánál jelentős mértékben érvényesült a kormányhatározatnak az a szempontja, hogy a kapacitásokat lehetőség szerint külföldön már kifejlesztett és bevált megoldások know-how-jainak, illetve licenccinek megvételével kell előkészíteni. Külföldi eljárások átvételére került sor a vázszerkezetgyártásban éppúgy, mint a határoló-, vagy nyílászáró szerkezet gyártásban. A hazai kutatások ennek megfelelően inkább kiegészítő jellegűek voltak és egy-egy részletkérdés megoldására irányultak.

A szilárdságtani kutatások területén a legjelentősebb tevékenység a magasított I-tartók rugalmas és képlékeny viselkedésének vizsgálata volt. E vizsgálatok a tartók rugalmas tartományban való viselkedése mellett kiterjedtek a képlékeny állapotra történő méretezésnél feltétlenül figyelembe veendő kapcsolt hatásokra, így a nyomaték és a nyíróerő, a nyomaték és a normálerő együttes hatására, a statikailag határozatlan magasított I-tartók viselkedésére, valamint e tartók stabilitási problémáira: a gerendák rugalmas kifordulására, képlékeny kifordulására és a gerinclemez horpadására.

A kutatások eredményeként tervezési irányelvet dolgoztak ki a magasított I-tartók rugalmas és képlékeny méretezéséhez.

Ugyancsak tervezési irányelvek kidolgozásában jutott kifejezésre annak a munkának az eredménye, amelyet a szendvics-szerkezetű falelemek teherbíró-képességének megállapításával kapcsolatban végeztek. Az irányelvek útmutatást adnak a kéreglemezek közötti teret kitöltő habanyagok számításvételére a teherbírás számítása során.

Az a körülmény, hogy a könnyűszerkezetes épületek önsúlya csak töredéke a hagyományos épületekének, újszerű helyzetet teremt az alapozásokra ható terhek arányaiban, nevezetesen abban, hogy a vízszintes terhek a függőleges terhekhez viszonyítva lényegesen nagyobbak lehetnek, illetve egyes esetekben a függőleges erő felfelé mutató lehet, tehát az alapozás szempontjából húzóerőként jelentkezhetnek. Ez indokolta a könnyűszerkezetes épületek alapozásának méretezésével kapcsolatos elvi jellegű vizsgálatokat, amelyek során a valószínű épületméretekből és terhelésekből kiindulva meghatározták az előfordulható alapozási teherváltozatokat, ezzel kiinduló adatokat szolgáltatottak az alapozások konkrét szerkezeti kialakításához.

Egyes kutatások a fém-, illetve faanyagú szerkezetek tűzállóságának növelésére irányultak. Az acélszerkezetek tűzállóságának növelésére hő hatására felhabosodó és a habosodás révén a fémanyag felmelegedését késleltető bevonatokat dolgoztak ki. A munka eredményeképpen műszaki irányelv készült a fémszerkezetek festékekkel történő tűzvédelmi megoldására, a hazai vegyipar pedig felkészült a szükséges anyagok gyártására.

A fának, mint építőanyagként újbóli térhódítása nyomtatékosan vetette fel a faanyagú szerkezetek tűz elleni védelmével kapcsolatos korszerű megoldá-

sok problémáját. Ebben a tekintetben azok a védőanyagok bizonyulnak a legalkalmasabbnak, amelyek telítésre és felületi kezelésre egyaránt alkalmasak, ugyanakkor biztosítják a faanyag gomba- és rovarkár elleni védelmét, de ugyanakkor nem csökkentik az alapanyag szilárdsági tulajdonságait, ragaszt-hatóságát, festhetőségét.

Ugyanakkor az az ellentmondás, amely a fa számos előnyös tulajdonsága és tűzveszélyessége között áll fenn, előtérbe állítja az előbbi módszerekkel szemben az úgynevezett aktív tűzvédelem jelentőségét. Az aktív tűzvédelemmel szemben támasztandó igények pontosabb meghatározását célozza a tűzvédelmi kutatásoknak az a nem rég megindult iránya, amely valós méretű tűzkísérletek révén igyekszik tisztázni a faanyagú épületek telepítésével és építésével kapcsolatos feltételeket.

A gyártandó könnyűszerkezeti elemek jelentős hányada műanyagokból készül. A különböző műanyag féleségek egyrészéről egy-két évtizedes tapasztalattal rendelkezünk, néhány műanyagot azonban csak néhány éve ismerünk. Ez teszi fontossá a szerkezetek várható élettartamának megállapításával kapcsolatban a bennük felhasznált műanyagok öregedésének, tehát az anyag tulajdonságok időbeli változásának vizsgálatát. Különösen jelentősek azok a vizsgálatok, amelyek a folytatásukra tervbe vett ötéves időtartamon belül a természetes körülmények között öregített, illetve a laboratóriumban mesterséges úton öregített anyagok tulajdonságváltozásai közötti összefüggést derítik fel, lényegében tehát az erre az esetre vonatkozó hasonlóság törvényét kutatják.

A műanyagok öregedési vizsgálataihoz részben hasonló jelleggel és céllal folytak egyes vizsgálatok a fémszerkezetek korróziója terén is. A korróziós vizsgálatok másik része viszont az acél- és alumíniumszerkezeteknek a könnyűszerkezetes építésben gyakran előforduló érintkezési pontjain felléphető kontaktkorrózió mértékének és megelőzése módjainak tisztázására irányultak. E kutatások egy harmadik csoportja a feszített csavarkötések szilárdsági vizsgálataival összekapcsolva a korrózióvédelem céljából felhordott bevonatnak a kapcsolat teherbírására és a kapcsolat mozgásainak a védőbevonat épségére gyakorolt hatását kívánja tisztázni.

Az eddigiekben ismertetett kutatások lényegében olyan kérdések tisztázására irányultak, amelyek mintegy előfeltételeit képezik a gyártandó szerkezetek kialakításának. Annak ellenére, hogy a könnyűszerkezetes programban alkalmazásra kerülő szerkezetek jelentős része a külföldi licenck alapján került kialakításra, mégis — részben a külföldi megoldások honosításának előkészítése céljából, részben az idő sürgetése miatt — eléggé jelentős számban folytak hazai szerkezetfejlesztési kutatások is.

A külső térelhatároló szerkezetek tekintetében a szerkezetfejlesztési munkák előtérben a poliuretánhab maggal és különböző kéreglemezekkel kialakított szendvicspanelek álltak. A szerkezetkialakítás itt igen szoros

kapcsolatban állt az alkalmazandó gyártástechnológiával, amennyiben ki kellett és lehetett használni azt a körülményt, hogy a gyártási folyamat közben habosodó műanyag hozzátapad a kéreglemezhez, tehát külön ragasztási fázisra nincs szükség. Ezen az alapon kerültek kifejlesztésre a hűtőházaknál már nagymértékben, de egyéb épületeken is alkalmazott, alumínium trapézlemez kérgű szendvicspanelek.

Az eddig alkalmazott technológiákban a kéreglemek vízszintesen helyezkednek el, a műanyag habosodásának iránya így az egyik kéreglemezről a másik felé irányul. Ez magában rejtette annak veszélyét, hogy a hab minősége az elem keresztmetszetében nem állandó. Ezért van különös jelentősége az angol ICI céggel kooperációban hazánkban végzett kísérleteknek, amelyeknél a kéreglemek gyártás közben függőlegesen helyezkednek el, a habosodás iránya tehát a kéreglekkel párhuzamos, és a keresztmetszetben gyakorlatilag azonosnak mérhető. E kísérletek értékelése még a jövő feladata.

A különböző vállalatoknál kifejlesztett, egymástól csak kisebb részletekben eltérő alapváltozatok mellett tervszinten a poliuretánhab maggal készült panelek különböző változatait dolgozták ki, így az egyik oldalán alumínium trapézlemez, másik oldalán gipszkarton vagy azbesztcementlemez, illetve alufólia kéreggel ellátott változatot, a mindkét oldalán azbesztcement vagy gipszkartonlemez kéreggel ellátott változatot, valamint a tetőelem céljára szolgáló, egyik oldalán acéltrapézlemez, másik oldalán bitumenes lemez kéreggel ellátott változatot.

Válaszfalak tekintetében a szerkezetfejlesztési és gyártástechnológiai kutatások főleg a gipsz illetve gipszkarton alkalmazásával létrehozható megoldásokat szorgalmazták. A kialakított megoldások részben a megvásárolt licenc és a beszerzett gyártósor folytán már ismert Möller-technológia változataiként értékelhetők, ahol az eltérések a vázkeret kialakításában jelentkeznek. Újszerű kezdeményezésnek tekinthető viszont a profilüveg analógiájára kifejlesztett GGP válaszfal rendszer, amely 30, illetve 45 cm széles U-profilú gipszanyagú elemeket alkalmaz, 3,6 m hosszúságig. Az ezeknek az elemeknek az előállítására szolgáló kísérleti gyártósor előállítása jelenleg van folyamatban.

Az épületgépészeti szerkezetek terén kialakították az UNI-PA épületgépészeti paneleket. Ezek a panelek tartalmazzák a víz-, csatorna-, szellőzővezetéseket, a berendezési tárgyak és szerelvények pedig a panelvázához, illetve a csővezetékekhez csatlakoznak. A burkolólemezek anyaga általában acél, megfelelő felületkezeléssel, esetleg műanyag bevonattal ellátva, így az elem a maga helyén a térelhatárolás funkcióját is betölti. Kedvező az iker elrendezésű panelek alkalmazása, amikor a panelek mindkét oldalán vannak berendezési tárgyak felszerelve. Az UNI-PA elemeknek mind méreteiben, mind tervezési kódrendszerében figyelembe vették a kialakítandó építési rendszerekhez való csatlakozás igényét, ennek megfelelően a méretek a hazai modulus rendszerbe illeszkednek. Az elemek a könnyűszerkezetes építésmódon

kívül gyakorlatilag bármely más korszerű építési mód keretei között is felhasználhatóak.

A légtechnikai berendezések fejlesztése területén a kutatások még nem jutottak el az új szerkezetek kialakításának a stádiumába, az eddigi kutatások a kis hőtehetetlenségi épületekben kialakuló légállapotváltozások modellezésére irányultak. A meglévő és gyártott légtechnikai berendezések azonban alkalmasak a könnyűszerkezetes épületekben fellépő igények kielégítésére is, gondolva itt a klímakonvektorokra, zajmentes szellőzőberendezésekre és természetesen a kialakított építőelemes klímaberendezésekre.

A gyártó kapacitások kialakításával, illetve ezzel összefüggésben a szerkezetfejlesztési munkákkal kapcsolatban jelentkeznek elsősorban a könnyűszerkezetes program igényei a más ágazatokban (kutatási célprogramokban, kutatási területeken) végzendő kutatások iránt.

A vaskohászat feladata az építési célú, a magasabb szilárdságú szerkezeti acélok gyártástechnológiájának kidolgozása, amely maga után vonja a teherhordó vázszerkezetek továbbfejlesztési munkáinak beindulását. A korrózióknak ellenálló („korell”) acélok standard minőségének biztosítása, valamint az ilyen anyagú lemezek gyártási technológiájának kidolgozása ugyancsak fontos kohászati feladat.

A műanyagipar felé fogalmazott kutatási feladatok között fontos szerepet játszik az eddiginél jobb tűzállósági és időállósági jellemzőkkel rendelkező műanyagok, az egyre jobb műszaki tulajdonságokkal bíró festékek, tömítőanyagok kidolgozása. A műanyagok feldolgozási technológiájában feltehetően jelentkező újabb eljárásokat pedig vizsgálni kell majd abból a szempontból, hogy azok alkalmazhatóak-e előnyösen valamilyen építőipari szerkezet gyártástechnológiájában.

#### **4. Kivitelezői és vállalkozói szervezetek létrehozása érdekében végzett kutatások**

A kivitelezői és vállalkozói szervezetek létrehozása érdekében végzett kutatások legjelentősebb részét a szervezéselméleti téren folytatott kutatások képezik. E kutatómunkák abból indulnak ki hogy az építési rendszer fogalma egyfelől műszaki szempontból értelmezett rendszert jelent, amely részrendszereinek koordinált együttese, másfelől viszont szervezési szempontból értelmezett rendszert is jelent, amely alrendszereinek koordinált együttese. A szervezéselméleti kutatások első eredményei alapján az építési rendszert hat alrendszerre célszerű bontani:

- a rendszertervezés és karbantartás,
- a vállalkozás,
- az épülettervezés és adaptálótervezés,

- a gyártás,
- a kapacitás és készletgazdálkodás,
- a kivitelezés

alrendszerére. Ez a hat alrendszer képezi a számítógépes információk rendszerének alapját is.

A rendszertervezés és karbantartás alrendszerében történik a műszaki értelemben vett építési rendszernek a kidolgozása (és később folyamatos továbbfejlesztése), beleértve a rendszer teljes műszaki dokumentációjának összeállítását. Ez utóbbinak tartalmaznia kell a rendszerben alkalmazott összes komponensek katalógus lapjait, illetve az azokat összefoglaló rendszerkatalógust, a különböző (méretező, konszignáló, költségvetéskészítő és szerelési ütemterv készítő) számítógépi programokat, a csomóponti és szeletterveket, a rendszerben építhető épületek irányterveit, valamint a programok használatához szükséges adatbankot. A rendszertervezés és karbantartás alrendszerének kimunkálása az erre a feladatra kijelölt, kisszámú tervező szerv feladatát kell képeznie.

A vállalkozási alrendszer keretében — amely alrendszer címének megfelelően a könnyűszerkezetes épületekkel kapcsolatos vállalkozási tevékenység szervezési feladatait foglalja magában, — még jelentős megoldandó feladatok vannak. Ezek a feladatok abban jelentkeznek, hogy meg kell határozni a vállalkozás feladatkörét és szervezési beilleszkedését az egész beruházási folyamatba attól függően, hogy a vállalkozás az épület generálkivitelezését is magában foglalja-e, vagy csak a könnyűszerkezetes rész szerelését, vagy csak a könnyűszerkezetes elemek komplex szállítását tartalmazza.

Az épülettervezési és adaptálótervezési alrendszerben még további vizsgálatok szükségesek annak eldöntésére, milyen szervezeti feltételeket célszerű kialakítani a rendszertervezés, mint a tervezés első fázisát követően a tervezés második fázisa, az épülettervezés és a tervezés harmadik fázisa, az adaptáló tervezés számára. Itt még az is kérdéses, hogy az épülettervezés, tehát a rendszer katalógusa és csomóponti tervei alapján a konkrét épület összeállítása (a könnyűszerkezetes „doboz” megtervezése), majd ennek a helyszínen történő adaptálása (alapozás, közműbekötés stb.) két külön tervezési fázisnak tekintendő-e vagy sem. Az mindenesetre világos, hogy az épülettervezés a programok és az adatbank birtokában levő rendszertervezővel együttműködve, míg az adaptáló tervezés már bármely tervező szerv által önállóan végezhető. A több fázisú tervezés szükségessége mindenképpen további elemzéseket tesz szükségessé még a tervezői felelősség kérdésében is.

A gyártás, kapacitás- és készletgazdálkodási, valamint a kivitelezési alrendszer szervezéseméleti kérdéseket kevésbé, inkább gyakorlati szervezési problémákat vet fel.

A kivitelezői szervezetek létrehozását segítő kutatási tevékenységnek kell minősíteni azt a felmérést, amely a különböző könnyűszerkezetes építési

rendszerekben alkalmazható emelőgépek, kiségek és speciális szerszámok összegyűjtését és ismertetését célozta. Ugyanide sorolhatóak azok a kutatási munkák is, amelyek eredményeként kialakultak a könnyűszerkezetes épületekben a gépészeti szerelés, de elsősorban a villanszerelés rögzítési módszerei, továbbá az állattartási épületekben alkalmazható komplett villanszerelési technológiák. Kialakították továbbá a torna- és egyéb csarnokok villanszerelési technológiáját is.

Bár nem tekinthető közvetlenül kutatási tevékenységnek, de a kutatómunkákkal szoros együttműködésbe kerültek, illetve kerülnek kidolgozásra azok a tananyagok, amelyek a könnyűszerkezetes építésben résztvevők szakmai kiképzésének vagy továbbképzésének céljából készülnek. Ezen belül is kiemelkedik a könnyűszerkezetes szakmunkások, tehát a szerelők, illetve a közvetlen műszaki irányítók, a művezetők szakoktatási anyaga, mivel ezek képzését részben a viszonylag nagy létszám, részben a megfelelő iskolatípus hiánya miatt feltétlenül külön tanfolyamok keretében kell megoldani, míg a mérnökök továbbképzésére megfelelő szervezeti keret nyújtanak egyfelől a Mérnöki Továbbképző Intézet, másfelől a szakmérnöki tanfolyamok.

## 5. A program egészét érintő kutatások

A KGST tagországokban — bár kétségtelenül némileg eltérő fejlődési szinten, — a könnyűszerkezetes építési mód mindenütt a bevezetés stádiumában van. Ezért a célprogramban végzett kutatások számos ponton érintkeznek a többi országban folytatott kutatásokkal.

Legjelentősebb ezek közül az az együttműködés, amely a KGST Építési Állandó Bizottság 1.3 számú témájában jut kifejezésre, és amely témának vezetője éppen az MNK. A közeljövőben befejeződő nemzetközi munka célkitűzése a könnyűszerkezetes térelhatároló és térelválasztó szerkezetek nemzetközileg egységesített követelményrendszerének és az ezekhez kapcsolódó vizsgálati módszereknek, valamint az ezekre a szerkezetekre vonatkozó tervezési irányelveknek a kidolgozása. Nem lehet azt állítani, hogy az 1971 óta folyó téma keretében a kitűzött célt maradéktalanul el lehetett volna érni, mivel az egyes országokban az egyes szervezetekkel szemben támasztandó követelmények tekintetében gyakran lényeges elvi felfogásbeli különbség áll fenn. Ismerve azt a helyzetet, hogy egyetlen kérdésre irányuló nemzetközi szabvány megszerkesztése általában 4–5 évet igényel, szinte elképzelhetetlen, hogy ugyanennyi idő alatt 70 ÷ 80 kérdésben lehetett volna teljesen egyező álláspontot kialakítani. Az eddigi munka során mindenesetre tisztázódott, hogy mely kérdésekben áll eléggé közel az egyes országok álláspontja ahhoz, hogy viszonylag rövid idő alatt közös előírást lehessen kidolgozni, és mely kérdésekben kell még hosszabb egyeztetésekre felkészülni.

Az előbbi tevékenységgel sok tekintetben rokon vonásokat mutat a KGST Építésiparosítási Állandó Munkacsoportja által irányított 3.03 számú téma, a könnyűszerkezetes építési mód nemzetközi fejlesztésének hosszú távú programja. Ennek — az egyébként főleg a termelés szakosításával és koordinációjával foglalkozó — témának a keretében a kutatás feladata a meglévő, a könnyűszerkezetes építés témakörébe vágó szabványok felülvizsgálata és összehasonlítása volt, amely munka a jövő év első felében fejeződik be.

Lényeges szerepe van a kutatási-fejlesztési munkában az országok közötti kétoldalú műszaki-tudományos együttműködési megállapodásoknak is.

Így a Szovjetunió kutató szerveivel közös munka folyik a könnyűszerkezetekből készülő ipari csarnok szerkezetek kialakítása terén. E munka során mind szovjet, mind magyar részről összeállították azoknak a vázszerkezeteknek, külső térelhatároló (fal és tető) szerkezeteknek, belső térelválasztó (válaszfal és álmennyezet) szerkezeteknek a jegyzékét, valamint a jegyzékben szereplő megoldások részletes műszaki ismertetését, amelyeknek ipari csarnokoknál történő alkalmazását megfelelőnek tartanák. A munka befejező fázisában megtörténik a megoldások kölcsönös műszaki-gazdasági értékelése, és ennek alapján a mindkét országban előnyösnek mutatkozó variánsok kiválasztása.

A CSSZSZK kutató szerveivel folyó együttműködés célja egyfelől a két ország között várhatóan kölcsönösen szállításra kerülő könnyűszerkezetes termékek szállítási feltételeinek kidolgozása, másfelől egy igen jellegzetes gazdasági összehasonlítás.

Ez utóbbi munka keretében egy-egy műszakilag azonosnak tekinthető csehszlovák, illetve magyar épületepár (hagyományos, illetve könnyűszerkezetes sertéshízlaló épület, valamint ugyancsak hagyományos, illetve könnyűszerkezetes kisáruháza) összehasonlító gazdasági elemzése történik meg.

Az LNK kutató szerveivel aláírt megállapodások alapján a lengyel—magyar kutatási együttműködés fő célkitűzése olyan szerkezeti megoldások kidolgozása az ipari, illetve a közösségi épületek terén, amelyek mindkét országban felhasználhatók.

Az NDK és az MNK kutatószervei között hasznos együttműködés folyt részben az úgynevezett műszaki-gazdasági világszínvonal értékelés módszertanának, részben a prognosztizációs módszerek kidolgozása terén.

A nemzetközi vonatkozású kutatások mellett a program egészét érintő kutatások másik nagy csoportját a gazdasági jellegű vizsgálatok képezik.

A gazdasági vizsgálatok egyik része piackutatás jellegű volt. E vizsgálatok keretében felméréseket végeztek egyfelől a hazai piac várható felvevő képességére, másfelől egyes kiválasztott tőkés, illetve fejlődő országok piacán való elhelyezési lehetőségekre.

A gazdasági vizsgálatok másik része a könnyűszerkezetes épületek költségeinek elemzésére irányult, e munkák keretében elemezték egyes könnyű-

szerkezetes épületek költségstruktúráját, valamint a könnyűszerkezetes építés szempontjából lényeges anyagok hazai és világpiaci árának időbeni alakulását. Egy angol intézmény bevonásával igen figyelemreméltó kutatási munka kezdődött annak tisztázására, hogy az ipari háttér fejlettségi színvonala hogyan befolyásolja a könnyűszerkezetes épületek árszínvonalát. A munka eredményeként igen lényeges és jellemző adatok várhatók arra nézve, hogy Angliában, Franciaországban és az NSZK-ban az elmúlt tíz év során hogyan alakult a könnyűszerkezetek árszínvonala és ugyanakkor a könnyűszerkezetek fő alapanyagainak, valamint a hagyományos építőanyagoknak az árszínvonala.

## 6. További feladatok

A célprogram meghosszabbított programja az 1990. évig elkészült. A fejlesztési program előreláthatólag legkésőbb 1980-ig befejeződik, ezért a kutatási célprogram 1980 után már nem mint a fejlesztési program kutatási része, hanem mind az addigra már bevezetett könnyűszerkezetes építési mód továbbfejlesztését szolgáló program fog működni.

**Scientific Problems in the Central Development Probleme of the complex Lightweighth-Structure Building Methods.** The research program for the introduction of the light-weight structure building method puts problems, in many aspects of a new nature, serving the high-level mechanization of the building industry, for research investigations. The research investigation activity is an organic part of the central development program highlighted by the government, intending to introduce the light-weight structure building method into practice. The research items of the program — including the basic and applied research investigations — are extended in a complex way to all of the significant fields of the building construction methods and thus contain, among others, all the research problems concerning materials, constructions, systems of construction, industrialized production bases and organizations and economic efficiency. In the research program borrowing from the experiences in the field of light-weight structure building methods has been taken into consideration from developing countries and the program is mainly based on the possibilities of mutual collaboration with the member countries of the Council for Mutual Economical Assistance.

**Wissenschaftliche Aufgaben in Zusammenhang mit dem zentralen Entwicklungsprogramm der komplexen Leichtbauweise.** Das Zielprogramm der Forschung über die Einführung der Leichtbauweise stellt die Forscher vor die Lösung einer Anzahl von in vieler Hinsicht neuartigen und der hochgradigen Industrialisierung dienenden Aufgaben. Die Forschungsarbeit ist ein wesentlicher Teil des von den Regierungsbehörden herausgegebenen zentralen Entwicklungsprogramms. Die im Zielprogramm zum Ziel gesetzten Forschungsaufgaben erstrecken sich — die Grund- und angewandten Forschungen mitinbegriffen — in komplexer Weise auf alle wichtigen Gebiete der Leichtbauweise und enthalten infolgedessen u. a. die mit den Problemen der Baustoffe und -konstruktionen, Baumethoden, industrialisierten Produktionsbasen und Organisationen, wie auch mit der wirtschaftlichen Wirksamkeit zusammenhängenden Forschungsaufgaben. Das Forschungsprogramm berücksichtigt auch die Erfahrungsübernahme in Bereich der Leichtbauweise von industriell entwickelten Ländern und stützt sich in erster Linie auf die vielseitige Zusammenarbeit der Mitgliedländer des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe.



# NAGY VILAMOSVEZETÉKEK PROBLÉMÁI, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A LÉTESÍTENDŐ HAZAI 750 kV-os VEZETÉKRE\*

GESZTI P. OTTÓ\*\*

A MTA LEVELEZŐ TAGJA

Jelen tanulmány a KGST keretén belül a Magyarország és Szovjetunió közötti, építés alatt álló 750 kV-os vezeték műszaki és gazdasági problémáival foglalkozik. Ennek kapcsán áttekintést ad a jelenleg világszerte létező különböző feszültségű és rendszerű nagy összeköttetésekről. Részletesen elemzi a stacioner energiaátvitel problémáit, az átviteli hossz-feszültség függvényében a kapcsolási és egyéb túlfeszültségek, a túlfeszültségvédelem, stb. kapcsán felmerülő teendőket. Végül elemzi a Szovjet-, Kanadai és USA 750 kV-os építési gyakorlatában levő különbségeket.

## 1. Bevezetés

Mint ismeretes, ez év elején a KGST keretén belül a Szovjetunió és Magyarország megállapodást kötöttek egy 750 kV-os vezeték létesítésére Zapad—Albertirsa között, amely mintegy 540 km hosszú lesz. A vezeték üzembehelyezési határidejét 1978 őszére irányozták elő. A teljes beruházás költsége a két fél részére együttesen 10 ÷ 12 milliárd Ft-ot fog kitenni. Az energiavezetéken a Szovjetunióból szállított energia értéke nagyságrendben évi 3 ÷ 5 milliárd Ft értékű lesz. Ezek az önmagukban is jelentős értékek azonban nem mutatják e vezeték tényleges gazdasági jelentőségét. A vezetéken rendszeresen áthozandó kb. 1200, bizonyos esetekben 1900, sőt 2000 MW. Ez az üzembehelyezés időpontjában a teljes magyar csúcsterhelés 20 ÷ 30%-át fogja kitenni, és miután ismeretes milyen éles a korreláció valamely ország nemzeti jövedelme és a villamosenergia fogyasztás között, e vezeték nemzeti jövedelemre való kihatását évi 100 ÷ 120 milliárdos nagyságrendre lehet becsülni. (Ez a 2000 MW-ra vonatkozik.)

Népgazdasági célkitűzéseink szempontjából a vezetéknek igen nagy jelentősége van. Ez egyúttal azt is jelenti, hogy a vezeték üzembiztonságára nézve igen szigorú követelményeket kell szabni, különös tekintettel arra, hogy a vezeték üzembehelyezése időpontjában a legnagyobb gépegység 200 MW lesz, az ezután következő pedig 500 MW, így a létesítendő összekötte-

\* A MTA Műszaki Tudományok Osztályának 1974. október 3-i felolvasóülése keretében elhangzott előadás.

\*\* Prof. Dr. Geszti P. Ottó, 1124 Budapest, Jagelló út. 13.

tés teljesítménye a legnagyobb gépegység teljesítményénél lényegesen nagyobb lesz.

A vezeték létesítésének alapvető műszaki-gazdasági méltatásával e tanulmány nem foglalkozik, minthogy ennek a vezetéknek a létesítése nem a szigorúan vett erőművi rendszeren belüli mérnöki optimalizálási feladatok közé tartozott, hanem alapvetően iparpolitikai, beruházás-politikai szempontok, külkereskedelmi mérleg stb., valamint ipari lehetőségeink szabták meg a létesítés szükségességét. A létesítéssel kapcsolatosan több újságcikk méltatta a problémákat, amelyekben hatalmas számok szerepeltek a beépítendő vasanyagra, betonra, alumíniumra stb. vonatkozóan. Természetszerűen kevés szó esett arról, hogy milyen műszaki problémákat okoz ez a létesítés, mennyire újszerű az egész, és milyen problémák merülhetnek fel.

## 2. Általános áttekintés

Először is bizonyos áttekintést óhajtunk nyújtani arról, hogy milyen különböző nagy energiaátvitelű előkészítése folyik a világon, illetve milyen típusú különböző energiaátvitelűek vannak.

Távolabbról haladva a mi problémáink felé, röviden meg kell emlékeznünk a nagyfeszültségű egyenáramú energiaátvitelről. Ennek a következő három alkalmazási területe van:

1. Tengerszorosokon átvezető, kábelen keresztül menő villamos energiaátvitel, minthogy váltakozó áram esetében a töltőáramok a kábelekkel kapcsolatosan problémákat okoznak, ami egyenfeszültségeknél elmarad;

2. Különböző aszinkron frekvencián járó rendszerek összekötése, ami egyenfeszültségen lehetséges;

3. Olyan nagy energiaátvitel, amely egyhosszban különböző állomások nélkül történik igen nagy távolságokról.

Az első kettőre példa az Anglia és Franciaország közötti  $\pm 100$  kV-os átvitel, ahol a csatorna fenekén van a kábel elhelyezve, és ahol a két rendszer aszinkron jár. Az utóbbira példa lesz az Északkazahsztán—Moszkva közötti 2400 km hosszú  $\pm 750$  kV-os egyenfeszültségű rendszer, amely a 80-as évekre készül el, és amely  $4 \div 6000$  MW-ot fog szállítani.

Magyarország szempontjából is szóba jöhet egy egyenfeszültségű vezeték esetleg Budapest—Bécs között a 80-as évek végére, amely a két aszinkron rendszert kötné össze, és nem lennének szükségesek pszeudóaszinkron átkapcsolások. Ezzel az egyenfeszültséggel e tanulmány keretében tovább nem foglalkozunk.

Az AEP és ASEA együttesen dolgoznak egy 1500 kV-os rendszer előkísérletein, amelyek során egy I fázisú transzformátor el is készült 1500 kV-on. Ezt a vezetékét az AEP a 80-as évek tájékán szándékozik megvalósítani.

A Szovjetunióban 1150 kV-tal folynak kísérletek, ezt a feszültséget a Szovjetunióban az 500 kV-os rendszerük fölé kívánják helyezni. Az 1500 kV-os rendszernél egy kötegben 8 vezetőt, az 1150 kV-os rendszerben előre láthatóan 6 vezetőt helyeznek el. Itt kell rámutatni arra a rendkívüli előrelátásra és céltudatos munkára, amelyet a Szovjetunióban a nagyfeszültségű vezetékek területén végeznek, kb. 10 ÷ 15 évenként egy-egy feszültséglépcsőt lépve, ami lehetőséget ad arra, hogy a problémákat először laboratóriumban, kísérleti vezetéteken tanulmányozzák és amely módot ad számukra arra, hogy minden elem, amelyet a rendszerekben alkalmaznak, kipróbált legyen.

Röviden meg kell emlékeznünk arról is, hogy Svédországban egy 800 kV-os rendszer építéséről is folynak tanulmányok. Döntés egyelőre még nem született. Ennek azonban inkább iparpolitikai jelentősége van, mintsem közvetlen energiapolitikai, minthogy ez a vezeték a délen egymáshoz viszonylag közel fekvő atomerőműveket kötné össze. Nem gazdasági okok kényszerítik, hogy a 800 kV-ost megépítsék, hanem az a körülmény, hogy az ASEA számára biztosítsanak egy megfelelő kísérleti területet.

Érdekes megemlékezni arról, hogy a hozzánk képest körülbelül háromszoros k<sub>W0</sub> fejkvótával rendelkező franciák és nyugat-németek — akik az összes 750 kV-os kísérletet saját kísérleti állomásaikban külön-külön bonyolították le, egyelőre belátható időn belül, tehát 15 éven belül nem szándékoznak 750 kV-os vezetékét létesíteni, mivel a 400 kV-os vezeték számukra elegendő. Minthogy az ő fajlagos energiamutatójuk értékét mi kb. 15 év múlva fogjuk elérni, tehát úgy nézett ki, hogy a 400 kV fölé, amelyből mindössze egy vezetékünk van, csak 20 ÷ 30 év múlva fogunk kerülni, és így ez a kérdés érthető módon kiesett a magyar műszakiak perspektívájából.

Szakmai körökben ismeretes, hogy az első 750 kV-os vezetékét kb. 10 év előtt helyezték üzembe Kanadában, majd ezt követően az amerikaiak is építettek 750 kV-os vezetékét. Ismeretes az is, hogy több éve üzemel a Szovjetunióban kísérleti vezeték is.

Első pillanatra úgy látszik, hogy a szovjet—magyar kooperációban létesítendő vezeték alapjában véve egy rutin feladat, hiszen kb. ez lesz a világon a 20. ilyen vezeték. Eddigi vezeték-építési gyakorlatunkban, amely 400—220—120 kV-os vezetékekre vonatkozott, olyan időkben építettünk vezetékeket, amikor már jelentős gyakorlat előzött meg bennünket. Így az első 120 kV-os vezetékünk annak idején a világon nagyságrendben kb. az ezredik lehetett, a 220 kV-os szintén nagyságrendben az ezredik, a 400 kV-os vezeték építésének idején pedig kb. a 100—150-edik ilyen vezeték lehetett.

Most a helyzet nem ilyen egyszerű!

A 10 éve épült kanadai rendszer két szélső pontja között a távolság kb. 600 km, amelyet kb. 200 km-ként állomások szakítanak meg, és három parallel vezeték van. Így valójában egy-egy vezeték-szakasz mindössze 200 ÷ 300 km hosszú, ugyanakkor a kanadaiak — amint erről később részlete-

sen szólni fogok -- minden vezetékszakasz végén le nem kapcsolható módon, jelentős nagyságú sönt-fojtótekerceket üzemeltetnek, amelyek feladata a vezetékek kapacitásának részleges kompenzálása, de amellyel egyúttal a vezetékek úgynevezett természetes teljesítményét kb.  $2100 \div 2200$  MW-ról  $1200$  MW-ra szállították le.

A szakaszok rövidsége és a fojtótekercek állandó bekapcsolt állapota viszont nagymértékben korlátozza a túlfeszültségek nagyságát, egyszerűsíti a védelmet, és könnyebbé teszi a stabilitási viszonyokat.

Az USA-ban a helyzet hasonló abban a vonatkozásban, hogy az ottani szakaszok is rövidek, bár a kanadaiakénál valamivel hosszabbak, és van egy közel  $500$  km-es szakasz is, amely mögött azonban egy igen rövid szakasz következik. Itt is állandóan bekapcsolt fojtótekercekkel üzemeltetnek. Itt a természetes teljesítmény kb.  $1200$  MW.

Egy villamos távvezeték feladata, hogy villamos teljesítményt bizonyos távolságra szállítson, így az USA-beli és a kanadai vezeték átvivő képessége  $360\,000 \div 600\,000$  MWkm. A Szovjetunióban pillanatnyilag egy  $80$  km-es kísérleti vezeték üzemel, amely az egyes elemek kipróbálására (koronavesztés, zajszint stb.) alkalmas, de egyelőre ez nem vehető még üzemzerű nagy villamosenergia átvitelként figyelembe. A következő években azonban a Szovjetunióban több  $750$  kV-os vezeték fog épülni, elsősorban a Szovjetunió déli részén, amelyeknek legkeletibb pontja valahol Donbassznál lesz, majd több állomással Vynicáig terjed a vezeték, onnan pedig egy kb.  $350$  km-es szakasszal Lwovig („Zapad-állomás”)  $1118$  km hosszban és ehhez fog csatlakozni a Zapad—Albertirsa közötti magyar vezeték. Ezen vezetékszakaszok közül többnek az üzembehelyezése megelőzi a magyar—szovjet vezeték üzembehelyezésének időpontját.

### 3. A Zapad—Albertirsa közti vezeték

A Zapad—Albertirsa közötti vezeték, mint említettük,  $540$  km hosszú lesz és ezen  $1200 \div 1900$  MW-ot kívánunk áthozni, így a vezeték által nyújtott teljesítmény  $648\,000 \div 1\,020\,000$  MWkm lesz. Ezért üzembehelyezésének időpontjában a legnagyobb energiaátvitel lesz a világon, és az előbbi számokkal összevetve láthatóan közel  $60\%$ -kal lesz nagyobb a már üzemben levő vezetékeknél.

A két végpont Donbassz és Albertirsa között a távolság meg fogja haladni az  $1500$  km-t ( $1648$  km), természetesen több állomással megszakítva. Így a mi vezetékünk bár a  $750$  kV-os vezetékek családjában valóban a  $20 \div 25$ . lesz, átviteli teljesítőképességével mégis a legnagyobb, és ilyen vonatkozásban az első a világon. Ez a vezeték nemcsak a leghosszabb szakaszt fogja képviselni abban az időben, hanem az elképzelések szerint alkalmas lesz arra is, hogy

kikapcsolt fojtótekercekkel üzemeljen, tehát a homogén vezeték természetes teljesítményét szállíthassa.

Mint hogy az USA-ban és Kanadában a felmerülő műszaki problémák enyhítésére választottak rövid szakaszokat és állandóan bekapcsolt fojtótekerceket, és még így sem tudtak nagy cégek üzemzavar-mentes eredményeket felmutatni, mindenki előtt világossá válhat, hogy a jelen esetben nem valamilyen rutinfeladat megoldásáról van szó, hanem óriási műszaki-fejlesztési problémák nehezedenek a tervezőkre és építőkre, valamint az ő munkájukat alátámasztó kutatógárdára.

Magyar részről a kutatásokat a VEIKI és a Budapesti Műszaki Egyetem Erősáramú Intézete együttesen végzi, a tervezést az ERŐTERV, a távvezeték és az alállomás építését az OVIT és más vállalatok végzik. Az egész vezeték generál tervezője a Szovjetunió, ahol a kérdéssel nagylétszámú, kiválóan képzett és felszerelt kutató- és tervező gárda foglalkozik közel két évtizede. Hazai adottságaink folytán minden igyekezet ellenére bizonyos változások lehetnek szükségesek a Szovjetunióban alkalmazott tervekhez és eljárásokhoz képest, noha számunkra az lenne a legmegnyugtatóbb, ha teljesen az eredeti és kipróbált szovjet terveket alkalmazhatnánk. Mivel ezeknek a változtatásoknak továbbgyűrűző és nem teljesen számítható hatásuk lehet, az üzembehelyezésig rendelkezésre álló viszonylag rövid idő és az eszközeink, létszámunk csekély volta jelentős feladatok elé állít valamennyiünket.

#### 4. A főbb problémák

Röviden szeretnénk áttekinteni azokat a problémákat amelyek hosszú, váltakozóáramú vezetékekkel kapcsolatosan felmerülhetnek különös tekintettel arra, hogy e hosszú vezetékek problémája többé-kevésbé eltér a megszokott rövid vezetékek elektrotechnikájától.

Nem kívánunk részletes levezetések ismertetni, csak általánosságban óhajtjuk a tárgyalt problémákkal kapcsolatos kérdés-komplexumot megvilágítani.

Mint ismeretes, a végponti feszültség- és áramértékek között a következő összefüggések érvényesek:

$$U_s = U_R \cdot \cosh \gamma_0 l + J_R Z_0 \sinh \gamma_0 l,$$

$$J_s = \frac{U_R}{Z_0} \cdot \sinh \gamma_0 l + J_R \cosh \gamma_0 l,$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{r + jx_0}{g_0 + jb_0}} = |Z_0| e^{j\epsilon} \quad (\text{hullámimpedancia}),$$

$$\gamma_0 = \sqrt{(r_0 + jx_0)(g_0 + jb_0)} = \beta_0 + j\alpha_0 \quad (\text{terjedési együttható}),$$

általában

$$g_0 = 0, \quad r_0 \neq 0,$$

$$\beta_0 \approx \frac{r'_0}{2\sqrt{\frac{x_0}{b_0}}} = \frac{r'_0}{2Z_0} \quad 3 \sim 5 \cdot 10^{-5}/\text{km},$$

$$\alpha_0 \approx \sqrt{x_0 b_0} \left(1 + \frac{r'}{8x'_0}\right) \quad 0,06 \sim 0,065^\circ/\text{km},$$

vesztéségmentes esetben

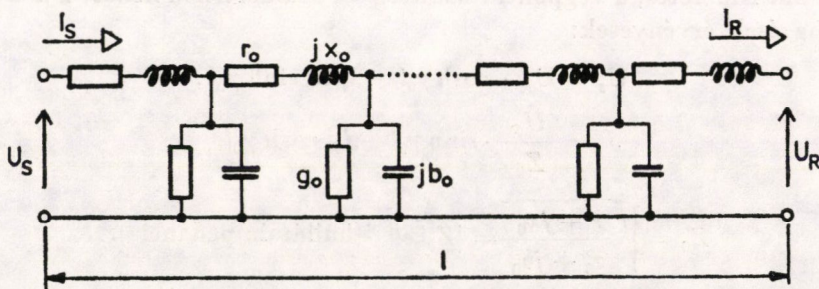
$$g_0 = 0 \quad r_0 = 0.$$

Az 1. ábrán látható a háromfázisú megoszló paraméterű vezeték egy-fázisú sémája, ahol az  $S$  index a generátor oldalt, az  $R$  index a fogyasztói oldalt mutatja, és feltüntettük mind a soros impedanciákat, mind pedig a parallel admittanciákat. Általában a  $g_0$  átvezetés 0-val vehető egyenlőnek, amitől csak akkor térünk el, ha jelentős koronavesztés van. A vezeték két végpontján az áramokra és feszültségekre felírható az ábrán látható összefüggés, mely stationer 50 periódusú esetekre vonatkozik, ahol a feszültséget és az áramot reprezentáló értékek 50 periódusú vektorok. Különbséget jelent a rövid vezetékhez képest az, hogy hiperbolikus függvények szerepelnek, és minthogy elosztott paraméterű vezetésekről van szó, a képletekben a hullámimpedancia valamint a terjedési együttható is szerepel.

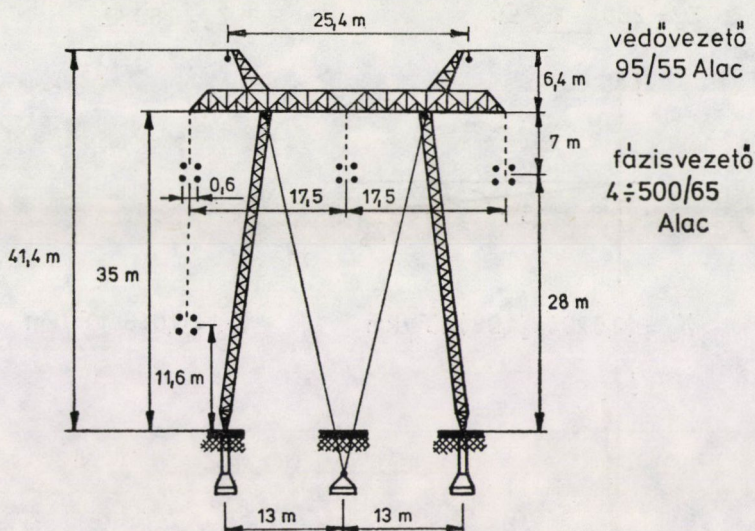
Felírtuk a vezeték hullámimpedanciáját, mely általában egy komplex vektor, amelynek van egy abszolút értéke és egy szöge.

A  $\gamma_0$  (az úgynevezett terjedési együttható) értéke szintén komplex: valós és imaginárius részből áll.

A  $\beta_0$  dimenziója  $1/\text{km}$  és arra ad felvilágosítást, hogy a vezeték mennyire veszteséges. Általában ezek a nagy vezetékek igen nagy keresztmetszettel készülnek és közel járnak a veszteségmentes esethez, így kvalitatív áttekintés szempontjából a veszteséget nem fogjuk figyelembe venni.



1. ábra. A távvezeték, mint elosztott paraméterű hálózati elem



2. ábra. Az ERŐTERV által tervezett magyar vezetékoszlop

Az imaginárius rész,  $\alpha_0$  a terjedésre vonatkozóan ad információt. Az  $\alpha_0 l$  tulajdonképpen azt mutatja, hogy a vezeték hossza mentén hogyan fordul el a feszültségvektor. A teljes hullámhossz 6000 km. Ilyen vezeték hossz mellett lenne  $360^\circ$  a szögelfordulás a táp- és fogyasztóoldali feszültségvektorok között. Így a szóbanforgó 540 km-es vezetékre nézve ez a szögelfordulás  $32,4^\circ$ .

A veszteségmentes esetre az összefüggéseket az ábra mutatja. Mint látható, itt  $\gamma_0$  helyett  $\alpha_0$  szerepel, minthogy veszteségmentes esetben  $\beta_0 = 0$ .

A 2. ábrán az ERŐTERV által kidolgozott magyar oszlopkép vázlatja látható. A magyar oszlopkép lényegében általános konstrukciója tekintetében tér el a szovjettől, és kisebb a fázistávolsága, 17,5 m, a szovjet 19,5 m-hez képest.

A 19,5 m-t a Szovjetunióban, igaz hogy kisebb vezetékátmérővel, a rádiózavarás miatt vették fel. Alapjában véve szerző szerencsésebbnek látta volna ha a Szovjetunióban kipróbált és bevált elemekből építettük volna a saját rendszerünket mert ez a bizonytalanságokat csökkentette volna. Amennyiben semmiképpen sem tudjuk egy az egyben átvinni a szovjet vezeték-elemeket, amelyek már helyszíni kipróbálást nyertek, úgy szükségesnek látszik ezeket is helyszíni méréseknek és kísérleteknek alávetni.

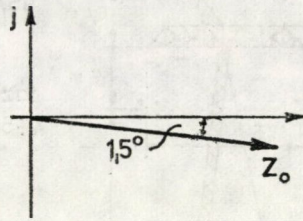
A rádiózavarás, hallható zaj, villamos és mechanikai lengések, stb., a fizikai jelenségek olyan csoportját képezik, amelyek rendkívül rosszul számíthatók, és főleg csak empirikusan követhetők.

veszteséges esetben

$$Z_0 = 260 \angle -1,5^\circ \Omega$$

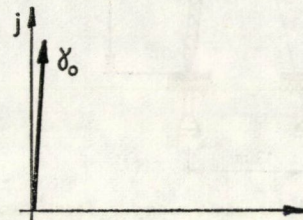
veszteségmentes esetben

$$Z_0 = 260 \Omega$$



$$\gamma_0 = (0,0294 + j1,08) \cdot 10^{-3}/\text{km}$$

$$\gamma_0 = j1,046 \cdot 10^{-3}/\text{km}$$



$$v = 299\,000 \text{ km/s}$$

$$v = 300\,000 \text{ km/s}$$

$$P_1 = 2140 \text{ MW}$$

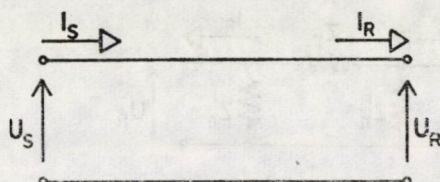
$$Q_c = 1250 \text{ MVA}$$

3. ábra. A tervezett megoldás jellemző adatai

Az ERŐTERV megoldás jellemző adatait a 3. ábrán mutatjuk be, ahol felírtuk a terjedési együttható valós és képzetes részének értékeit, valamint a hullámimpedanciát. Látható, hogy a hullámimpedanciának jelen esetben egy egész kis negatív szöge van, de a szög nagyságából látni lehet, hogy nem állunk messze a veszteségmentes esettől. Ugyanezen az ábrán feltüntettük a hullám terjedési sebességét veszteséges és veszteségmentes esetre. Látható, hogy veszteséges esetben alig tér el a terjedési sebesség a fénysebességtől.

Egy háromfázisú vezeték *természetes teljesítményén* a láncolt feszültség négyzetének és hullámellenállásának a viszonyát értjük. Ez veszteségmentes esetben lényegében véve azt a teljesítményt jelenti, amelyet a vezeték végében kapcsolt  $Z_0$  ellenállás emészt fel. A természetes teljesítmény átvitele esetéhez a veszteségmentes vezeték egységnyi hossz inductívitasán keletkező reaktív teljesítmény egyenlő az egységnyi hosszban a vezetékkapacitáson szolgáltatott meddő teljesítménnyel, aminek következtében a vezetők végig azonos a feszültség abszolút értéke, és csak  $\alpha_0$ -nak megfelelő szögelfordulás keletkezhet. Jelen esetben a természetes teljesítmény 2000 MW felett van.





4. ábra.

A szokásos váltakozóáramú átvitelt az úgynevezett A—B—C—D konstansokkal is szokás vizsgálni, amelyekkel kapcsolatos összefüggések a következők (4. ábra):

$$U_s = AU_r + BJ_r,$$

$$J_s = CU_r + AJ_r,$$

$$A^2 - BC = 1,$$

$$A = \cosh \gamma_0 l = \cosh \beta_0 \cos \alpha_0 l + j \sinh \beta_0 \sin \alpha_0 l = A_1 + jA_2,$$

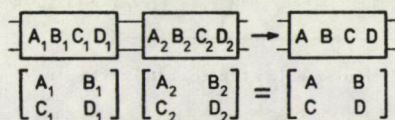
$$B = Z_0 \sinh \gamma_0 l = Z_0 \sinh \beta_0 l \cos \alpha_0 l + j \cosh \beta_0 l \sin \alpha_0 l = B_1 + jB_2,$$

$$C = \frac{1}{Z_0} \sinh \gamma_0 l = \frac{1}{Z_0} (\sinh \beta_0 l \cos \alpha_0 l + j \cosh \beta_0 l \sin \alpha_0 l) = C_1 + jC_2,$$

$$A = 0,835 + j 0,0087,$$

$$B = 7,32 + j 142,7,$$

$$C = 0,0001 + j 0,002.$$

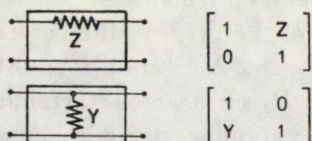


$$Z_o = \sqrt{\frac{B}{C}}$$

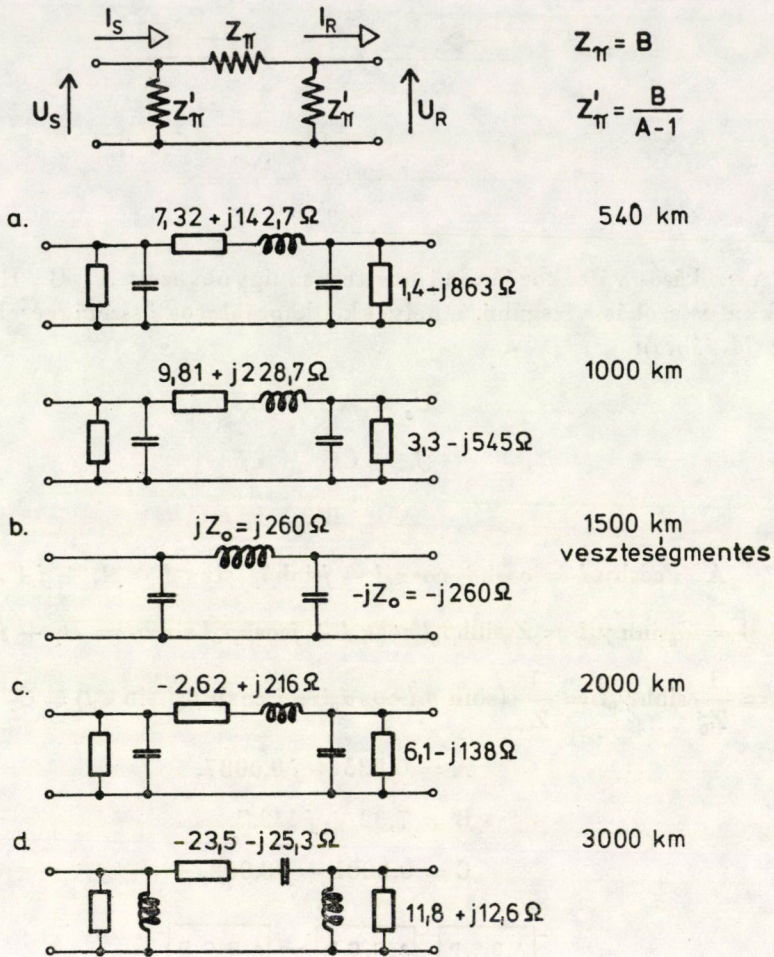
$$\sinh g = \sqrt{BC}$$

$$\cosh g = \sqrt{AD}$$

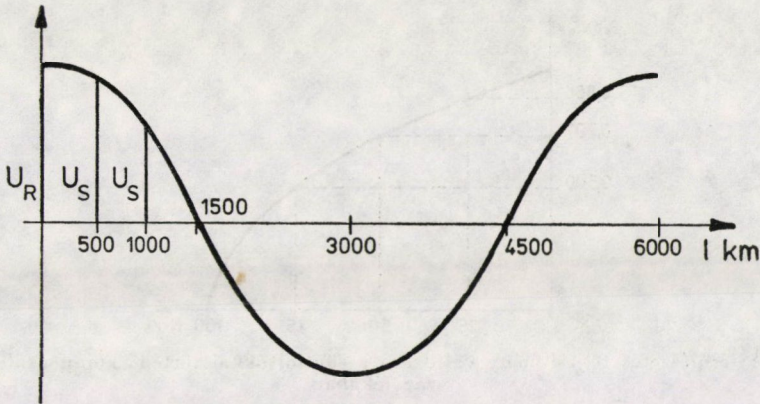
vezetékhez csatlakozó koncentrált elemek



5. ábra. Kaszkádba kapcsolt hálózatok összefüggései

6. ábra. Hosszú távvezeték helyettesítő  $\Pi$  vázlata

Ezeknek az az előnyük, hogy rendkívül egyszerűen lehet velük számolni kaszkád kapcsolásnál, azaz két vezetékszakas sorbakapcsolásánál, az eredő  $A-B-C-D$  konstansokat mátrix-szorzat formájában könnyen meg lehet adni (5. ábra). Az ilyen módon való számítás előnye a sorbakapcsolt koncentrált elemek egyszerű figyelembevételi lehetősége, amivel tetszőleges konfigurációk is számíthatók, pl. a vezeték két végén elhelyezett fojtótekercesek, transzformátor, soros kondenzátor stb. A tisztán megoszló paraméterű rendszerrel szemben valamely koncentrált elemeket is tartalmazó eredő hálózatra vonatkozóan a hullámenállást, valamint a terjedési együtthatót az eredő  $A-B-C$  értékekből kell kiszámítani.

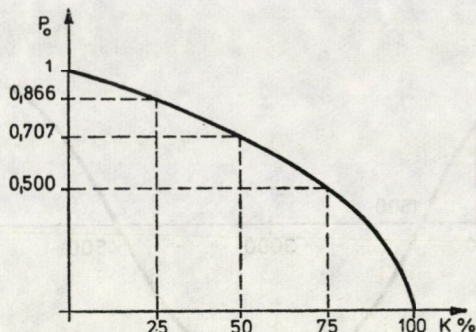


7. ábra. A feszültség abszolút értékei a hossz mentén üresjárásban (állóhullám)

A gyakorlatban szokásos a nagy vezetékrendszereket koncentrált elemekkel helyettesítve, úgynevezett egyenértékű *II* vázlatokkal figyelembe venni. A 6. ábra öt esetet tüntet fel 750 kV-ra: az 540 km hosszút, az 1000 km-es, az 1500 km-es, a 2000 km-es és a 3000 km-es esetet. Látható, hogy amíg rövid vezetékelnél az egyenértékű *II* elemeinek jellege az elemi, hosszegységre vonatkozó elemek jellegével azonos, legalábbis kvalitatíve, addig igen hosszú vezetékelnél különböző furcsaságok keletkeznek, pl. a soros negatív ellenállás, sőt bizonyos hosszon túl a vezeték végpontjairól nézve soros kondenzátorral és söntinduktivitással veendő figyelembe. Hosszú távvezetékelnél igen fontos az üresjárás állapot vizsgálata a fellépő 50 Hz-es túlfeszültségek miatt.

Az üresjárás viszonyok jól jellemezhetők az *A* vezetékállandóval. Az *A* értéke az üresjáró vezeték végpontjain fellépő feszültségek arányával egyenlő,  $A = U_s/U_R$ . Az *A* abszolút értéke mindig 1-nél kisebb, mivel az üresen járó *R* oldal feszültsége megemelkedik a táppont feszültségéhez képest. Ez az ismert Ferranti jelenség, aminek az az egyszerű magyarázata, hogy a hosszú vezeték jelentős kapacitív árama a soros induktivitásokon átfolyva feszültségemelkedést hoz létre. A feszültség hossz menti eloszlását a 7. ábra mutatja. Látható, hogy a feszültség koszinuszosan változik a hossz mentén. 1500 km vezeték-hosszig az üresjáró *R* oldal feszültségemelkedése a  $\cos$  függvény szerint a hosszal növekszik. Ha pl. a vezeték-hossz 200 km, azaz a teljes hullámhossz 30-ad része, ami 12 villamos foknak felel meg, akkor az *A* értéke 0,98, ami 2%-os feszültségemelkedésnek felel meg. 500 km vezeték-hossznál, ami a teljes hullámhossz 1/12-e, a 30 villamos foknak megfelelően,  $1/\cos 30^\circ = 1,24$  szeres, azaz 24%-os feszültségemelkedés jönne létre söntfojtótekercek alkalmazása nélkül.

Az 1500 km-es esetben, mivel negyedhullámhosszról van szó, ami 90 villamos foknak felel meg, az *A* értéke 0. A *II* vázlatból veszteségmentes esetre



8. ábra. A természetes teljesítmény változása a söntfojtókkal történő kompenzálás fokának százalékában

látható, hogy a  $j \cdot Z_0$  és a  $-j \cdot Z_0$  impedanciák éppen rezonanciában vannak 50 perióduson és így fojtótekeres nélkül elvileg végtelen nagy feszültség keletkezhetik, amit természetesen a veszteségek korlátoznak.

Söntfojtókkal a vezeték kapacitások kompenzálhatók, és így ezzel az üresen járó vezetékvégpont feszültségemelkedése csökkenthető.

Ezek után világos, hogy milyen okok játszottak közre abban, hogy a kanadai és az USA-beli vezetékeket rövidebb szakaszokra osztották, ami többletmegszakítókat stb. igényel, és hogy a fojtótekerceket üzemközben sem kapcsolják ki, ami a természetes teljesítményt csökkenti. Egy részleges kompenzációt fenntartva igyekeznek  $A$  értékét minél jobban növelni, azaz a feszültségemelkedést csökkenteni.

A 8. ábrán feltüntettük a természetes teljesítmény változását a kompenzálás mértékének függvényében. Látható, hogy a kompenzálás növelésével a természetes teljesítmény csökken. Ha teljesen kikompenzáljuk a kapacitásokat, akkor a természetes teljesítmény 0-ra csökken.

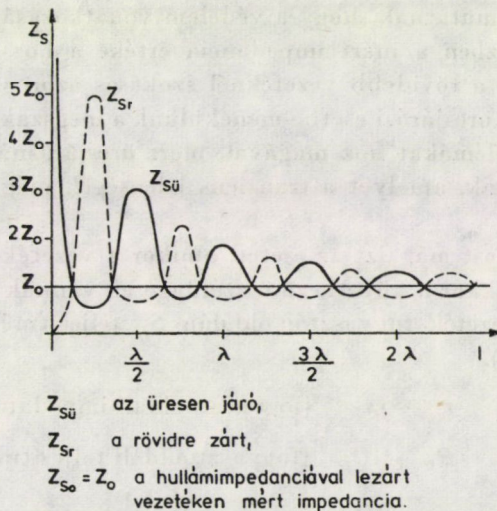
Összehasonlítva veszteségmentes esetben a természetes teljesítmény átvitelének üzemállapotát az üresjárással, látható, hogy a természetes teljesítmény átvitele azonos nagyságú végponti feszültségek mellett történik. Üresjárásban az azonos nagyságú végponti feszültségek biztosításához 100%-os kompenzálásra van szükség. A végponti feszültségek állandó értéken tartása és a lehetőleg nagy teljesítmény átvitele egymással a kompenzálás szempontjából ellentétes követelmények és a megoldás csak kompromisszum lehet. Tehát tulajdonképpen 100%-os kompenzálásnál a feszültség nem emelkedik üresjárási esetben, de nem lehet teljesítményt átvinni. Az ábrából az is látható, hogy mi az a 750 kV-os kompromisszum, amit az amerikaiak csináltak. Kb. 60%-os kompenzálást állandóan a vezetéken hagyva, kb. 1200 MW-os természetes teljesítményt tudnak elérni. (Ez bizonyos mértékig a végpontokon elhelyezett kapacitásokkal tovább fokozható, mert tulajdonképpen egyenértékű azzal, mintha a söntfojtó induktivitása kisebb lenne, de kikapcsolás esetén

a vezeték kompenzációs foka, illetve üresjárás esetére vonatkozó  $A$  tényező mégis kedvezőbb értékű.)

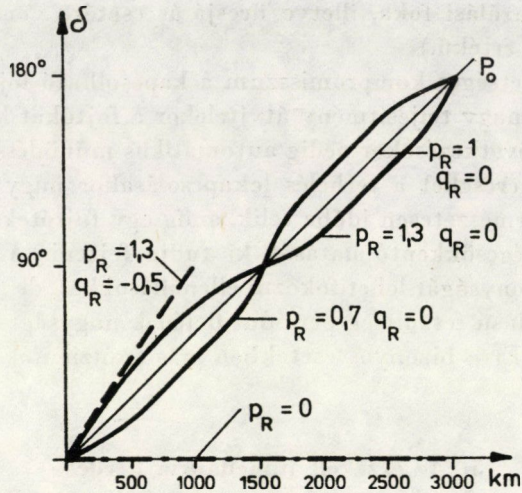
A másik lehetséges kompromisszum a kapcsolható fojtótekercesek alkalmazása, amikor nagy teljesítmény átvitelekor a fojtókat kikapcsolják, üresjárás állapot bekövetkezésekor pedig automatikus működéssel bekapcsolnak a fojtók. A fojtótekerceseket a terhelés lekapcsolásakor nagy gyorsasággal kell bekapcsolni, de természetesen időbe telik, amíg egy fojtótekerces egy tranzienstelen folyamán feszültségcsökkentő hatását ki tudja fejteni. A bekapcsolásnál a fojtótekerces hatékonyságát lehet fokozni ellenállásokkal, de természetesen még így is az 50 periódusú feszültség periódusidejének nagyságrendjébe esik, amíg az hatékony lesz. Erre bizonyos esetekben más tranziensek is szuperponálódhatnak.

### 5. Az érzékelt impedancia kérdése

A 9. ábra egy hosszú távvezeték generátor oldaláról mért bemenő impedanciáját mutatja a hossz függvényében. Rövid távvezetéknel teljesen természetes, hogy az üresenjáró vezeték bemenő impedanciája végtelen, rövidzárási impedanciája pedig közel zérus, ill. a vezeték soros impedanciája. Hosszú vezetéknel másképpen áll a helyzet. A vezeték hosszának függvényében feltüntettük a mérhető bemenő impedancia értékét üresjárásban, rövidzárási állapotban, valamint a hullámellenállással lezárt vezeték esetében. Ennek a diagramnak az az érdekessége, hogy van olyan távolság, ahol a rövidzárt vezeték bemenő impedanciája nagyobb, mint az üresjárás vezetéké, és ugyanakkor a  $Z_0$  impedanciával lezárt vezeték esetén pontosan  $Z_0$  impedancia mérhető.



9. ábra. A vezeték tápoldalán mérhető impedanciák a vezeték hossz függvényében



$$\tan \delta = \frac{p_R \tan \alpha_0 l}{1 + q_R \tan \alpha_0 l}$$

ha  $q_R = 0$  és  $p_R = 1$ , akkor  $\delta = \alpha_0 l$   
 ha  $p = 0$ , akkor  $\delta = 0$

10. ábra. A táp- és fogyasztói oldal feszültségei közti szög a vezeték hossz függvényében, különböző wattos és meddőteljesítmény átviteli viszonyok mellett [2].

hető a hosszától függetlenül. Ebben az esetben tehát egy tetszőleges hosszúságú vezeték tulajdonképpen olyan jellegű, mintha 0 hosszúságú lenne. Az eddig elmondottak arra mutatnak, hogy a védelem vonatkozásában újszerű problémák vannak. Részben a mért impedancia értéke a hosszal nem arányosan változik, másrészt a rövidebb vezetéknél szokásos azon védelmi elv, hogy a zárlatos esetből az üresjárási esetben menekülünk a megszakító kikapcsolásával, jelen esetben problémákat hoz magával, mert üresjárásnál viszont feszültség emelkedés keletkezik, amelyet a tranziens jelenségek még tovább súlyosbítanak.

Tekintsük most már azt az esetet, amikor a vezetéket egy  $Z_R$  impedanciával zárjuk le. Ekkor a következő összefüggések vannak érvényben, ami azt jelenti, hogy a vezeték fogyasztói oldalán  $S_R$  teljesítményt szolgáltatott a vezeték (10. ábra).

$$Z_R = r_R + jx_R \quad (\text{fogyasztóoldali impedancia}),$$

$$S_R = P_R + jQ_R \quad (\text{fogyasztóoldali teljesítmény}),$$

$$S_R = \frac{U_R^2}{Z_R}, \quad S_R = \frac{U_R^2}{Z_R},$$

$$P_0 = \frac{U_R^2}{Z_0} \quad (\text{természetes teljesítmény}),$$

$$S_R = \frac{S_R}{P_0} = p_R + jq_R \quad \text{teljesítmény relatív értéke},$$

$$\frac{\hat{S}_R}{P_0} = \frac{Z_0}{Z_R} = p_R - jq_R \quad \text{az impedancia reciprokanak relatív értéke},$$

$$U_R = U_R \angle 0^\circ,$$

$$U_S = U_S \angle \delta,$$

$$U_S = U_R \cos \alpha l + jU_R \frac{Z_0}{Z_R} \sin \alpha_0 l =$$

$$= U_R (\cos \alpha_0 l + q_R \sin \alpha_0 l + jp_R \sin \alpha_0 l) = U_R K_\nu e^{j\delta},$$

$$\left| \frac{U_S}{U_R} \right| = K_\nu = \sqrt{(\cos \alpha_0 l + q_R \sin \alpha_0 l)^2 + p_R^2 \sin^2 \alpha_0 l}.$$

Bevezetve a fajlagos teljesítményeket, amelyeket a vezeték természetes teljesítményére számítunk, kapjuk az  $s_R$  teljesítmény-értéket. Feltételezésünk szerint  $U_R$  szöge az abszcisszával esik egybe. Ebben az esetben veszteségmentes esetre kiszámíthatjuk a két végponton levő feszültség abszolút értékeinek hányadosát, amelyben most már a fogyasztói oldali wattos és meddő teljesítmény, a vezeték terjedési együtthatója és hossza szerepel. Ebből kiszámítható a vezeték két végének feszültségvektorai közötti szögműködés, amely stabilitási szempontból érdekes. Ezen képlet összefüggéseit diagrammon szemléltetve a következők láthatók: ha a veszteségmentes vezeték természetes teljesítményét viszi át és  $q_R = 0$ , akkor a két oldal feszültsége között levő szög pontosan,  $\alpha_0 l$ -nek felel meg. Ez egyedül a természetes teljesítmény átvitelénél van így. Ez tehát egy origón átmenő  $45^\circ$ -os egyenes. Megjegyzendő, hogy ugyanakkor a két végponton a feszültségek nagyságra azonosak.

Ha üresjárásról van szó, tehát  $p_R = 0$ , akkor a vezeték hosszától függetlenül  $\delta = 0$ , azaz nincs szögelfordulás, a két végpont feszültségvektora szögműködés nélkül szinkron forog egymással, a hosszától függetlenül. Az ábra bemutat még néhány egyéb esetet is; ha a  $p_R$  nagyobb mint a természetes teljesítmény és a  $q_R = 0$ . Ebben 1500 km-ig a szögek nagyobbak mint a természetes teljesítmény átvitelénél, amelyet a rövid vezetékeknél megszoktunk és természetesnek is tartunk. Érdekes módon azonban 1500 km-en túl a szögek kisebbé válnak mint a természetes teljesítmény átvitelekor. Hasonlóképpen felvettünk egy esetet, ahol a természetes teljesítménynél kisebb wattos teljesítményt viszünk át, meddő átvitel nélkül, ahol 1500 km-ig kisebbek a szögek mint a természetes teljesítménynél, 1500 km-en túl viszont nagyobbak, valamint felvettünk olyan esetet is, amikor  $q_R \neq 0$ , azaz meddőteljesítmény átvitel is van, ilyenkor a szögek tovább növekedtek.

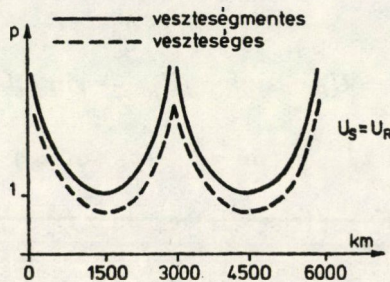
veszteségmentes esetben

$$P_{\max} = \frac{|U_R| |U_S|}{Z_0 \sin \alpha_0}$$

veszteséges esetben

$$P_{\max} = \frac{|U_R| |U_S|}{|B|} = \frac{|U_R| |U_S|}{|Z_0 \sinh \alpha_0|}$$

$$\rho = \frac{P_{\max}}{P_0}$$



11. ábra. Az átvihető maximális teljesítmény a vezetékhozz függvényében [2].

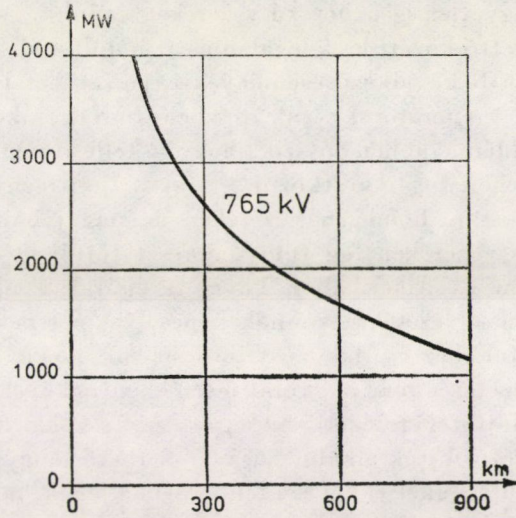
Tulajdonképpen az 1500 km feletti résznek inkább teoretikus tartalma van, mert egy hosszban váltakozóáramra nem építenek ilyen hosszú vezetékot.

A 11. ábrán az átvihető maximális teljesítmény  $P_{\max}$  értéke látható a természetes teljesítményre vonatkoztatott relatív egységben veszteséges és veszteségmentes esetben a hossz függvényében. 500 km-ig az átvihető teljesítmény a hosszal csökken. Érdekes módon 1500 km-en felül ismét növekedés van 3000 km-ig.

A nagyfeszültségű vezetékeknél, ha azok rövid szakaszokból állnak, lehetséges a természetes teljesítmény feletti értékeket átvinni, de többszáz km-es esetben a gyakorlatban stabilitási okoknál fogva legfeljebb a természetes teljesítményt viszik át. Miután általában stabilitási tartalékra van szükség, a vezeték természetes teljesítménye alatt visznek át energiát valamely vezetéken, természetesen lehet a transziens stabilitási határ felett is teljesítményt átvinni, szerencsés esetben nem lesz baj, de a statikus stabilitási határ már korlátozó jellegű. Bizonyos stabilitási tartalék tartása mellett a gyakorlatilag átvihető teljesítmény látható a 12. ábrán a vezetékhozz függvényében 765 kV névleges feszültségű vezetékekre vonatkozóan.

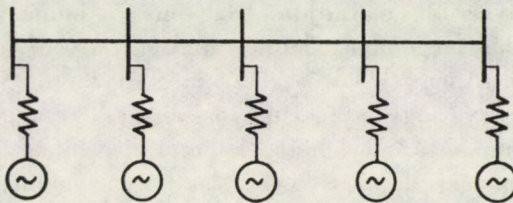
A 13. ábra egy hosszú távvezetékot mutat, amely alállomásokkal meg van szakítva és több szakaszból áll. Ilyen lesz pl. az Albertirsa Donbassz közötti vezeték is. Minden gyűjtősinhez jelentős teljesítményű erőművek csatlakoznak. Természetes, hogy azt ami jelentős, a természetes teljesítményhez kell mérni. Pl. egy 220 kV-os hálózathoz egy 1000 MW-os erőmű igen jelentős. Egy 750 kV-os vezetékhez ugyanezen erőmű kevesebb, mint az egyirányban elmenő





12. ábra. Átvihető teljesítmény a vezeték hossz függvényében

vezeték természetes teljesítménye. Ha a vezeték minden pontjában a természetes teljesítményhez képest végtelen teljesítményű hálózat csatlakozik, ami azt jelenti, hogy az ábrán feltüntetett reaktanciák 0, vagy közel 0 értékűek, akkor az ideális feszültséggenerátorok az adott gyűjtősin feszültségét fix-értéken tartják, tekintet nélkül, hogy mi történik a vezeték többi részén. Ebben az esetben átviteltechnikai szempontból a vezeték szétesik egymástól független szakaszokra. Ilyen esetben gyakorlatilag korlátozás nélkül lehet hosszú vezetékeket építeni, ami az ábrán feltüntetett összefüggésből is következik, ekkor ugyanis a rövid szakaszok miatt a  $\sin \delta$  összefüggésből  $\delta$  lesz és így a  $\delta$ -k korlátozás nélkül egyszerűen összeadódnak. A másik szélső eset, hogy ezeken a gyűjtősineken egészen kis generátorok vannak, amelyek reaktanciája végtelen;



Stabilitás  $P = \frac{U'}{B} \sin \delta$

helyett kis szögeknél  $P = \frac{U'}{B} \delta$

13. ábra. Hosszú vezeték közbenső betáplálásokkal ( $U_R=1$ ).

ebben az esetben egyetlen igen hosszú vezetéket kapunk. A gyakorlati eset a mi esetünkben a kettő között lesz, legalábbis az indulásnál. Tehát a különböző vezetékszakaszokon bekövetkező események egymást befolyásolják, és azt a gyűjtősínekre levő generátorok csak részben tudják kikompenzálni. Jelen esetben a fő probléma abban látszik, hogy a teljesítmény többlet elsősorban Donbassz-i végen fog mutatkozni, és így teljesítményáramlás, ha nem is egy 1500 km hosszú homogén vezetéken de nagyjában egy szakaszokra osztott 1500 km-es vezetéken fog túlnyomórészt történni.

A Kanadában és Amerikában követett eljárásnak, amikor a fojtótekerceket állandóan a vezetékre vannak kapcsolva, perspektívája az, hogy a 750 kV-os gyűjtősínekhez csatlakozó teljesítmény növekedéssel, amikor ez a szakaszokra való szétesés már nagyobb mértékben bekövetkezett, teszi majd kapcsolhatóvá a fojtótekerceket. Az egyes szakaszok végpontján telítődő vasmaggal rendelkező fojtók alkalmazásával elérhető, hogy a vezeték végpontok tartásuk a feszültségüket és így akként viselkedjenek, mintha ott végtelen teljesítményű betáplálás lenne. E fojtók áramának megnövekedése adhat működtetést a lineáris fojtók bekapcsolására, amelyek bizonyos idő elteltével tehermentesítik a telítődő fojtókat.

A vezeték alapvédelme blokkolt áramfázis összehasonlítás plusz negatív sorrendű teljesítmény irány összehasonlítás. A tartalék védelem fázisok közötti távolsági védelem és zérussorrendű áramirány összehasonlítása. Az alapvédelem működési ideje 20 ms. A megszakító önideje kb. 40 ms. Tehát 0,1-s-on belül megtörténik a kikapcsolás, ami stabilitás szempontjából kedvező. A megszakítók HAVA és EVA működést végeznek majd.

## 6. A gyorsvisszakapcsolás

Néhány szót a gyorsvisszakapcsolásról. Óriási érdekek fűződnek ahhoz, hogy a vezeték minél üzembiztosabb legyen, és így a tranziens stabilitási határ is kedvezőbb maradjon. Nagyon jó lenne, ha az egyfázisú gyors visszakapcsolás megoldható lenne, minthogy ilyenkor a két ép fázison és a földön a teljesítmény jelentős része még átvihető. Szakmai körökben elterjedt az a vélemény, hogy egyfázisú gyors visszakapcsolás bizonyos hosszon túl már nem alkalmazható, mert hiába kapcsol ki a hibás fázis két oldalán a megszakító, a két ép fázis kapacitív csatolással olyan mennyiségű töltőáramot juttat az FN zárlatos vezetékbe, amely az ívet fenntartja. Ez általában természetesen így van, de ha fojtótekerceket vannak a vezetékben, úgy a helyzet némileg módosul. A szimmetrikusnak képzelt háromfázisú vezetéknek van egy zérus sorrendű kapacitása és van egy fázisok közötti  $C_{ab}$  kapacitása. A deltába kapcsolt  $C_{ab}$ -ket egyenértékű csillaggal lehet helyettesíteni, és ebben az esetben láthatóan a pozitív sorrendű kapacitás  $C_1 = C_o + 3C_{ab}$ . Látható,

hogy a pozitív sorrendű kapacitás értéke nagyobb mint a  $C'_0$ , amely a földkapacitást reprezentálja. Így a pozitív sorrendű impedancia értéke kisebb, mint a zérus sorrendű kapacitásnak megfelelő impedancia.

Ha a vezeték végpontjain elhelyezett söntfojtók csillagpontjára egy kiegészítő reaktanciát helyezünk el, akkor elérhető, hogy a vezeték nemcsak pozitív sorrendre, hanem a kölcsönös kapacitásra is kilegyen kompenzálva. Ebben az esetben FN zárlatkor hasonló helyzet áll fenn mint egy Petersen tekercses hálózaton, vagyis az FN zárlati ív kigyullad, de mivel a parallel kapcsolt induktivitás és a kapacitások eredője végtelen, az áram megszakad. Ezt a módszert azonban elsősorban akkor lehet alkalmazni, ha földelt védővezető van, és így a zérus sorrendű kapacitás nagyobb, tehát ez és a pozitív sorrendű kapacitás közötti különbség kisebb. Egy kis kapacitás különbségnek egy nagy impedancia felel meg, ami kis fojtótekercseket jelent.

A háromfázisú visszakapcsolás tranziens stabilitási szempontból, de trapped charge-ra való rákapcsolási veszély miatt is kedvezőtlenebb. Azon azonban viták vannak, hogy 300 km felett alkalmazható-e az egyfázisú gyorsvisszakapcsolás, a fojtókra kapcsolt ellenállások ugyanis elrontják a Petersen-szerű hatást.

## 7. Túlfeszültségek

Nézzük most a légköri eredetű túlfeszültségek kérdését. A középfeszültségű és 120 kV-os vezetékeknél a távvezeték és az ahhoz kapcsolódó berendezések szigetelésének méretezése szempontjából alapvető jelentősége van a villámcsapásokkal kapcsolatosan keletkező túlfeszültségeknek.

A villámáramok nagysága statisztikai eloszlásban néhány kA-tól több száz kA-ig terjed oly módon, hogy 100 kA feletti villámok előfordulási valószínűsége rendkívül kicsi. A villámokat áramgenerátorként tekintjük. Így egy 20 kA villámcsapás egy 10 ohmos földelési ellenálláson 200 kV-os feszültséget kelt, amely a középfeszültségű vezetéken nyilván visszacsapást okoz. Ugyanez természetesen már 100 kV-nál általában nem okoz bajt, — feltételezve hogy közvetlen villámcsapás lehetőségét védővezetővel nagy valószínűséggel elkerüljük —. Egyre nagyobb feszültségnél a villámcsapás szerepe már jelentékenyen csökken és ha kiküszöböljük a villámcsapás lehetőségét, úgy csak rendkívül ritka és meredek villámcsapásokra kell számítani, amelyek a berendezés impulzus szilárdságát veszélyeztetik. A villámcsapások várható száma függ a meteorológiai viszonyoktól a vezeték nyomvonalán. A létesítendő vezeték mentén a zivataros napok száma  $35 \div 40$ , a zivataros órák száma 55 óra/év. A teljes vezetékre a villámcsapások következtében várható lekapcsolások száma évi 0,75.

Ezekben a nagyobb feszültség-régiókban viszont a belső tranziens feszültségek, a kapcsolási túlfeszültségek azok, amelyek a méretezés alapjául

szolgálnak. Megjegyzendő, hogy a Szovjetunióban speciális 50 Hz-es próbák vannak előírva, ill. alkalmazva, ugyanis tapasztalatok szerint korreláció van az 50 Hz, lökő és tranzienst között. Rendkívüli erőfeszítések történnek arra vonatkozóan, hogy a kapcsolásokból keletkező túlfeszültségeket csökkenthesék és az úgynevezett kapcsolási túlfeszültség-tényezőt, mely a keletkező túlfeszültségek csúcserőértéke a szinuszos legnagyobb üzemi fázisfeszültség csúcserőértékére vonatkoztatva, minél kisebb értékre lehessen leszállítani. Ez az igyekezet érthető, mert a teljes berendezés szigetelését ezek a túlfeszültségek szabják meg.

750 kV-nál a vonatkoztatási feszültség, kb. 1,05-szörös maximális üzemi feszültséget, azaz  $787 \text{ kV}_{\text{eff}}$ -ot véve alapul

$$\approx \frac{1,05 \cdot 750 \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 642 \text{ kV pill. érték.}$$

Általában a megengedett túlfeszültségtényezőt kapcsolási túlfeszültségekre 245 kV-nál 3-szorosban, 525 kV-nál 2,5-szeresen, 750 kV-nál kb.  $1,8 \div 2,1$ -szeresen szokták megállapítani, ez utóbbi 1350 kV feszültségpillanatértéknek felel meg.

A kapcsolási túlfeszültségek időtartama szemben a nagyságrendben  $100 \mu\text{s}$  időtartamú atmoszférikus túlfeszültségekkel  $100 \div 5000 \mu\text{s}$  között van, és így láthatóan nagyobb az energiatartalmuk és a szigetelések hosszabb idejű igénybevétele miatt egészen más kihatásuk van.

Hogy teljesen világos legyen, hogy a kapcsolási túlfeszültségeknél alapjában véve miről van szó, a következőket kell elmondani: ha egy bizonyos hosszúságú, 1 fázisú, veszteségmentes üresjáró vezeték egy ideális legyen feszültség-generátorral bekapcsolnak, akkor azon fénysebességgel egy feszültség-hullám halad végig, az üresjáró oldal kétszeres feszültségértékre emelkedik, majd a generátor felé visszafelé indul egy vándorhullám, amely az eredeti hullámra tevődve kétszeres feszültségértéket hoz létre. Az ideális feszültség-generátor impedanciamentes lévén, megváltoztatja a hullám polaritását. Ennek következtében egy lebontó hullám halad végig a vezetéken, amely a pozitív reflexiók együttható miatt a nyitott végen ismét negatív polaritással verődik vissza, amely lebontja, vagyis 0-ra csökkenti ezen a ponton a feszültséget. Veszteségmentes esetben ez a lengő jellegű jelenség végnélkül folytatódik.

Veszteséges esetben néhány reflexió után kialakul a vezeték mentén a stationer feszültség. Látható, hogy a nyitott végponton levő berendezések a vezeték-hossz befutási idejének kétszereséig kétszeres feszültségen vannak. Minél hosszabb a vezeték, annál hosszabb ideig tart ez az állapot. Ez a feltételezés egy olyan esetre vonatkozott, amikor — ha a megszakító, már bekapcsolt, — többé nem szakad meg a bekapcsolt állapot. Ehhez az ideális megszakítóhoz képest természetesen eltérések vannak.

Egy közönséges háromfázisú megszakítónál a helyzet a valóságban olyan, hogy az a fázisvezető kapcsolódik be először, amelyen a maximum közelében van a szinuszhullámon a feszültség, mert az érintkezők között átütés következik be. A másik két fázisban a jelenség kissé késve játszódik le, aminek az az eredménye, hogy a kölcsönös impedanciák és a vándorhullámokban folyó áramok hatására elvileg a legkedvezőtlenebb esetben a feszültség értéke 2,5-szeres is lehet. Abban az esetben, ha kikapcsolás következik be egy ép fázisban, majd visszakapcsolnak arra, pl. háromfázisú gyorsvisszakapcsolásnál, akkor a jelenség a következőképpen zajlik le: minthogy a két végponton levő megszakító elvileg nem pontosan ugyanazon időpontban szakít meg, az első megszakító meg fogja szakítani a terhelési áramot, és a másik megszakító a kapacitív áramot szakítja meg. A kapacitív áramot akkor fogja megszakítani, amikor ez az áram 0-án megy át, vagyis a feszültség éppen maximumban van. Ennek következtében a vezeték a maximális feszültségre feltöltve marad (úgynevezett trapped charge keletkezik). Ha most erre a maximális feszültségen levő veze-

## I. táblázat

Kapcsolási transziens feszültség  $U_p = 642$ 

Eset	50%	$\sigma$	2 ÷ 3%
1., transzf. bekapcs. $\Delta$	1,15 ÷ 1,25 1,2 ÷ 1,3	0,35 ÷ 0,2 0,4 ÷ 0,2	1,75 ÷ 1,65 1,85 ÷ 1,75
2., transz. kikapcs.	1,25	0,3	1,95
3., sönt fojtó kikapcs.	1,9 ÷ 2,05	0,15 ÷ 0,3	2,3 ÷ 2,7 1,7* túlfesz lev.
4., üresen járó vezeték bekapcs. $S_{oldal}$	1,5	0,15	1,75
5., üresen járó vezeték bekapcs. $R_{oldal}$	1,6	0,2	1,85
6., 3 F gyors visszakapcs. $S_{oldal}$	1,54 ÷ 1,58	0,19 ÷ 0,32	2,05 ÷ 2,1
7., 3 F gyors visszakapcs. $R_{oldal}$	1,55 ÷ 1,65	0,35 ÷ 0,4	2,35 ÷ 2,45
8., egy vagy két vezető kikapcs. áll.	—	—	< 2,1

tékre egy rövid idő múlva visszakapcsolnak, mégpedig oly módon, hogy a feszültség éppen ellenkező polaritású maximumban van, ebből háromszoros túlfeszültség is keletkezhetik, sőt a háromfázisú hatásokat figyelembe véve még ennél is nagyobb. Minden áron el kell tehát kerülni, hogy a vezetékeken trapped charge maradjon. Azt is el kell kerülni, hogy a feszültség egy olyan üresjárású eset irányában haladjon, aminél stacioner vonatkozásban feszült-

ségemelkedés van, hiszen akkor az előbb említett feszültségeknél nagyobb amplitúdójú feszültségek reflektálódhatnak. A trapped charge megszüntetése tekintetében fontos szerepet játszanak a fojtótekerccsek, amelyekben keresztül a vezeték kisülhetnek. Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni azt a körülményt, hogy a vezeték kapacitása és az azt kikompenzáló fojtótekerccsek teljes kompenzálásánál éppen 50 periódusra vannak hangolva, ennek következtében a kétoldali kikapcsoláskor a kikompenzálás mértékétől függően lengés keletkezik a fojtótekerccs és a vezető kapacitása között, kb. az 50 Hz környékén. Ez azt jelenti, hogy a fojtótekerccs önmagában nem elegendő a töltés levezetéséhez, mert veszteségmentes esetben ez a lengés végnélkül tart és egy ilyen esetben való rákapcsolásnál a visszamaradó töltés miatt nagy valószínűséggel veszélyes túlfeszültség keletkezik. Az ilyen túlfeszültségek megelőzésére a fojtótekerccsek csillagpontja és a föld közé olyan ellenállásokat helyeznek el, amelyek alkalmasak arra, hogy disszipálják az energiát és elősegítsék azt, hogy a töltés igen gyorsan eltűnjék a vezetékről. (Figyelembe kell természetesen venni, hogy a vezeték kisülése a teljes vezeték hossz befutási idejének megfelelő időtartamig a természetes teljesítmény nagyságrendjébe eső teljesítmény áramlását jelenti, amely természetesen nagy teljesítményt jelent és a disszipáló ellenállást erre méretezni kell.)

Hasonlóképpen a fojtótekerccsek kikapcsolása is közel háromszoros túlfeszültségeket eredményezhet. A legnagyobb tranziens túlfeszültségek két rendszer szétesésének kikapcsolásakor, ill. aszinkron zárlat utáni kikapcsolásnál, ill. bekapcsolásnál keletkeznek. Érthető, hogy a tranziens túlfeszültségeket mindenképpen csökkenteni igyekeznek.

Az I. táblázat a különböző kapcsolási műveletek során fellépő túlfeszültségtenyezőket mutatja. A tranziens túlfeszültségek statisztikai eloszlást követnek. Láthattuk, hogy milyen 50 periódusú túlfeszültség keletkezhet, különösen teherledobásnál üresen járó vezetékknél. Külön problémát jelent ilyen vonatkozásban a két végponton lévő megszakítók hibás működése és a két végponton lévő megszakító szinkronizálatlan volta. Az ábra [1] alapján készült.

Külön problémát jelentenek azok az esetek, amikor aszimmetria miatt ferrezonancia következik be. E vezetékeken szokásos olyan védelem, amely 10%-os 50 Hz-es feszültségemelkedés esetén kb. 10 s múlva kikapcsol és nem enged két vezetékszakaszt üresen bekapcsolódn.

Az eddig elmondottakból világos és érthető az a nem olcsó törekvés, hogy rövid szakaszok legyenek, és hogy a fojtótekerccsek állandóan üzemben legyenek.

A fellépő tranziens túlfeszültségek szempontjából rendkívül érdekes a megszakítók viselkedése. Egy közösleges megszakító alkalmazásánál pl. a maradó töltésre való bekapcsolásnál háromszoros túlfeszültségtenyezők is előfordulhatnak, sőt ugyanez aszimmetrikus zárlatnál még többet is okozhat.

A megszakító minősége döntően befolyásolhatja a túlfeszültség értéket. Az amerikaiak és kanadaiak különösen ebben az irányban tesznek nagy erőfeszítéseket és eddig a következő rendkívül bonyolult és drága megoldások keletkeztek:

a) Egy olyan megszakító, amelynek a három fázisa, tekintet nélkül a feszültség pozícióra, gyakorlatilag egyidejűleg kapcsol be (kb. 2 ms-on belül), mert ebben az esetben a háromfázisú bekapcsolás kedvezőbb mint az egyfázisú.

b) Olyan megoldás, ahol egy, a hullámmellenállás kétszeresének nagyságrendjébe eső ellenálláson keresztül kapcsol be a megszakító, és így az első pillanatban a vonalra eső feszültség csak mintegy harmada lesz annak, ami ellenállás nélkül lett volna. Ezután további ellenállás bekapcsolásával fél-feszültségre emelik a feszültséget, majd kiiktatják az ellenállásokat. Ez természetesen egy igen bonyolult berendezés, viszont gyakorlatilag teljesen túlfeszültségmentes bekapcsolást biztosít.

c) Olyan megszakítót alkalmaznak, amely az egyik fázisban méri a feszültséget és a feszültség 0 átmenetnél 2 ms-on belül bekapcsol, majd a  $120^\circ$  és  $240^\circ$  villamos fokos eltolódással kapcsolja a másik két fázist. Így tulajdonképpen a 0 értékű feszültséget kapcsolja be, aminek eredményeképpen kisebb túlfeszültségtényezők jelentkeznek. Ilyen alapon, figyelembe véve a rövid vezetékszakokat, az állandóan bekapcsolt fojtótekerceket és a speciális megszakítókat, sikerült a túlfeszültség tényezőt 2 alá, kb. 1,8-ra leszállítani, sőt ez a túlfeszültségtényező-érték a gyakorlatban inkább 1,6 tájára került.

A publikált irodalomból általunk megismert szovjet tervezői álláspont szerint e nagyon bonyolult megszakítók rendkívül költségesek, főleg, ha sok rövid szakasz van. Gazdasági számítások alapján a legésszerűbb kb. 2,1-szeres túlfeszültségtényezővel számolni, és inkább hatékony, sokat kibíró túlfeszültség levezetőket alkalmazni, mivel e túlfeszültség levezetők összköltsége az egész vezeték, ill. alállomásokhoz képest nem jelentős. A szovjet túlfeszültségvezetők RVM 750 alállomási és RVMK 750 vezetéki levezető 50 Hz-es megszólalási feszültsége  $820 \div 950 \text{ kV}_{\text{eff}}$  (föld-fázis). A maradék feszültség 1,65 kA névleges levezetőáramnál 850 ill. 1350 kV, aminek 515, ill. 820 ohm ellenállás felel meg, RVMK-n a megengedett legnagyobb árama 1,5 kA 3 msec-ig, az RVM VA 3,5 kA 3 msec. A legveszélyesebb eset a levezetők szempontjából a trapped charge és a hálózati szétesés. Villámokra vonatkozóan 1500 kV a megszólalási feszültség. Az alkalmazott koordináló szikraköz 5,5 m elektródátávolsággal készül, és 2500 kV az átütési feszültsége.

### 8. Összehasonlítás

Nagyon érdekes egyébként összehasonlítani a szovjet és az amerikai -- és kanadai építés koncepcióbeli differenciáját. Amerikában és Kanadában egy-egy nagy vezeték építésénél a létesítő vállalat 1000  $\div$  10000 magános föld,

ill. telektulajdonossal áll szemben, akikkel jogi és anyagi kérdéseket megegyezéssel, vagy peres úton kell tisztázni éveken, inkább évtizedeken keresztül. Ezeken a helyeken, amikor még 1 méter vezetéket sem építettek meg, már a költségek jelentős részét a telektulajdonosoknak kártalanításra ki kellett fizetniük. Ezért Amerikában főleg lakotterületen zárttörzsű oszlopokat építenek, hogy minél kisebbé tegyék a lefoglalt területet, és csak elhagyott területen építenek kikötött oszlopokat. Szocialista körülmények között, valamint figyelembe véve a Szovjetunió azon lehetőségét, hogy vezetékeit nagymértékben lakatlan területen tudja vezetni, ez a kérdés alapján véve másképpen áll, és az úgyszólván mindenáron való méretcsökkentés a szovjet gyakorlatban szükségtelen.

Az előbb említett túlfeszültség tényező csökkentéséhez is a hajtóerő lényegében véve a méretek csökkentése volt, hiszen így kisebb fázistávolság és oszlopméretek engedhetők meg.

Az USA-ban és Kanadában a vezetékeket „V” alakban kifeszített szigetelőláncokra teszik, ahol a két szigetelőlánc által bezárt szög kb.  $2 \times (45 \div 50^\circ)$ . Ezáltal a szigetelők mechanikai igénybevétele  $40 \div 50\%$ -kal nagyobb lesz, ami különösen nagyszilárdságú, válogatott, drága szigetelőket igényel. Ezzel viszont azt érik el, hogy a „V” legmélyebb pontja a térben rögzített, és ennek következtében elsősorban csak a belógásokat kell figyelembe venni, valamint az átívelési feszültségeket a fázis-távolságok megállapításánál. A vezeték lengés mértéke kicsi, így a fázistávolság az USA-ban kb. 14 m.

A Szovjetunióban a szigetelés tömeggyártott üvegszigetelőkkel készül, így a szigetelés olcsóbbá válik, viszont mivel a függőleges tartó-szigetelőlánc mintegy  $6 \div 8$  m hosszú, (minimum  $1,5 \text{ cm/kV}_{\text{eff}}$  kúszóút) ennek lengését is figyelembe kell venni, ami által a fázistávolság nagyobbra, kb. 19,5 m-re adódik, amit a rádiózavarás (a 60 cm-es kötegtávolság miatt) is megkíván. Az oszloptól való legkisebb megengedett távolság az üzemfeszültség szempontjából 1,6 m, a kapcsolási túlfeszültségek szempontjából 4,5 m.

Mivel kikötött portál-szerű oszlopkról van szó és nem zárttörzsű oszlopkról, az oszlopok így könnyűek maradnak. A „V” alakú felfüggesztésnek vannak bizonyos szigetelési előnyei is, minthogy ilyen pozícióban a szigetelőkön végigfolyó víz a földre és nem az alatta lévő szigetelőkre folyik. További előnye a kis fázistávolságnak, hogy így a föld felületén kisebb a térerősség, mivel ugyanolyan földfeletti magasságuk mellett a három szimmetrikus fázisfeszültség egymást kompenzáló hatása jobban érvényesül és így viszonylag kisebb térerősségek keletkeznek a földön. Pl. a mi vezetékünkénél a legnagyobb belógás helyén lakott helytől távol 1,8 m magasságban maximum  $20 \text{ kV}_{\text{eff}}/\text{m}$ -es gradiens keletkezhet a szélső vezeték alatt, a tényleges érték számítások szerint mintegy  $16 \text{ kV}_{\text{eff}}/\text{m}$  lesz. Vonat és útkereszteződésnél ezt az értéket  $12 \text{ kV}_{\text{eff}}/\text{m}$ -ben kívánják korlátozni, ami természetesen magasabb oszlopokat kíván.



Anélkül, hogy részletekbe bocsátkoznánk, rá szeretnénk mutatni arra, hogy mind az induktivitás, mind a kapacitás és így a koronasugárzás képletében is a  $\ln(D/r)$  szerepel, ahol a  $D$  különböző fázisok egymástól való távolsága, ill. ezeknek geometriai középértéke, és az  $r$  a köteges vezető eredő sugara, ill. induktivitás esetén GMR-je. Ha ezt az értéket állandónak tekintjük, akkor nyilvánvalóan azonos vezeték átmérő mellett a kötegen belül távolságokat is változtatni kell. Így az amerikai—kanadai vezetéseken a kisebb fázistávolságnak kisebb  $40 \div 50$  cm kötegen belüli távolság felel meg. Ugyanez az érték a mi esetünkben a nagyobb fázistávolságnak megfelelően 60 cm lesz.

Érdekességként megemlítjük, hogy a vezetéknek nem lakott területen a legmélyebb pontja kb. 10 m lesz és átlagos magassága kb.  $13 \div 15$  m a föld felett. Mivel ez a távolság kisebb a mi esetünkben mint az átlagos fázistávolság, (ami bizonyos mértékig az amerikai megoldásnál is fennáll), ennek nem csak elektrosztatikus vonatkozású hatásai vannak, hanem elektromágneses is. Ez azt jelenti, hogy pozitív sorrendű áramok esetén is folyik a földben bizonyos mennyiségű áram, ami megfelel a háromfázisú kábel köpenyében folyó áramoknak. Ez bizonyos járulékos veszteségeket és járulékos problémákat is okozhat.

Az előbb említett elektrosztatikus hatásnál arra kell ügyelni, hogy nagy fémfelületű a földtől szigetelt járművek, pl. autók, autóbuszok a vezeték közelében ne állhassanak meg, mivel a vezetékkel való kapacitív csatolás miatt járműről lelépőn keresztül jelentős nagyságú kapacitív áram folyhat. Ez az egész kérdéscsoport alapos vizsgálat tárgyát kell hogy képezze több szempontból, beleértve azon dolgozókat, akik állandóan a vezeték környezetében dolgoznak.

## 9. A védővezető

A védővezetővel kapcsolatosan sokan esetleg azt mondhatnák, hogy éppen az elmondottak alapján a védő vezetőknek már nincs nagy jelentősége, mivel a villámcsapásoknak ezen a feszültség szinten már nincs sok szerepük. Ennek ellenére a védővezető rendkívül sok problémában játszik közre.

A villámvédelem szempontjait tekintve a gyakorlat azt mutatja, hogy a kis áramerősségű villámok viszonylag jelentős számban nem csapnak a védővezetőbe, hanem annak megkerülésével inkább a fázisvezetőbe csapnak. Ez érthető, mert a kis töltésmennyiség nem okoz alulról-fölfelé haladó kisülést a védővezetőből, de a nagy áramú és nagy töltésű villámok gyakorlatilag nem kerülhetik el a védővezetőt, és így természetesen megfelelő elhelyezés esetén a védővezető hatékonysága gyakorlatilag 100%-os, minthogy a kis villámok nem veszélyesek a berendezésekre. A védővezető további szerepe lehet hogy az oszlopok fémtestét galvanikusan összeköti és ezáltal elérhető, hogy az oszlopok 50 periódusú ellenállása viszonylag olcsón lecsökkenthető az 1 ohmos nagyság-

rendre, sőt az alá, mivel a földelési ellenállásokat parallel köti. Ennek érintés-védelmi szempontból van nagy jelentősége, mert FN zárlat esetén, amely egy szigetelő átívelésével keletkezik, többször  $10 \text{ kA}_{\text{eff}}$  áram folyhat. Ha ezt a jelen esetben kb.  $20 \text{ kA}$ -osnak tekintjük, úgy nem mindegy, hogy  $10 \text{ ohm}$  keresztül folyik-e a  $20 \text{ kA}_{\text{eff}}$ , ami által az oszlop és a végelen föld között  $200 \text{ kV}$  feszültség keletkezik, ami a vezeték közelében több ezer V-os lépésfeszültséget eredményezhet, vagy az áram  $0,5 \text{ ohm}$  ellenálláson folyik-e és így a távoli földhöz képest az előbbi feszültség huszad része keletkezik, ami a veszélyzónát jelentősen csökkenti.

A védővezetőn azonban, ha az minden oszlopnál földelt, járulékos veszteségek keletkeznek, hiszen a védővezetőben mind a fázisvezetők áramainak hatására, mind a feszültségek hatására áramok folynak, amelyek járulékos veszteségeket okoznak. A védővezetőben keletkező veszteség nagyságrendileg a vezeték teljes részvesztésének  $5\%$ -a. Egyes helyeken, ezért, főleg ott, ahol a vezeték lakatlan területen halad át, a védővezetőket szigetelőknél helyezik el, mégpedig erre is többféle megoldás van. Ahol a veszteség csökkentése a cél, ott az a megoldás szokásos, hogy rövid szakaszokra, általában feszítő közőkre bontják a védővezetőt hosszirányban, és a feszítőköz közepén egy helyen földelik a védővezetőt, a többi helyen szigetelőknél helyezik el. A szigetelők szikraközzel vannak ellátva, amelyek villám esetén azonnal átívelnek. Ha e szikraközök átütése éppen üzemzavari esetekben lép fel, ez a védelmi működtetések jelátvitelét kellemetlenül zavarhatja. (Ezek is lehetnek a szigetelt védővezetőn.) Különösen olyan helyen, hol a védővezetőt gyakori zúzmaraképződés érheti, a védővezetőt zúzmara-olvasztásra is alkalmassá teszik, természetesen nagyobb hosszak kerülnek szigetelten elhelyezésre. A védővezetőnek egyébként nagy jelentősége van a postai berendezések és egyéb gyengeáramú berendezések zavarásának csökkentése szempontjából is. Ha ugyanis a védővezető földelt, és így a zérus sorrendű áram jelentős részét visszavezeti, akkor az eredő elektromágneses tér nagymértékben csökken, és ez lehetővé teszi, hogy a postai berendezésekkel a nagyfeszültségű vezetéket jobban megközelítsék a veszélyeztetés csökkenése folytán, de zavartatás miatt a védővezetőben folyó áram kedvezőtlen lehet. A relévédelem helyes működése szempontjából is kedvezőbb, ha a védővezető oszloponként földelt. A jelátvitelt viszont a szigetelt védővezető teszi lehetővé.

## 10. Egyéb problémák

Már említés történt a vezetéknek arról a hatásáról, amely elektrosztatikus módon hat a környezetére. Meg kell emlékezni ezen kívül a korona-sugárzással kapcsolatos kérdésekről. Ezek ködös, zúzmarás, esős időben jelentő hatásúak lehetnek.

A koronaveszteség míg jó időben cca  $1-20 \text{ kW/km/3f}$ , addig rossz, esős időben  $100-200 \text{ kW/km/3f}$  nagyságrendben van, irodalmi adatok szerint. A koronaveszteségek szempontjából ennek ilyen nagy hosszúságú vezeték-nél kicsi a jelentősége, mivel valószínűtlen, hogy a vezeték teljes hosszában egyidőben kedvezőtlen időjárás legyen. Ez inkább abból a szempontból jelentős, hogy egy bizonyos sávon belül rádió (televízió) zavarást okozhat, különösen az AM adást.

750 kV-on az itt emített jelenségeken túlmenően az akusztikus zaj AN is problematikus lehet, ami különösen nyáron, hajnali időben, párás helyeken lép fel, és igen kellemetlen, amikor a lakóházakban már nyitottak az ablakok és az általános zajszint 20 decibel alatt van. Egyébként jelentős, mindenfajta zaj forrásai lehetnek a szigetelők, a vezetékek szerelvényei, és az elhelyezett szikraközök. Ezeket tehát rendkívüli gonddal és nagy körültekintéssel kell megválasztani.

Nagyon fontos a szigetelők minősége is. A mi vezetékünkön két parallel láncot helyeznek el felfüggesztésenként. A teljes vezetékszakaszon kb. 240 000 db szigetelőt szerelnek fel. Ismeretes, hogy a szigetelők bizonyos száma úgynevezett öntörésbe kerül, ami a gyártás-okozta belső feszültség miatt keletkezik, vagyis ledobja a tányérját, bár általában nem szakad le. Persze, hogy ha egy üveg már megrepedt, nehéz megmondani, hogy az még mennyi ideig tart, és így egy öntöréses szigetelőt sokáig a vezetéken hagyni nem lehet. Az öntörések száma szakirodalmi adatok szerint évi  $0,2 \div 0,3\%$ . Ez a teljes vezetékünkre  $4 \div 500$  szigetelő kicserélését tenné indokolttá évenként. Ha ezek a számok megfelelnek a tényeknek, hetente kb. 8 db szigetelőt kellene kicserélni. Ez az üzemet fenntartó számára jelentős megterhelést jelent, és a szigetelők nagy száma miatt érthető, hogy milyen nagy jelentősége van annak, hogy a szigetelők minősége jó legyen.

Az alállomások vonatkozásában az a probléma, hogy a szabadtéri állomás esetén az állomás méretei óriásiak és egy egyszerű alállomás esetében az alállomás területe kb. 35 hektár. Ezen a feszültségen mind korszerűség, költség és egyéb szempontjából a kénhexafluoridos alállomásnak előnyei vannak, bár eddig ezen a feszültség szinten ilyen berendezés még nem készült. Az SF<sub>6</sub>-os alállomás területe a szabadtéri alállomás területének csak kb. 15%-a lenne. Az SF<sub>6</sub>-os berendezésekkel kapcsolatos eddigi külföldi tapasztalatok azt mutatják, hogy e készülékek mellett a meghibásodások száma a hagyományosnál fellépő meghibásodásnak csak 1/10-e, azonban a hibaelhárítás egy adott meghibásodás esetén 10-szer annyi időt vesz igénybe. Külön probléma, ami még nem tisztázott, hogy két különböző típusú végponti berendezés hogyan fog tudni együttműködni, és hogyan oldható meg a túlfeszültségvédelem.

A transzformátorokkal kapcsolatosan a probléma nagyrészt szintén az emelt szigetelési szinttel kapcsolatos, továbbá az az amerikai tapasztalat, hogy ilyen óriási transzformátoroknál a hálózaton keletkező rezgés, FN, vagy

2FN zárlatnál az önrezgésszám közelébe eshetik, ami túlfeszültségeket és átütést eredményezhet.

Ilyen problémái elsősorban az amerikaiaknak voltak. További probléma, hogy ha a vezeték üresen jár és nincs teljesen kikompenzálva, úgy a vezeték droppján a kapacitív áram jelentős feszültségemelkedést okoz. E feszültségemelkedés hatására a transzformátor gerjesztő ága jobban telítődik, a gerjesztőáram nő, lényegében véve a T keresztágának impedanciája csökken. Ennek eredményeképpen a transzformátor primer-szekunder ága közötti transzfer impedancia növekszik, ami további feszültségemelkedést okozhat. Ez a jelenség az egyébként számított feszültségemelkedésen túlmenően 10 ÷ 20%-os további feszültségemelkedést okozhat.

További probléma a transzformátorokkal kapcsolatosan, hogy valamely túlfeszültség beérkezésekor a transzformátor belsejében koronasugárzás indulhat, melyet ezen a feszültség szinten az 50 Hz-es üzemi feszültség fenntart és ez a sugárzás a transzformátor szigetelését tönkreteszi a bevezetés környékén.

#### A transzformátor próbafeszültségek

a) teljes hullámú lökőpróba	2100 kV
b) levágott hullámú lökőpróba	2300 kV
	aláll. 2600 kV
c) tranziens, rövid próbák, 50 Hz	1300—1500 kV
d) 50 Hz-es IEC szerint fázisföld között	765 ill. 787 kV
szovjet	800 — 900 kV <sub>eff</sub>
fázisok között külön előírások	

A fojtótekercek fejlesztésével kapcsolatosan többféle irányzat van. A legegyszerűbb egy olyan fojtótekercecs, amely nagyjában lineárisan tekinthető és amelyet vagy bekapcsolnak, vagy kikapcsolva tartanak. A bekapcsolás gyorsítására különböző szikraközöket vesznek igénybe és további más részszikraközöket, amelyek a fojtótekercecs egy-egy részét a kezdeti időre rövidre zárják, ami által az ellenállásokkal együtt gyorsítani lehet a bekapcsolási folyamatot. Egyes helyeken vákuum-kapcsolókat használnak a szikraközök helyett, nagy gyorsaságuk miatt.

Jelenleg tehát vagy ki-be kapcsolható fojtótekercecsket használnak, vagy olyan fojtótekercecsket, amelyek a névleges feszültségen túl, erősen telítődnek, és így nem teszik lehetővé a 15 ÷ 20%-nál nagyobb 50 periódusú túlfeszültségeket.

A legmodernebb irányzat, hogy a fojtótekercecs helyett olyan állandóan bekapcsolt transzformátorokat használnak, amelyek szekunderjébe tirisztorok kapcsolnak fojtótekercecsket, és így nagyfeszültségű kapcsoló nélkül viszonylag kis feszültségen majdnem folyamatosan lehet a fojtótekercecsket szabályozni és a fojtótekercecs feszültségcsökkentő hatását rendkívül gyorsá lehet tenni.

## 11. Zárószó

Ez a tanulmány nagyon sok kérdést nem érintett vagy csak futólag, így pl. a védelem kérdését, a túlfeszültségvédelem kérdését, ezek összefüggéseit, a különböző mechanikai kérdéseket, szerelvény kérdéseket, stabilitási kérdéseket stb. Ugyanakkor minden érintett kérdés tulajdonképpen csak egy-egy címszó volt, e kérdések megoldása külön-külön rendkívül nagy, pontos, körültekintő munkát igényel az elkövetkező években a tervezőtől, kivitelezőtől és a kutatóktól egyaránt.

Az elmondottak természetesen csak általános áttekintést nyújtanak a létesítendő 750 kV-os hazai villamosvezetékkel kapcsolatban. Szilárd meggyőződésünk, hogy ezt a kolosszális és egyáltalán nem rutinmunkát követelő tervet csak akkor fogjuk tudni megoldani, ha a probléma jelentőségét, nehézségét és sürgősségét mindenki világosan látja, és ehhez képest az illetékes körök a szükséges támogatást minden vonalon megadják.

Mindent összefoglalva, javasolom, hogy a 750 kV-tal kapcsolatosan folyó kutatásokat országos szintű kutatásoknak minősítsék. Az előkészítő és a tervezést altáamasztó kutatást a hátralévő időszakra, azonnal teljes ütemben indítsák el, miután további időveszteséget most már nem lehet tolerálni, és javasolom, hogy mind a rádiózavarás, hallható zaj, mechanikai rezgések stb. mérése szempontjából kísérleti vezeték szakaszt építsenek, mielőtt a teljes vezeték szakasz megépülne.

## IRODALOM

1. AKOPYAN A. A.—BOURGS DORF V. V. et al.: Switching Overvoltages and System of Protection against them in 750 kV Networks of the USSR, *CIGRÉ* 1972
2. VENYIKOV, B. A.: Dalnie Elektropredacsi B. A., *Goszenergoizdat*, Moszkva 1960
3. NAGEL, T. J.—VASSEL, G. S.: Development of the American Electronic Power System Transmission Network from 345 to 765 kV UHV *CIGRÉ* 1974
4. VASSEL, G. S.—MALISZEWSKI, R. M. M.—JOHNSON, N. B.: Experience with the AEP 765 kV System *IEEE Transactions on Power App. and Syst.* Vol PAS-92, No. 4
5. LYSKOV, YU, I.—MAMIKONYANTS, L. G.—ROKOTYAN, S. S.: The Development of Long Transmission Lines for EHV and UHV in the U.S.S.R. *ASEA Journal* 1971. Vol. 44 Number 5
6. SAMUELSON, A. J.—REBALLACK R. L.—KRAVITZ, R. A.: AEP 765-kV Line Design, *IEEE Transactions on Power Apparatus and System*, Vol. PAS-88 No. 9. September 1969

**The Problems of Large Electrical Transmission Lines, with Special Regard to the Future Hungarian 750 kV Line.** The paper deals with the economical and technical problems of the 750 kV line actually being constructed between Hungary and the Soviet Union within the frame of the COMECON. The great transmissions of the world are reviewed which at present work on different principles and at different voltages. The author examines in detail the problems of transmission by stationary energy, the switching and other overvoltages as functions of the longitudinal transmission voltage, the overvoltage protection and related tasks. Finally the differences between Soviet, Canadian and US 750 kV-practices are analyzed.

**Die Probleme der großen elektrischen Leitungen unter besonderer Berücksichtigung der zu errichtenden ungarischen 750 kV Leitung.** Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den technischen und wirtschaftlichen Problemen der im Rahmen des RGW zwischen Ungarn und Sowjetunion der im Bau befindlichen 750 kV-Leitung. Im Zusammenhang hiermit werden die derzeit mit verschiedenen Spannungen und nach verschiedenen Systemen arbeitenden großen Verbindungsleitungen besprochen. Eingehend werden die Fragen der Übertragung bei stationärer Energie, sowie die Schalt- und sonstigen Überspannungen in Abhängigkeit von der Übertragungs-Längsspannung, und die mit dem Überspannungsschutz usw. zusammenhängenden sonstigen Aufgaben analysiert. Schließlich werden die Unterschiede in der Baupraxis von 750 kV-Leitungen zwischen der Sowjetunion, Kanada und die Vereinigten Staaten analysiert.

# A BETON SAJÁTFESZÜLTSEGI ÁLLAPOTA ÉS A REPEDÉSÉRZÉKENYSÉG\*

PALOTÁS LÁSZLÓ\*\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1974. augusztus 27-én]

Az inhomogén és anizotróp, különböző fázistulajdonságú szilárd anyagokban a fizikai hatások okozta alakváltozások, a fázisok kapcsolódó felületeinek szilárd összeköttetése miatt, nem alakulhatnak ki szabadon. A kölcsönösen akadályozott alakváltozások az egyes anyagfázisokban belső kényszererőket ébresztenek és a többfázisú anyag *sajátfeszültségi állapotba* jut. A dolgozat az elasztovizkózus cementkőből és a rugalmasnak tekintett adalékanyagból álló beton hőmérsékletváltozás, zsugorodás és kuszás okozta sajátfeszültségi állapotával foglalkozik. Kedvezőtlen körülmények közepette a cementkőben, illetve a betonban oly nagy húzófeszültségek és nyúlások léphetnek fel, hogy a beton *repedési határállapotba* kerülhet. A dolgozatban javasolt összefüggések és a közölt következtetések segítségével legalább is tájékoztató értékeket lehet megállapítani a beton repedésérzékenységének megítélésére, adott körülmények mellett (a beton összetételének a kezelési, a tárolási, a környezeti viszonyoknak a figyelembevételével.)

## 1. Általános megjegyzések. Alapfogalmak

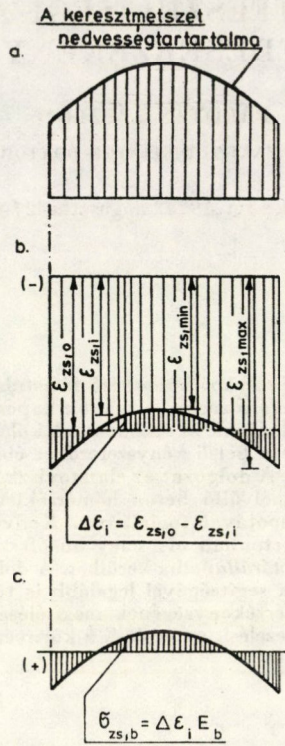
A beton keresztmetszetek, illetve szerkezetek sajátfeszültségi állapotának vizsgálata, azok repedésérzékenysége szempontjából, szokásos szemléletünket jelentősen tudja oly gondolatokkal kiegészíteni, amelyek a sokszor szokatlannak látszó jelenségek magyarázatát, e jelenségek elkerülését vagy legalább is mérséklését előtudják segíteni.

Az anyag akkor kerül *sajátfeszültségi állapotba*, ha benne a mechanikai (külső) erőhatások nélkül, illetve mechanikai erőhatásváltozások nélkül keletkező belső erők önmagukban alkotnak egyensúlyi feszültségrendszert.

Az anyag, amelyben sajátfeszültségek felléphetnek, lehet homogén jellegű, vagy heterogén, egy vagy több fázisú. Saját feszültségek jöhetnek létre az anyagban fizikai hatások (pl. nedvességtartalom, vagy hőmérsékletváltozás) miatt előálló belső szerkezeti (strukturális) változások folytán, de saját feszültségek ébredhetnek a különböző fázisok különböző fizikai és mechanikai tulajdonságai miatt is. Például az 1. ábra egy homogénnek tekintett betonkeresztmetszetben kialakuló *saját feszültségeket* (c. alábra) szemlélteti

\* Elhangzott 1974. március 28-án az MTA Kistermében.

\*\* Prof. Dr. Palotás László, 1113 Budapest, Edömér u. 4.



1. ábra

abban az esetben, ha a keresztmetszetben a nedvességtartalom (a. alábra), s így az egyes elemi szálakban a zsugorodás is változó (b. alábra).

A zsugorodás különbözősége miatt — a keresztmetszet sík voltát feltételezve — adott esetben a külső zónában húzó-, a belső zónában nyomófeszültségek lépnek fel, amelyek önmagukban egyensúlyban vannak. E feszültségek — természetesen — teljesen megszűnnek, ha a testben egyenletes a nedvességtartalom. A beton maga a valóságban nem homogén, hanem kétfázisú heterogén anyag: a két fázist az elasztóviszkózus cementkő és a rugalmas jellegű adalék anyag alkotja. Mivel a kétféle anyagnak hőtágulása, nedvesség felvétele és leadása s az ezzel együttjáró zsugorodása nem azonos, a fázisokat összekötő belső kötőerők miatt a keresztmetszet két fázisa azonosan nagy alakváltozásra kényszerül, a gátoltság folytán a két fázisban ellenkező értelmű feszültségek lépnek fel. E feszültségek mértéke szükségszerűen olyan, hogy azok egyensúlyban levő belső erőrendszert alkotnak.

Általában parallel elemi szálakban  $\epsilon_c$  a cementkő,  $\epsilon_a$  az adalékanyag szabad alakváltozását jelenti,  $\epsilon_b$  a beton eredő (gátolt) alakváltozása. Ezek az alakváltozások akár hőmérsékletváltozásból, akár zsugorodásból (nedvességtartalomváltozásból) keletkezhetnek. A kötőerők miatt az egyes fázisok alak-



változása nem következhetik be szabadon, a gátoltság következtében az egyes anyagfázisokban belső kényszererők ébrednek. E kényszerfeszültségek

$$\begin{aligned}\sigma_c &= \Delta\varepsilon_c E_c = (\varepsilon_c - \varepsilon_b) E_c \\ \sigma_a &= \Delta\varepsilon_a E_a = (\varepsilon_a - \varepsilon_b) E_a\end{aligned}\quad (1)$$

egyensúlyi rendszert alkotnak, azaz a cementkő, illetve az adalékanyag által reprezentált belső erőkre ( $\Delta P_c$ ,  $\Delta P_a$ ) nézve felírható az erre az esetre vonatkozó

$$\Delta P_c + \Delta P_a = 0 \quad (2)$$

egyszerű összefüggés.

Egyébként általában a betontestben, vagy betonelemben — miután azok nem parallel fázisokból, hanem görbült, illetve szabálytalan felületű fáziselemekből állnak — nemcsak érintőleges ( $\sigma_t$ ), hanem sugárirányú feszültségek is ( $\sigma_r$ ) fellépnek, amelyek az érintkezési felületeken a legnagyobbak. Az ilyen szerkezeti jellegű sajátfeszültségeket az idők folyamán kialakuló kuszás mindinkább leépíti.

A továbbiakban a közönséges betont az *elasztoviszkozus cementkőből* s a *rugalmas adalékanyagból* álló kétfázisú anyagnak lehet tekinteni.

Mivel az ilyen inhomogén és anizotróp, különböző fázistulajdonságú szilárd anyagokban a fizikai hatások (hőmérsékletváltozás, zsugorodás) okozta alakváltozások miatt nem alakulhatnak szabadon ki, a fázisok kapcsolódó felületeinek szilárd összeköttetése, a kölcsönösen akadályozott alakváltozások az egyes anyagfázisokban belső kényszererőket ébresztenek s ekként jut a többfázisú anyag *sajátfeszültségi állapotba*. Így pl. hőmérséklet- vagy nedvesség változáskor az anyagban járulékos mechanikai deformációk alakulnak ki, s az anyagban a mérések eredményei a hőmérséklet- és a nedvességtartalom változása okozta alakváltozások, valamint a mechanikai alakváltozások eredőit adják meg.

Kedvezőtlen körülmények mellett a cementkőben, illetve a betonban oly nagy húzófeszültségek és velük összefüggően oly nagy alakváltozások léphetnek fel, hogy a beton *repedési határállapotba* kerülhet. Az előálló mikrorepedések a betont előkészítik a veszélyes makrorepedések könnyebb kialakításához. Ekkor tehát az anyagrepedések szempontjából „érzékeny” válik.

Eme rövid bevezető megjegyzés után szeretnénk azt világosan rögzíteni, hogy a következőkben mit értünk „*repedésérzékenységen*”. A *beton repedésérzékenységen* azt az állapotot értjük, amelyben a beton teljes nyúlóképessége — minden külső mechanikai igénybevétel nélkül — csupán fizikai hatások (hőmérsékletváltozás, zsugorodás) következtében kimerülhet, azaz a beton a repedés határállapotába juthat, illetőleg megrepedhet. A beton repedésérzékenységre jellemző határalakváltozást a beton teljes nyúlóképességével, szakadó nyúlásával ( $\varepsilon_h$ ) jellemezhetjük, amely a betonban a húzószilárdság elérése után, a

törés stádiumában mint teljes nyúlás — beleértve a plasztikus tartalékot is — léphet fel. Nyilván ennek kell nagyobbak lennie a fizikai hatások okozta fajlagos nyúlásnál.

A felvetett kérdésekre válaszolandó, felmerült az a probléma, hogy milyen a fizikai alakváltozások gátoltságának mértéke, milyenek lehetnek a belső mechanikai kényszer folytán fellépő belső erők, kerülhet-e az anyag — külső mechanikai igénybevételek nélkül — repedési határállapotba csupán a fizikai hatások miatt. A kérdésekre válaszolni csak bizonyos egyszerűsítő mechanikai feltevések segítségével lehet, az anyagra vonatkozó eredő alakváltozások s a fázisok saját szabad alakváltozásai ismeretében.

Az elasztoviszkozus cementkőben — időtől függő — alakváltozási és feszültségváltozási jelenségek játszódnak le, az elasztikus adalékanyagban kialakuló alak — és feszültségváltozási folyamatok, adott körülmények közt, önmagukban időtől függetleneknek tekinthetők. (A cementkővel való egymásra hatásukban természetesen időtől függőek, de a függőségüket a cementkőben lejátszódó folyamatok determinálják).

A felvetett probléma megoldását — bizonyos elemi feltevésekkel — igyekszünk többé-kevésbé megközelíteni, főképpen tájékoztató s következtetésekre alkalmas eredmények, összefüggések, irányelvek nyerése szempontjából. Így az egyes fázisokról feltételezzük, hogy azok egymáshoz csúszás- és hézagmentesen — szilárdan — illeszkednek s az összeférhetőségi elvet kiegészítik. Ennek a feltevésnek következménye az, hogy a fázisok érintkező határfelületének bármely pontjában, adott irányban a cementkő, illetve az adalékanyag alakváltozása az adott irányra vonatkozó gátolt alakváltozással egyenlő.

A beton valamely hatás okozta gátolt alakváltozására (általában  $\varepsilon_b$ ) nézve feltesszük, hogy az a cementkő és az adalékanyag szabad alakváltozásaiából (általában  $\varepsilon_c$  és  $\varepsilon_a$ ) az

$$\varepsilon_b = c\varepsilon_c + (1 - c)\varepsilon_a \quad (3)$$

alakú összefüggéssel előállítható. A (3) képletben a „ $c$ ” érték a betonban levő cementkő fajlagos abszolút térfogatának függvénye s az a kísérleti eredményekkel jól egyező módon a

$$c = v_c^m \quad (4)$$

összefüggéssel adható meg.

A „ $c$ ” érték a cementkő részesedési hányadát fejezi ki a gátolt alakváltozás kialakulásában, tehát kifejezi a *gátoltság mértékét*.  $(1 - c)$  a gátoltság mértéke az adalékanyagra nézve.

$v_c$  a cementkő abszolút térfogata  $v_b = 1$  abszolút térfogatra, vonatkoztatva azaz, ha

$$v_c + v_a = 1, \quad (5)$$

ahol  $v_a$  az adalékanyag abszolúttérfogata. Az „ $m$ ” kitevő az alakváltozást előidéző hatás fajtájától függ, általában kísérleti eredmények értékelése és a elméleti meggondolások szerint mintegy  $3/2$  és  $2/3$  közt vehető fel. Az adott esetekben célszerűen alkalmazható értékekre még a részletes tárgyalás során kitérünk. Azt is feltételezzük, hogy a beton keresztmetszetet terhelő  $\sigma_b$  normálfeszültség adott esetben a cementkő- és az adalékanyagra jutó feszültségekből ( $\sigma_c$  és  $\sigma_a$ ) tevődik össze a (3) képlethez hasonló összefüggés alapján, tehát

$$\sigma_b = c\sigma_c + (1 - c)\sigma_a. \quad (6)$$

A feladatunk az alábbiak során az, hogy megállapítsuk

1. a beton fizikai hatások folytán előálló jellemző alakváltozásait;
2. a beton saját feszültségi állapotát leíró feszültségek és alakváltozások közti összefüggéseket;
3. a repedésérzékenységre jellemző alakváltozás értékeket;
4. a szükséges következtetéseket a repedés érzékenységgel kapcsolatban.

Természetesen, ahhoz hogy e vázolt feladatainknak eleget tehesünk, ismertetnünk kell a beton különleges jelenségeit (zsugorodás, kúszás, hőmérsékletváltozás), valamint az azokat meghatározó beton tulajdonságokat.

## 2. A betonjellemzők

A beton legfontosabb *szilárdsági jellemzője* a 20 cm élhosszúságú, szabványosan készített, tárolt s tört próbakocka 28 napos rövididejű ún. statikus kockaszilárdsága:  $K$ , kp/cm<sup>2</sup>.

A beton *hajlító- nyomószilárdságát* a

$$\sigma_p = 700 \varrho^2 \quad (7)$$

összefüggéssel vehetjük számításba, ahol

$$\varrho = K/(200 + K). \quad (7a)$$

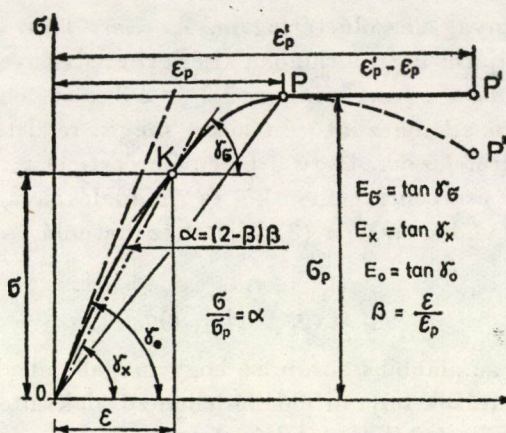
A beton *tiszta húzószilárdsága*

$$H = 40 \varrho^{3/2}, \quad (8)$$

*hajlító- húzószilárdsága*

$$Ha = 80 \varrho^{3/2}. \quad (9)$$

A beton *pillanatnyi elsődleges (szűz) feszültségalakváltozási* ( $\sigma - \varepsilon$ ) diagramját oly módon idealizálva vesszük fel, hogy a diagram egy másodfokú parabolával kezdődik s a beton  $\sigma_p$  nyomószilárdsága elérésekor  $\varepsilon_p$  fajlagos törési összenyomódás lép fel, s ez a fajlagos összenyomódás még növekszik  $\sigma_p$



2. ábra

konstans értéke mellett  $\varepsilon'_p$ -re. Ezt az  $\varepsilon'_p$  értéket a beton fajlagos teljes törési összenyomódásának (teljes törési alakváltozásának) nevezzük.

A 2. ábrában egy ilyen idealizált  $\sigma - \varepsilon$  diagramot ábrázoltunk, az itteni jelölésekkel:

$$\sigma = \sigma_p \left( 2 - \frac{\varepsilon}{\varepsilon_p} \right) \frac{\varepsilon}{\varepsilon_p}, \quad (10)$$

illetve bevezetve az

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sigma_p} \quad \text{és} \quad \frac{\varepsilon}{\varepsilon_p} = \beta \quad (11), (12)$$

jelöléseket,

$$\alpha = (2 - \beta)\beta. \quad (10a)$$

A diagram érintője (az érintő modulus) egy tetszőleges  $K$  helyen

$$E_\sigma = E_0(1 - \beta) = E_0(1 - \alpha)^{1/2}, \quad (13), (14)$$

ahol  $E_0$  az  $\varepsilon = 0, \sigma = 0$  ponthoz tartozó kezdeti érintő modulus

$$E_0 = \frac{2\sigma_p}{\varepsilon_p} \quad (15)$$

és

$$\beta = 1 - (1 - \alpha)^{1/2}. \quad (16)$$

A  $K$  ponthoz tartozó alakváltozási vagy húr-modulus

$$E_x = E_0 \left( 1 - \frac{\beta}{2} \right) = E_0 \frac{1}{2} \left[ 1 + (1 - \alpha)^{1/2} \right] = \gamma_0 E_0, \quad (17)$$

ahol

$$\nu_0 = 1 - \frac{\beta}{2} = \frac{1}{2} [1 + (1 - \alpha)^{1/2}]. \quad (18)$$

A kezdeti érintő modulusra a hazai szabályzati előírások az

$$E_0 = 550\,000 \varrho \text{ [kp/cm}^2\text{]} \quad (19)$$

összefüggést adják meg, ahol  $\varrho$  a (7a) alatti érték és így  $\varepsilon_p$ -re a (15) formulából az

$$\varepsilon_p = 2,54 \varrho (\text{‰}) \quad (20)$$

egyenlőség adódik. A teljes törési fajlagos összenyomódás meghatározására — hajlított tartó nyomott betonjára — a kísérleti eredmények értékelése szerint az

$$\varepsilon'_p = 2,54 \varrho^{-1/2} \quad (21)$$

összefüggést használhatjuk.

A beton húzási  $\sigma - \varepsilon$  diagramját hasonlóképpen vesszük fel úgy, hogy a kezdeti rugalmassági modulus a (19) képletnek megfelelő; így elvben a (17) - (19) képletek is érvényesek, csupán  $\varepsilon_p$  helyett  $\varepsilon_h$  és  $\sigma_p$  helyett  $H$  értékek helyettesítendők be. Ekként eljárva  $\varepsilon_h$ -ra az

$$\varepsilon_h = 0,145 \varrho^{1/2}, \quad (22)$$

képletet, az  $\varepsilon'_h$  és  $\varepsilon'_{h,h}$ -ra (a tiszta húzás és a hajlító-húzás figyelembevételével) a kísérleti eredmények értékelése alapján az

$$\varepsilon'_h = 0,145 \cdot \varrho^{-3/4} (\text{‰}) \quad (23)$$

$$\varepsilon'_{h,h} = 0,145 \varrho^{-1} (\text{‰}) \quad (24)$$

összefüggéseket nyerjük.

Ezek az értékek *rövid idejű teherre*, 28 napos korra, vegyes tárolásra vonatkoznak és így ezeket a beton korától és a teher jellegétől függően módosítani kell. A beton korától függő változásokra tájékoztató értékeket az I. táblázatban állítottuk össze.

A beton *kúszásának hatását* a  $\varphi$  kúszási mértékkel vesszük figyelembe oly módon, hogy a beton alakváltozási modulusát az

$$E_t = \nu E_0 \quad (25)$$

összefüggés alapján számítjuk, ahol

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 + \varphi}, \quad (26)$$

és  $\nu_0$  a (18) alatti érték, a kúszási mérték általános alakja pedig a

$$\varphi = k_0 k_r \delta \varphi_n \quad (27)$$

összefüggéssel fejezhető ki.

I. táblázat  
A beton korának hatása

A cement jele	$K_{ss}$ kp/cm <sup>2</sup>	A beton jellemző	A beton kora, nap					
			1	3	7	28	90	365
C 600	200	K	25	47	70	100	443	118
		$E_0$	40	65	82	100	106	109
		H	26	52	74	100	108	114
		$\varepsilon_h$	63	80	91	100	103	104
		$\varepsilon'_h$	200	139	116	100	97	88
		$\varepsilon_{hh}$	250	156	122	100	99	92
		$E_0$	50	72	87	100	104	106
	400	H	35	61	73	100	104	108
		$\varepsilon_h$	70	85	94	100	102	103
		$\varepsilon'_h$	170	129	116	100	97	96
		$\varepsilon_{hh}$	200	138	114	100	96	95
		K	15	33	55	100	120	128
		$E_0$	26	50	71	100	109	112
		H	14	36	61	100	114	115
C 500	200	$\varepsilon_h$	51	70	84	100	104	106
		$\varepsilon'_h$	275	167	128	100	94	93
		$\varepsilon_{hh}$	383	202	141	100	92	89
		$E_0$	35	59	79	100	106	108
		H	21	45	70	100	109	110
		$\varepsilon_h$	59	76	88	100	103	104
		$\varepsilon'_h$	222	151	121	100	96	96
	400	$\varepsilon_{hh}$	290	170	127	100	95	93

Ebben az összefüggésben  $\varphi_n$  a kúszási mérték végértéke, ha az időtartam a végtelenhez közeledik.  $\varphi_n$ -et a különböző szabályzatok, előírások kísérleti eredményekre támaszkodva adják meg. Szerző értékelése szerint a kúszás végértéke vegyes tárolás mellett, 28 napos korban terhelve a beton minőség függvényében a

$$\varphi_n = \varrho^{-5/4} \quad (28)$$

összefüggéssel adható meg, ahol  $\varrho = K/(K + 200)$ .

$k_0$  az ún. öregedési tényező, amely az állandó teher rákerülésének időpontjától és a nemzetközi ajánlások, valamint előírások szerint (C. E. B., DIN-1045-72) a betonban alkalmazott cementminőségétől függ. A megadott diagramok értékelése szerint

lassan szilárduló cement esetében a

$$k_0 = 0,25 + 2,7 e^{-0,55\sqrt{t}}, \quad (29)$$

gyorsan szilárduló cement esetében a

$$k_0 = 0,15 + 3,5e^{-0,75\sqrt{t}} \quad (30)$$

képlettel fejezhető ki 20 °C tárolási hőmérsékletet feltételezve.

$k_r$  a környezet nedvességtartalmát kifejező tényező, amelyre nézve vegyes tárolás (-40% relatív nedvességtartalom) mellett 1,0, víz alatti tárolás esetében 0,5, teljesen kizsáritott állapotban 1,15 érték, általában a

$$k_r = \frac{115 - n_r}{100 - 0,7n_r} \quad (31)$$

érték javasolható, ahol  $n_r$  a környezet reaktív nedvességtartalma %-ban.

$\delta$  a kúszás lefolyás függvénye (az egységnyi kúszásfüggvény), amely a kúszó test átlagos kiszáradási vastagságának ( $d$ ) függvénye; a test átlagos kiszáradási vastagságát a

$$d = \frac{2V}{F} \quad (32)$$

képlettel számoljuk, ahol  $V$  a kúszó test köbtartalma,  $F$  a kiszáradó felület.  $d$ -t rendszeren cm-ben adjuk meg. A C. E. B. és a DIN 1045 szerinti grafikonok egyenletét a következő összefüggéssel adhatjuk meg:

$$\sigma = 1 - e^{-\left(\frac{t}{t_{\text{ret}}}\right)^b}, \quad (33)$$

Ebben az egyenletben  $t$  a folyó idő napokban,  $t_{\text{ret}}$  az ún. *retardációs* (késleltetési) idő napokban, azaz az az idő, amely alatt az egység kúszás függvény

$$\sigma_{\text{ret}} = 1 - \frac{1}{e} = 0,63 \quad (34)$$

értéket vesz fel. A  $t_{\text{ret}}$  és  $b$  értékek az átlagos kiszáradó vastagság függvényei, mégpedig, ha

$$d = 5 \text{ cm, akkor } t_{\text{ret}} = 42 \text{ nap, } b = 3/6,$$

$$d = 10 \text{ cm, akkor } t_{\text{ret}} = 94 \text{ nap, } b = 3,5/6,$$

$$d = 20 \text{ cm, akkor } t_{\text{ret}} = 240 \text{ nap, } b = 4/6,$$

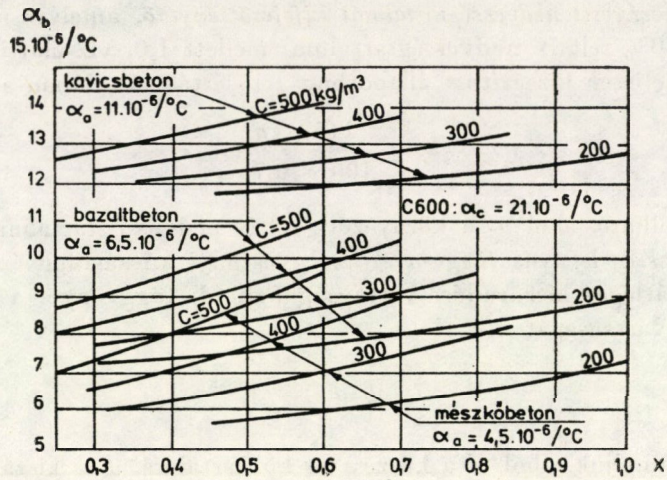
$$d = 40 \text{ cm, akkor } t_{\text{ret}} = 540 \text{ nap, } b = 5/6,$$

$$d = 80 \text{ cm, akkor } t_{\text{ret}} = 1340 \text{ nap, } b = 6/6.$$

A beton hőtágulási együtthatója ( $\alpha_b$ ) a cementkő és az adalékanyag hőtágulási együtthatóinak ( $\alpha_c$ ,  $\alpha_a$ ) ismeretében a (3) képlet alapján írható fel

$$\alpha_c = c\alpha_c + (1 - c)\alpha_a, \quad (35)$$

ahol  $c$  értéket  $v_3^{3/2}$ -re becsülhetjük. Különböző adalék anyaggal készült betonok hőtágulási együtthatóit a 3. ábrában tüntettük fel a vízcementtényező és a cementmennyiség függvényében.



3. ábra

$\alpha_c$  értékét portlandcement, trasz- vagy kohosalakportlandcement esetében kb  $20 \div 23 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ -ra,  $\alpha_a$  értékét kvarc, andezitbazalt és mészkő adalék esetében  $11, 6,5$  és  $4,5 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ -re vehetjük fel.

A beton zsugorodása megállapításakor az adalékanyag zsugorodásától általában eltekinthetünk és így a beton végszugorodása az

$$\varepsilon_{zs,b} = c\varepsilon_{zs,c} \quad (36)$$

képlettel határozható meg, ahol  $c$  a gátoltság mértéke, amelyet, mint a hőmérsékletváltozás esetében is a

$$c = v_c^{3/2} \quad (37)$$

képlet szerint számíthatunk, és  $\varepsilon_{zs,c}$  a cementkő végszugorodása,

Általában a beton illetve a cementkő zsugorodása valamely  $t$  időpontban

$$\varepsilon_{zs,t} = \delta(t)\varepsilon_{zs,b}, \quad (38)$$

$$\varepsilon_{zs,c,t} = \delta(t)\varepsilon_{zs,c} \quad (39)$$

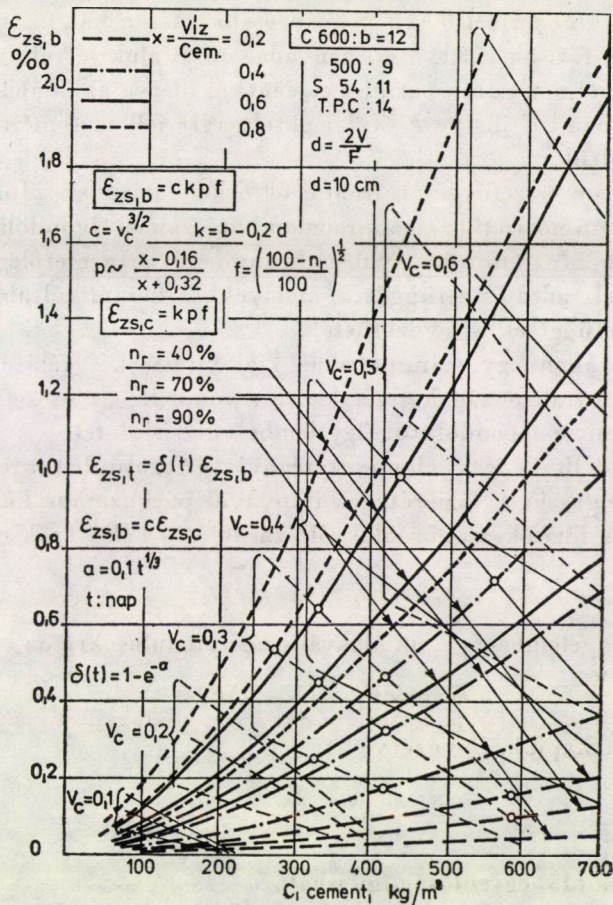
alakban írható fel, ahol  $\delta(t)$  a lefolyás függvény, amelynek általános alakja általában

$$\delta(t) = 1 - e^{-0,1t^{1/3}}. \quad (40)$$

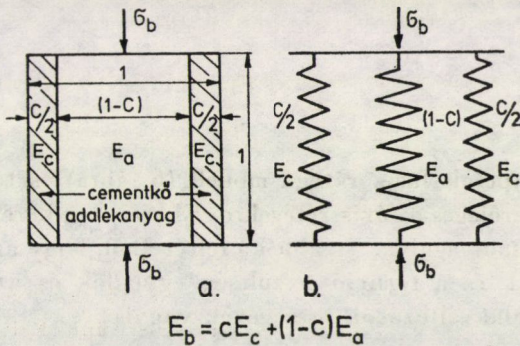
Pontosabb összefüggéseket a 4. ábrában adtunk meg.

Ahhoz, hogy a kétfázisú betonban kialakuló sajátfeszültségi állapotot leírassuk, az 1. pontban vázoltak szerint ismernünk kell az egyes fázisok alakváltozási modulusát s azt is, hogy egy adott terhelő feszültség, vagy kény-





4. ábra



5. ábra

szeralakváltozás okozta belső erő hogyan oszlik meg a két fázis között, azaz milyen az egyes fázisok résztvételi hányada, az általuk létrehozott gátoltság mértéke. A fent elmondottak során a cementkő, illetve az adalék anyag alakváltozási modulusait  $E_c$  illetve  $E_a$ -val, a gátoltságra jellemző mértéket  $c$ , illetve  $(1 - c)$ -vel jelöltük.

Hogy milyen összefüggések írhatój fel a két fázis alakváltozási modulusaira, arra nézve a nemzetközi szakirodalomban számos elgondolás jelent meg. A legegyszerűbbek az erő irányával párhuzamos és arra merőleges fázisokból álló alapmodellek adta összefüggések, amelyekből komplikáltabb modellekre vonatkozó összefüggések is levezethetők.

Az 5. ábrában egy szimmetrikus kialakítású két fázisú alapmodellt tüntettünk fel. Általánosság kedvéért erre a modellre az összefüggéseket, az 5. a alábrán vázolt alap gondolatot figyelembe véve írjuk fel.

Ha a modellt — egy elemi egységnyi térfogatú betontestet — a  $\sigma_b$  egyenletesen megoszló, a fázisrétegek irányával párhuzamos külső feszültség terheli, az egyes fázisok azonos alakváltozását és a belső erők egyensúlyát a

$$\sigma_b = c\sigma_c + (1 - c)\sigma_a \quad (41)$$

képlet szerint figyelembevéve, az alakváltozási modulusokra az

$$E_b = cE_c + (1 - c)E_a \quad (42)$$

alapösszefüggést kapjuk. Bevezetve az

$$n_a = \frac{E_a}{E_c} \quad (43)$$

viszonyszámot, a (42) egyenlőség így írható

$$E_b = v_i E_c, \quad (44)$$

ahol

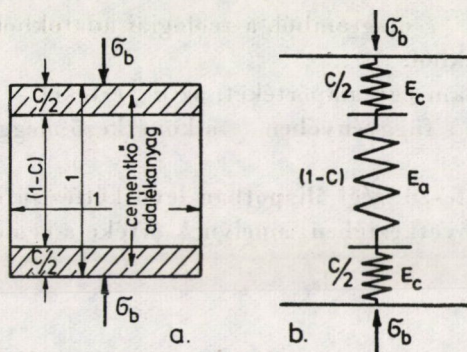
$$v_i = c + (1 - c)n_a, \quad (45)$$

illetve

$$E_c = \frac{E_b}{v_i}. \quad (44a)$$

Egy sorbakapcsolt fázis rétegű modell (6. ábra) esetében a terhelő feszültség iránya merőleges a fázis rétegekre. Ekkor — a keresztirányú alakváltozások hatását elhanyagolva, — abból a feltételből, hogy az egyes fázisokban fellépő feszültségek és a terhelő feszültség egyenlők és az összalakváltozás egyenlő az egyes alakváltozások összegével, vagyis

$$\varepsilon_b = c\varepsilon_c + (1 - c)\varepsilon_a, \quad (45)$$



$$E_b = \frac{1}{c/E_c + (1-c)/E_a}$$

6. ábra

az alakváltozási modulusokra az

$$\frac{1}{E} = \frac{c}{E_c} + \frac{1-c}{E_a},$$

illetve az

$$E_b = v_i E_c \quad (46)$$

összefüggéseket kapjuk, ahol

$$\bar{v}_i = \frac{n_a}{(1-c) + cn_a}. \quad (47)$$

Végül a (44a) egyenlőséghez hasonlóan

$$E_c = \frac{E_b}{\bar{v}_i}. \quad (46a)$$

Mivel a gyakorlatban a cementkőben fellépő tangenciális feszültségek a mértékadóak és ezek elsősorban a párhuzamos fázisréteg elrendezéssel jellemezhetők, továbbá, minthogy a kétféle módon kapott modulusok között lényeges különbség nincs, a következőkben a (44), (45) és (44a) képletekkel fogunk számolni.

A (44) (45) képletek használatához ismerni kell az  $n_a$  viszonzyszám értékét.

Az  $n_a$  viszonzyszám értéke a Szerző véleménye szerint — nem egyszerűen a cementkő és az adalékanyag alakváltozási modulusainak viszonya, hanem azokkal együtt a beton minőségének, összetételének, az igénybevételi és a feszültségi állapotnak, a terhelő mozgásnak, valamint a vizsgált szerkezet fajtájának a függvénye. Mindezekből az következik, hogy az  $E_c$  és  $E_a$  értékek megállapításakor a beton ismert (mért) paramétereiből (cementminőségből,

az összetételből, a  $\sigma - \varepsilon$  diagramból, a reologiai adatokból stb.) kell kiindulni, mint eredő-értékekből.

Az  $n_a$  viszonyszám egy alapértékét, az  $n_{a0}$ -értéket — a beton-összetélteli parametereinek ( $v_c$ ,  $v_a$ ) függvényében — a következő megfontolásból számíthatuk.

Legyen a saját feszültségi állapotban levő kétfázisú betonban valamely gátolt alakváltozás következtében, amelynek értéke a cementkőre

$$\Delta\varepsilon_c = \varepsilon_b - \varepsilon_c,$$

az adalékanyagra

$$\Delta\varepsilon_a = \varepsilon_b - \varepsilon_a,$$

a cementkőben fellépő erő

$$\Delta P_c = \sigma_c v_c = (\varepsilon_b - \varepsilon_c) E_c v_c,$$

az adalékanyagban fellépő belső erő pedig

$$\Delta P_a = \sigma_a v_a = (\varepsilon_b - \varepsilon_a) E_a v_a,$$

ahol  $\varepsilon_b$  = a beton alakváltozása,  $\varepsilon_c$  és  $\varepsilon_a$  a cementkő és az adalékanyag szabad alakváltozása.

Mivel a (3) képlet alapján

$$\varepsilon_b = c\varepsilon_c + (1 - c)\varepsilon_a, \quad (47)$$

a gátolt alakváltozások a

$$\begin{aligned} \Delta\varepsilon_c &= c\varepsilon_c + (1 - c)\varepsilon_a - \varepsilon_c = (1 - c)(\varepsilon_a - \varepsilon_c), \\ \Delta\varepsilon_a &= c\varepsilon_c + (1 - c)\varepsilon_a - \varepsilon_a = c(\varepsilon_c - \varepsilon_a) \end{aligned} \quad (48)$$

képletekkel adhatók meg. Az (1) egyenlőségeket figyelembe véve s az (48) alatti összefüggéseket a (2) egyenlőségbe behelyettesítve, kapjuk a

$$\Delta P_c + \Delta P_a = \Delta\varepsilon_c E_c v_c + \Delta\varepsilon_a E_a v_a = 0$$

egyenlőséget s ebből

$$\frac{E_a}{E_c} = \frac{1 - c}{c} \frac{v_c}{v_a}.$$

Tehát az  $n_a$  viszonyszám alapértéke ebben az egyszerű alapesetben

$$n_{a0} = \frac{1 - c}{c} \frac{v_c}{v_a} \quad (49)$$

és általában

$$n_a = \bar{\beta} n_{a0}, \quad (50)$$

ahol  $\bar{\beta}$  a sajátfeszültségi állapot vizsgált modelljére vonatkozó tényező.

Ami a gátoltság mértékét, a  $c$  értéket illeti, erre nézve az eddigi kísérleti eredmények és elméleti megfontolások alapján a sajátfeszültségi állapotot létrehozó alakváltozás jellegétől függően, s a pontosabb számítások eredményeivel jobb összhangban — a következőket javasoljuk:

$$\begin{array}{ll} \text{hőmérsékletváltozás és zsugorodás esetében:} & c = v_c^{3/2}, \\ \text{kúszás esetében:} & c = v_c^{2/3}. \end{array}$$

### 3. A beton sajátfeszültségének megítélése különböző modellek alapján

Három féle alapmodell: gömb, henger, síktárcsa v. lineáris modell alapján igyekezünk a beton sajátfeszültségeinek valószínű értékeire tájékoztatást kapni.

A *gömbmodell* közelítést úgy képzeljük el, hogy az  $a$  sugarú ( $v_a$  abszolút térfogatú) adalékanyag-gömböt egy  $k$  külső sugarú,  $v$  vastagságú ( $v_c$  abszolút térfogatú) cementkőgömbhéj fogja körül. A tangenciális feszültségek a cementkőhéjban minden irányban  $\sigma_{tc}$ , a radiális feszültség a cementkő-gömbhéj belső, illetve az adalékgömb külső palástján  $\sigma_{rc,b} = \sigma_{ra,k}$ . Adott esetben a  $k^3$ ,  $a^3$  és  $k^3 - a^3$  értékek a betongömb egységnyi, az adalékgömb  $v_a$  és a cementkőhéj  $v_c$  abszolút térfogataival arányosak. A feladatot a vastag falú gömbhéjra vonatkozó összefüggéssel segítségével oldjuk meg.

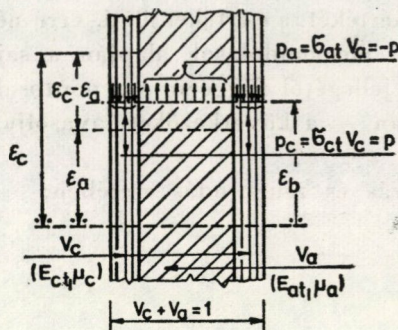
A szóbanforgó esetben — poláris tárgyalásmód mellett — az alapegyenletet az általános rugalmasságtan alapján írhatjuk fel.

Ebben az esetben az egyik alakváltozási feltételként felvesszük azt, hogy a cementkő-gömbhéj belső felületén a tangenciális alakváltozás egyenlő a cementkő gátolt alakváltozásával,  $(\varepsilon_b - \varepsilon_c)$ -vel, a másik feltételül azt fogadjuk el, hogy az adalékgömb külső felületének tangenciális alakváltozása egyenlő az adalék gátolt alakváltozásával,  $(\varepsilon_a - \varepsilon_b)$ -vel.

A *körhengermodell*t úgy alakítjuk ki, hogy a  $v_c$  térfogatú cementkő-hengerhéj és a  $v_a$  térfogatú adalék-henger együtteséből előálló betonhenger alakváltozása a tengely, valamint a palást mentén ugyanaz  $(\varepsilon_b)$  legyen. Előbb a henger tengelyére merőleges síkban fellépő feszültségeket, valamint a tengely menti feszültségeket egymástól elkülönítetten határozzuk meg, majd azok egymásra hatását is megvizsgáljuk.

A 7. ábrán feltüntetett modell jelölései alapján a feladatot úgy képzeljük, hogy egymást rétegesen kereszteződő cementkő és adalékanyag elemekről van szó, amelyek síktárcsát alkotnak (*lineáris modell*).

Az alakváltozási és statikai feltételek kielégítése után a síktárcsa modellre vonatkozó összefüggések, amelyeket a továbbiak során egyszerűség okából



7. ábra

alkalmazni javasolunk, a következők:

$$\sigma_c = \frac{\epsilon_b - \epsilon_c}{1 - \mu_c} \cdot E_c = \frac{1 - c}{1 - \mu_c} (\epsilon_a - \epsilon_c) E_c, \quad (51)$$

$$\sigma_a = \frac{\epsilon_b - \epsilon_a}{1 - \mu_a} E_a = - \frac{c}{1 - \mu_a} (\epsilon_a - \epsilon_c) E_a,$$

ahol

$$E_c = \frac{E_b}{v_i}, \quad v_i = c + (1 - c)n_a, \quad E_a = n_a E_c,$$

$$n_a = n_{a0} \frac{1 - \mu_a}{1 - \mu_c}, \quad n_{a0} = \frac{1 - c}{c} \frac{v_c}{v_a},$$

$\mu_a, \mu_c$  az adalékanyag, illetve cementkő Poisson-tényezője és

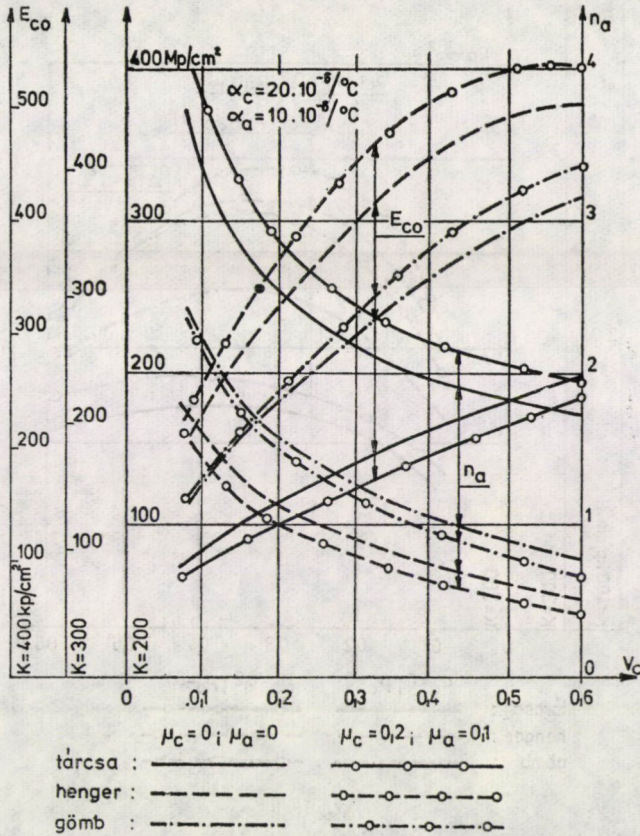
$$E_b = \nu E_0.$$

Hőmérsékletváltozásból ( $\Delta T$ ) keletkező feszültségek számításakor a kúszáshatás általában elhanyagolható és a gátolt alakváltozások

$$\epsilon_a - \epsilon_c = (\alpha_a^* - \alpha_c) \Delta T.$$

Ennek megfelelően  $-\mu_a$  és  $\mu_c$  értékét zérusnak véve — a következő egyszerű összefüggéseket nyerjük:

$$\begin{aligned} \sigma_c &= (1 - c)(\alpha_a - \alpha_c) \Delta T E_c, \\ \sigma_a &= -c(\alpha_a - \alpha_c) \Delta T E_a, \\ E_b &= \nu_0 E_0, \quad n_a = n_{a0}. \end{aligned} \quad (52)$$



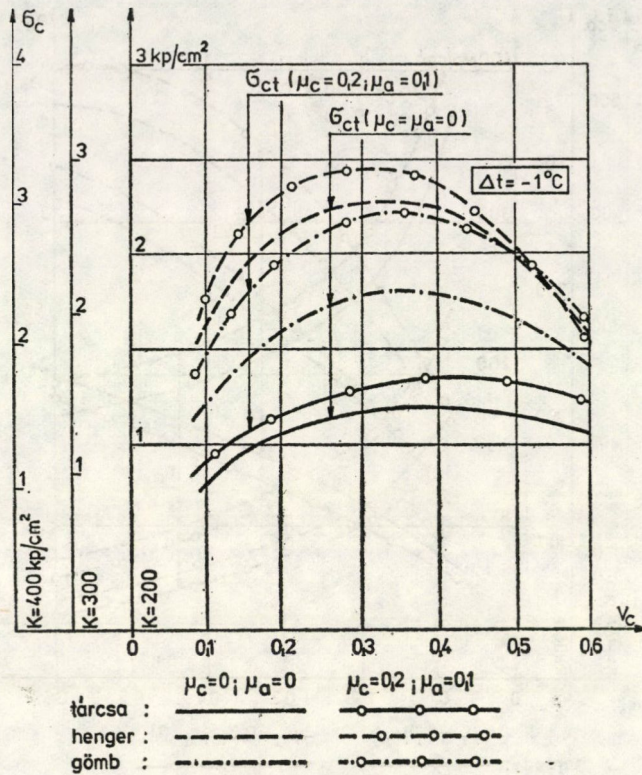
8. ábra

A háromféle modell alapján számított  $n_a$  és  $E_c$  értékeket a 8. ábrában, a  $\Delta T = 1^\circ\text{C}$  hőmérsékletváltozás (illetve  $0,01\%$  alakváltozás különbség) okozta  $\sigma_c$  (a cementkőben fellépő) húzófeszültségeket a 9. ábrában tüntettük fel a  $\mu_a = 0,1; \mu_c = 0,2$  és  $\mu_a = \mu_c = 0$  esetre. Az ábrák diagramjainak szemlélete azt mutatja, hogy a lineáris modell-adta számított feszültségek a legkisebbek.

A zsugorodásból származó sajátfeszültségeket — a  $\mu_a$  és  $\mu_c$  értékét zérusnak véve — az (51) képletnek megfelelően véve fel és elhanyagolva az adalékanyag zsugorodását a (36)–(43) képletek segítségével az alábbi összefüggésekkel becsülhetjük meg:

$$\sigma_{zs,c} = \frac{1-c}{c} \varepsilon_{zs,t} E_{ct}, \quad (53)$$

$$\sigma_{zs,a} = - \frac{v_c}{v_a} \sigma_{zs,c},$$



9. ábra

ahol  $\varepsilon_{z,sl}$  a (41),  $E_{ct}$  a (25) és a (44) képletek szerint számítható, tehát

$$E_{ct} = \frac{E_t}{v_i} = \frac{\nu_0}{1 + \varphi} E_{c0} = \nu E_{c0}, \quad (54)$$

és

$$E_{c0} = \frac{E_0}{v_i}, \quad (54a)$$

A kúszás okozta sajátfeszültségekre — a fenti elgondolások mellett a következő összefüggéseket kapjuk, figyelembevéve, hogy az adalékanyag saját kúszása elhanyagolható. A cementkőben  $\sigma_{c0}$  feszültségek  $\sigma_{c\varphi}$  értékkel csökkennek, az adalékanyagban a  $\sigma_{a0}$  feszültségek  $\sigma_{a\varphi}$  értékkel nőnek, miközben a nyomott rúd keresztmetszetében a  $\sigma_{c\varphi}$  és a  $\sigma_{a\varphi}$  feszültségek sajátfeszültségi rendszert alkotnak.



A cementkőben fellépő húzófeszültség

$$\sigma_{c\varphi} = \Delta\varepsilon_{kc} E_c = \frac{1 - c'}{c'} \frac{\varphi}{1 + \varphi} \sigma_{c0}, \quad (55)$$

$$\sigma_{a\varphi} = - \sigma_{b\varphi} \frac{v_c}{v_a}.$$

Ha ugyanis a  $t = 0$  időpontra vonatkozó kezdeti alakváltozás  $\varepsilon_0$ , akkor

$$\Delta\varepsilon_{kc} = \varepsilon_{kc} - \varepsilon_{kb} = \frac{1 - c'}{c'} \varepsilon_{kb} = \frac{1 - c'}{c'} \varphi \varepsilon_0,$$

és így

$$\varepsilon_{kb} = \varphi \varepsilon_0, \quad \sigma_{c0} = E_{c0} \varepsilon_0,$$

$$E_c = \frac{E_{c0}}{1 + \varphi}.$$

Itt  $\varphi$  értéke a (27) képlet szerint számítható,  $c'$  értéke pedig  $v_c^{2/3}$ -ra vehető fel.

#### 4. A beton repedésérzékenysége

Gyakorlati példák eredményeinek értékelése alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a sajátfeszültségek és így a sajátfeszültségi állapottal összefüggő fajlagos alakváltozások és az ezekkel jellemezhető repedésérzékenység, valamint repedéskialakulás megállapítása szempontjából a vasbetét hatásától el lehet tekinteni. Így a következőkben — általában — a kérdés megvilágítására és az értékelhető összefüggések nyeresére, csupán a betonra vonatkozó paramétereket vesszük tekintetbe.

Tételezzük fel először azt, hogy a beton — bizonyos  $t$  időpontig — adott környezeti viszonyok mellett csak zsugorodott és ennek következtében a cementkőben  $\sigma_{zs,c}$  feszültség lépett fel. A zsugorodás okozta fajlagos alakváltozás pedig — amely a  $\sigma_{zs,c}$  feszültségnek felel meg —  $\varepsilon_{zs,0}$ .

A beton húzószilárdságának ( $H$ ), illetve nyúlóképességének ( $\varepsilon_h, \varepsilon'_h$ ) ismeretében az idő függvényében meghatározható az a hőmérsékletcsökkenés ( $\Delta T_1$ ), amely a beton húzószilárdságának ( $H$ ), illetve nyúlóképességének ( $\varepsilon_h$ ) eléréséhez szükséges lenne, ha a cementkőben  $\sigma_{zs,c}$  feszültség lépett fel:

$$\Delta T_1 = \frac{\varepsilon_h - \varepsilon_{zs,0}}{(\alpha_b - \alpha_c)} = \frac{\varepsilon_h \left(1 - \frac{\sigma_{zs,c}}{H}\right)^{1/2}}{(\alpha_b - \alpha_c)}. \quad (56)$$

E képletben  $\varepsilon_{zs,0}$  azt a betonnyúlást jelenti, amely  $\sigma_{c,zs}$  feszültségnek felel meg, és amely vagy az

$$\varepsilon = \varepsilon_{zs,0} = \varepsilon_h \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\sigma_{zs,c}}{H} \right)^{1/2} \right] \quad (57)$$

vagy pedig az

$$\varepsilon_{zs,0} = \frac{\varepsilon_{zs,t}}{(1 + \varphi)v_i} \cdot \frac{1 - c}{c} \quad (58)$$

összefüggésből számítható, ugyanis egy tetszőleges  $t$  időpontban az (53) képlet alapján

$$\sigma_{zs,c} = \varepsilon_{zs,t} \frac{1 - c}{c} \frac{\nu_0 E_{c0}}{1 + \varphi} = \varepsilon_{zs,0} E_c \quad (59)$$

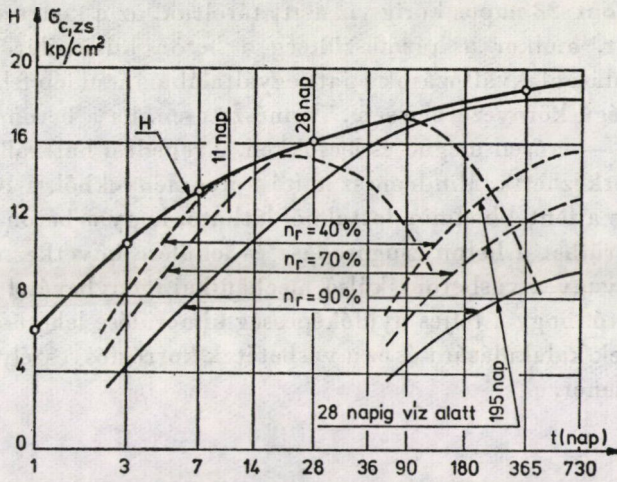
Ezután azt a hőmérsékletcsökkenést számítjuk ki, amely mellett — miközben a beton  $\alpha_b$  hőkitérjedési együtthatóval jellemzett módon megrövidül s a betonban a sajátfeszültségi állapot nem változik — a beton teljes nyúlóképessége ( $\varepsilon'_h$ ) kimerül, és így a beton repedési határállapotba jut anélkül, hogy külső mechanikai igénybevétel érné. Ez a hőmérsékletcsökkenés

$$\Delta T_2 = \frac{\varepsilon'_h - \varepsilon_h}{\alpha_b} \sim \frac{0,145 - \varepsilon_h}{\alpha_b} \quad (60)$$

Az (56)–(60) képletekben  $\varepsilon_h$  és  $\varepsilon'_h$  a (20)–(24) képletekkel, illetve az I. táblázat tájékoztató értékeivel megadott;  $\varepsilon'_h$ -re egységesen 0,145‰ tájékoztató értéket vehetünk fel az előrebecslő számítások során a biztonság fokozása érdekében vasalatlan betonokra.

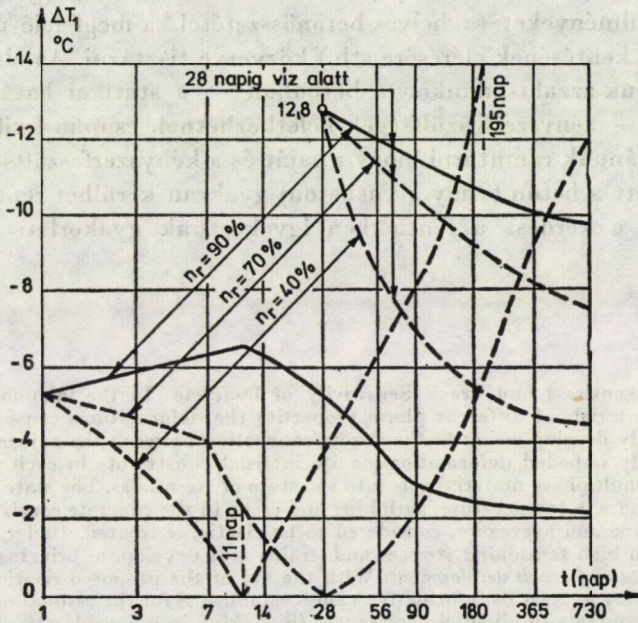
Tájékoztatásul egy  $K_{28} = 245 \text{ kp/cm}^2$  minőségű betonra vonatkozó jellemző adatokat a 10. és 11. ábrákban tintettünk fel. A beton egyéb adatai:  $\nu_c = 0,29$ ,  $x = 0,60$ ,  $\mu_c = 21 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ,  $\alpha_a = 11 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ,  $\alpha_b = 12,56 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ ,  $n_a = 2,21$ , a kiszáradási vastagság  $d = 10 \text{ cm}$ ,  $\varepsilon_h = 0,108\%$ ,  $\varepsilon'_h = 0,227\%$ ,  $E_0 = 302 \text{ Mp/cm}^2$ ,  $H = 16,3 \text{ kp/cm}^2$ ,  $H_a = 32,6 \text{ kp/cm}^2$ ,  $E_{c0} = 149 \text{ Mp/cm}^2$ ,  $\varphi_n = 2,12$ ;  $\varepsilon_{b,zs} = 0,235\%$ .

A 10. ábrában felraktuk  $\sigma_{zs,c}$  feszültségek változását — számításaink alapján —  $n_r = 40, 70$  és  $90\%$  relatív nedvességtartalomra, az idő függvényében mind a kezdettől, mind a 28 napos kortól zsugorodó betonokra. A 11. ábrában ama  $\Delta T_1$  kritikus hőmérsékletcsökkenés értékeit tüntettük fel, amelyek mellett a betonban éppen a húzószilárdságnak megfelelő feszültség, ugyancsak  $40, 70$  és  $90\%$  relatív nedvességtartalom mellett, az idő függvényében a fenti kétféle zsugorodási esetre,  $90\%$ -os relatív nedvességtartalmú környezetben — ha a beton kezdettől fogva zsugorodik — a beton zsugorodási húzófeszültségek miatt nem kerül repedési határállapotba: a zsugorodási végfeszültség, ha  $t$  a végtelenhez közeledik, a beton húzószilárdságának mintegy  $75 \div 80\%$ -a. Ellenben  $70$ , ill  $40\%$ -os relatív nedvességű környezetben a beton-



10. ábra

ban mintegy 28, ill. 11 nap múlva már fellép a beton húzószilárdságának megfelelő húzófeszültség, tehát a beton korán jut kritikus állapotba, amikor már néhány  $^{\circ}\text{C}$  mértékű lehűlés benne mikrorepedéseket okozhat. Ha a repedések nem lépnének fel, a saját feszültségek — a beton növekvő lassú alakváltozásai miatt — le tudnának épülni.



11. ábra

Ha a betont 28 napos korig víz alatt tároltuk, az a kedvezőtlen kezdeti repedési állapot, amikor a húzófeszültség a beton húzószilárdságát elérné, csupán zsugorodási alakváltozások miatt egyáltalában nem lép fel, még 40%-os relatív nedvességű környezetben sem. Természetesen, ha a beton hőmérséklete — váltakozóan — erősen megnő és lecsökken, a repedési határállapot e kettős hatásra bekövetkezhetik. Mindeme számítási eredményekből, a 10. és 11. ábra szemléletéből és a fentebb elmondottakból látható, hogy a beton teljes nyúlóképessége kimerülhet a beton zsugorodása és lehülése következtében anélkül, hogy a betont vagy a vasbetont külső mechanikai igénybevétel érné. Így az is megállapítható, hogy a teljes nyúlóképesség kimerülése lehetőséget ad kellemtelen repedések kialakulására és ez a vasbetétek korróziósveszélyének feltétlenül egyik oka lehet.

## 5. Összefoglalás

A fentiekben azt a célt tartottuk szem előtt, hogy a javasolt összefüggések és közölt gondolatok segítségével legalább is tájékoztató olyan értékeket lehessen megállapítani adott körülmények és adott betonkeverékek esetében, amelyek a beton repedésérzékenységének megítélésére bizonyos irányértékeként szolgálhatnak. Talán a leglényegesebb a fentiekben az, hogy igyekeztünk a jellemző körülményeket (a helyes betonösszetétel, a megfelelő utókezelés a zsugorodás csökkentésének elérésére stb.) közvetve tisztázni. Az elmondottakban foglalkoztunk azzal is, amikor a betonban — a statikai határozatlanság következtében — kényszerfeszültségek keletkezhetnek csupán fizikai hatások miatt. Arra kívánunk rámutatni, hogy a saját és a kényszerfeszültségek együttes fellépte miatt a beton (vagy a vasbeton) gyakran kerülhet repedési határállapotba. Ezt a kérdést a fentiekben igyekeztünk gyakorlati példával is megvilágítani.

**State of Eigenstress and Crack Sensitivity of Concrete.** In the inhomogeneous and anisotropic solid materials of different phase properties the deformations caused by physical effects cannot freely develop owing to the strong connection between the adjacent phase surfaces. The mutually impeded deformations incite internal constraints in each phases of the material, and the multiphase material gets into the state of *eigenstress*. The state of eigenstress caused by the changes in temperature, shrinking and creep in the concrete consisting of elasto-viscous cement-stone and aggregate, considered to be elastic, is treated. Under unfavourable circumstances such high tensioning stresses and strains may develop, as bringing the concrete into the *limiting state of crack development*. With the aid of the proposed relations and given conclusions there may at least be informative values established for the estimation of the crack sensitivity of the concrete in given circumstances (by taking into consideration the composition, treatment, and conditions of the storage and environment).

**Der Eigenspannungszustand und die Reißempfindlichkeit des Betons.** In den inhomogenen und anisotropen festen Körpern von verschiedenen Phaseneigenschaften können sich die durch physikalische Einwirkungen verursachten Verformungen, infolge der festen Gebundenheit der anschließenden Phasenflächen nicht frei entwickeln. Die wechselseitig gehinderten Verformungen erwecken in den einzelnen Stoffphasen innere Zwangskräfte und demzufolge gelangt der mehrphasige Stoff *in einen Eigenspannungszustand*. Es wird der durch Temperaturänderung, Schwindung und Kriechen hervorgerufene Eigenspannungszustand des aus Zementstein und als elastisch betrachteten Zuschlagsstoff zusammengesetzten Betons behandelt. Unter ungünstigen Umständen können im Zementstein und im Beton so hohe Zugspannungen und Dehnungen auftreten, daß der Beton den *Reißgrenzzustand erreichen kann*. Mit Hilfe der in der Abhandlung vorgeschlagenen Abhängigkeiten und Folgerungen kann man wenigstens Näherungswerte zur Beurteilung der Reißempfindlichkeit des Betons unter gegebenen Verhältnissen (unter Berücksichtigung der Zusammensetzung des Betons, sowie der Behandlungs-, Lagerungs- und Umgebungsverhältnisse) ermitteln.



# CaO és MgO VEGYÜLETEINEK KÉPZŐDÉSE A KALCITOS-DOLOMITOS BAUXITOK FELDOLGOZÁSÁKOR BAYER—ELJÁRÁSSAL

ZÁMBÓ JÁNOS\*—ORBÁNNÉ KELEMEN MÁRIA\*\*

A halimbai kalcitos-, dolomitos-bauxitok feldolgozásakor jelentkező üzemviteli problémák szükségessé tették az  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  rendszer vizsgálatát a Bayer-technológia paramétereit mellett. Megállapítást nyert, hogy a dolomitos bauxitok feltárásakor képződő Ca-, Mg-tartalmú fázisok minőségét és mennyiségi arányait elsődlegesen az aluminátlúgban oldott komponensek határozzák meg, de befolyásolják az oldat egyes összetevőivel reagálni képes szilárd fázisok is; a komponensek ásványos fázisa megszabja a lehetséges reakciókat; CaO hatására aluminátlúgból  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , illetve  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot k\text{SiO}_2(6-2k)\text{H}_2\text{O}$  képződik; növekvő CaO a fázisok minőségét nem, csak a mennyiségét befolyásolja; MgO jelenlétében  $\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}(\text{OH})_6$ ,  $\text{Mg}_6\text{Al}_2\text{CO}_3(\text{OH})_{16}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , ill.  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  keletkezik; CaO és MgO együttes jelenléte, mennyisége és aránya megszabja a reakciók és fázisok keletkezésének sorrendjét;  $\text{TiO}_2$  jelenlétében  $\text{CaTiO}_3$ ,  $\text{MgTiO}_3$  és  $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Al})$ -titanát is egyensúlyi fázis; a képződő vegyületek megváltoztatják az  $\text{Na}_2\text{O}$ - és  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -vesztéseket; a keletkezett Mg-tartalmú szilárd fázisok a  $\text{MgTiO}_3$  kivételével habzást okoznak.

## 1. Irodalmi áttekintés

A halimbai bauxitmező egyes területein a bauxitok CaO- és MgO-tartalma a szokásos 0,4%, illetve 0,1%-os értéket jelentősen meghaladja. A mező átlag 2,7% CaO-t és 0,7% MgO-t tartalmaz. A kalcium és a magnézium ásványos megjelenési formája a bauxitban főtömegében kalcit, illetve dolomit. A tim-földgyártási gyakorlatban ismert a karbonátos ásványok dekausztifikáló hatása. A szennyezettebb bauxitok feldolgozásakor azonban a zagy-elválasztásnál a mosósoron más problémák is jelentkeznek. A mosódorrok túlfolyásában nagymértékben megnő a vörösiszap-tartalom és jelentős mennyiségű, nagy szilárdanyag-tartalmú hab úszik a felszínre. A hab a rendszerben felgyülemelve üzemzavart okoz, súlyosabb esetben lehetetlenné teszi a mosósor üzemét. A nehézségek a kalcium- és a magnézium-tartalmú vegyületekkel kapcsolatosak, ezért vált szükségessé a kérdés részletes tanulmányozása.

\* Zámbo János, Fémipari Kutató Intézet 1116 Budapest, Fehérvári út 144

\*\* Orbánné Kelemen Mária, Fémipari Kutató Intézet 1116 Budapest, Fehérvári út 144

A  $\text{Na}_2\text{O}—\text{Al}_2\text{O}_3—\text{CaO}—\text{MgO}—\text{CO}_2—\text{H}_2\text{O}$  rendszerben az oldattal egyensúlyban levő szilárd fázisok meghatározása a Bayer technológiánál szokásos  $5 \div 250 \text{ g/l Na}_2\text{O}_k$  koncentrációnál,  $1,6 \div 3,5$

$$\frac{\text{Na}_2\text{O}_k}{\text{Al}_2\text{O}_3}$$

molviszonynál,  $70 \div 240^\circ\text{C}$  hőmérséklettartományban rendkívül nagy volumenű feladat. Esetünket még bonyolítja, hogy a bauxitok feltárásakor a  $\text{SiO}_2$  és  $\text{TiO}_2$  tartalom egy része is oldatba kerül, így a rendszer nyolc komponensűvé válik. E mellett a képződő szilárd fázisok a hőmérséklet és koncentráció változásával átalakulhatnak.

Ilyen bonyolult rendszerben az egyensúlyi szilárd vegyületek meghatározása a komponensek számának növelése útján, a szokásos módon, a szükséges vizsgálatok nagy száma miatt, nem oldható meg. A rendszer timföldipari szempontból fontos részleteiről azonban már nagyszámú adattal rendelkezünk, melyekre alapozva további laboratóriumi vizsgálatokkal, — a teljes rendszer egyensúlyi fázisainak meghatározása nélkül is, — tisztázhatók a kalcium- és a magnézium-tartalmú vegyületek képződési feltételei a bauxitfeltárás és a vörösiszapmosás viszonyainál.

Az  $\text{Na}_2\text{O}—\text{Al}_2\text{O}_3—\text{SiO}_2—\text{H}_2\text{O}$  rendszerből a timföldipari gyakorlatnak megfelelő hőmérséklet- és koncentráció-viszonyoknak megfelelően különböző nátrium—alumínium-szilikátok válnak ki.  $100^\circ\text{C}$  alatti hőmérsékleten „Lindezeolit A” képződik, amelynél a szilikátrácsba és rácshézagba idegen atomok épülhetnek be.  $180^\circ\text{C}$ -ig szodalitok képződnek, melyeknek kémiai összetételét Vörös [1],  $3(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) \text{Na}_2\text{X} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  összegképlettel adja meg, ahol  $\text{X} = \text{CO}_3^{--}, \text{SO}_4^{--}, 2\text{Cl}^-, 2\text{AlO}_2^-, 2\text{OH}^-$  lehet. A szodalit lényegében elegykristály, ami azt jelenti, hogy az X anion a mindenkori oldatkoncentráció, oldatösszetétel és hőmérséklet függvénye. Az alumínátlúg szodatartalmának változásával a karbonát-szodalit, a molviszony változásával az alumínát-szodalit mennyisége mutat növekedést vagy csökkenést.

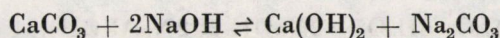
BARRER és WHITE [2] vizsgálatai szerint  $210^\circ\text{C}$ -on vagy felette szodalit és kankrinit, ill. csak kankrinit képződik, a molviszonytól függően. A kankrinit összegképletét  $3(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2)\text{Na}_2\text{CO}_3$  formulával, vagy  $3(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2)2\text{NaOH}$  összegképlettel adják meg, amelyek teljes egyezést mutatnak a karbonát-szodalit és hidroxí-szodalit összetételével, kristályszerkezetük azonban eltérő. A szodalitban az anionok változása teszi lehetővé az  $\text{Na}_2\text{O}$ -veszteségek egy részének (kb. 10%) az olcsóbb  $\text{NaCl}$ -, vagy  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ -tal történő pótlását [3]. SEIMIYA [4] a vörösiszapban szintén szodalit-típusú elegykristályt és kankrinit-típusú vegyületeket azonosított.

Az  $\text{Na}_2\text{O}—\text{Al}_2\text{O}_3—\text{CaO}—\text{CO}_2—\text{H}_2\text{O}$  rendszer egyensúlyi viszonyainak vizsgálatával az ötvenes években szovjet kutatók sora foglalkozott. Céljuk az ún. szóda-meszes eljárás kidolgozása volt, ahol a marónátron-veszteségek pótl-



lására használt szódát a bauxit feltárásával egyidőben mésszel kausztifikálják.

Az egyszerű karbonátok, mint a kalcit, dolomit, sziderit a bauxitok nedvesőrlése és feltárása során a lúggal kölcsönhatásba lépnek és szódává alakulnak. A



reakció egyensúlyi állandója 25 °C-on  $2,82 \cdot 10^{-3}$  [5].

A melegítéskor a reakció egyensúlyi állandója nő, mivel a

$$K_a = \frac{a_{\text{CO}_3^{2-}}}{a_{\text{OH}^-}^2} = \frac{L_{\text{CaCO}_3}}{L_{\text{Ca(OH)}_2}}$$

egyenletben, — ahol  $a_{\text{CO}_3^{2-}}$  és  $a_{\text{OH}^-}$  az ionok aktivitása, a a  $\text{CaCO}_3$  oldhatósági szorzata ( $L_{\text{CaCO}_3}$ ) nő és  $L_{\text{Ca(OH)}_2}$  pedig csökken. 200 °C-on  $K_a \approx 1$ .

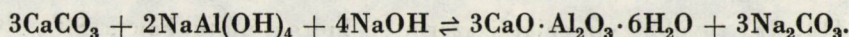
Következésképpen melegítéskor a kalcit jobban reagál a lúggal, azonkívül a lúgkoncentráció növelése is kedvez a kalcit bomlásának.

A magnezit reakciója 25 °C-on [6]

$$K_a = \frac{L_{\text{MgCO}_3}}{L_{\text{Mg(OH)}_2}} = \frac{1,7 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-12}} = 3,4 \cdot 10^5.$$

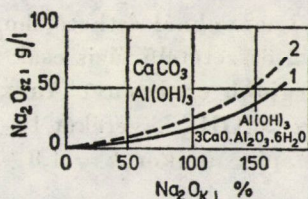
Melegítéskor az egyensúlyi állandó nő, a reakció nem megfordítható és gyakorlatilag már a kiskoncentrációjú lúgokban is teljesen végbement [7].

Meleg aluminátlúgban a kalcit szóda és kalcium-hidroaluminát képződése közben bomlik, amely ilyen körülmények között a mésznél rosszabban oldódik:

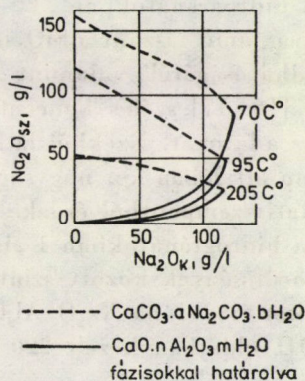


Az 1. ábrán a szódakausztifikáció egyensúlyi görbéje látható aluminátlúgban 95 °C-on,  $\alpha_k = 1,65$  esetében LEJTEJZEN és POTAPOVA nyomán.

A 2. ábra pedig különböző hőmérsékleten mutatja be a  $\text{CaCO}_3$  képződésének mezejét a  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Na}_2\text{O} - \text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  rendszerben [8]. A görbék által



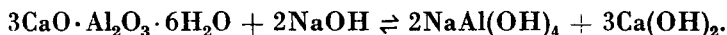
1. ábra



2. ábra

határolt területen a  $\text{CaO} \cdot n\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$  összetételű szilárd fázis, felette pedig  $\text{CaCO}_3 \cdot a\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot b\text{H}_2\text{O}$  kettőskarbonát válik ki az oldatból.

A trikalcium-hidroaluminát a hőmérséklet növelésekor nem állandó, és lúggal a következő egyenlet szerint reagál:



A reakció izotermiát a 3. ábra mutatja, LEJTEJZEN és POTAPOVA [10] nyomán.

Összehasonlítás céljából ugyancsak ezen az ábrán tüntettük fel a gibbsit (95 °C), a böhmít (155 és 200 °C) és a diaszpor (200 °C) oldhatóságát. A 3. ábrán feltüntetett hőmérsékleteken a trikalcium-hidroalumináttal egyensúlyban levő  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -koncentráció kisebb, mint a gibbsit, illetve böhmít oldhatósága, és 200 °C-on megközelítőleg azonos a diaszpor oldhatóságával, ezért a diaszporos bauxitok feltárásakor kalcium-aluminát nem képződik. A zagy lehűtésekor és hígításakor a  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  képződésének feltételei azonban igen kedvezőek.

$\text{SiO}_2$  jelenlétében hidrogránátok képződnek. Az  $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  rendszerből kikristályosodó hidrogránátok képződésének törvényszerűségeit többen [10–13] vizsgálták. Megállapították, hogy



képződik, ami nem más, mint a



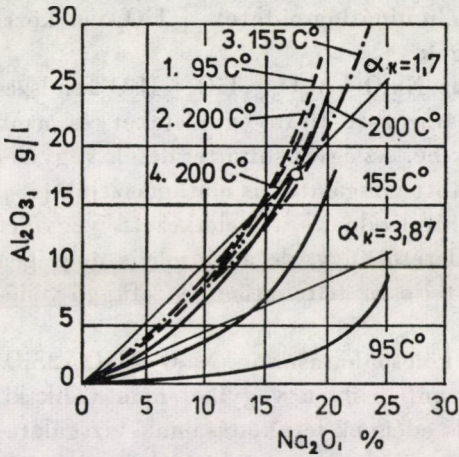
szilárd oldata.

[14, 15] további vizsgálatai szerint a hidrogránátokban a  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$  molaránytól függően a köbrács elemi cellájának mérete lineárisan változik. A  $\text{C}_3\text{AH}_6$ -nál a  $a = 12,55 \text{ \AA}$ , mely  $11,86 \text{ \AA}$ -re csökken a  $\text{C}_3\text{AS}_3$  esetében. Ez a változás a röntgendiffraktogramokon jól mérhető, de jól kristályosodott fázisoknál az optikai törésmutató meghatározásával is nyomomonkövethető, mivel a törésmutató  $1,590 \div 1,600$  helyett  $1,640 \div 1,670$  között van.

A hidrogránátokban „ $k$ ” értékét az oldat  $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$  molaránya határozza meg, amit viszont a  $\text{SiO}_2$  oldhatósága határol. A  $\text{SiO}_2$  stabilis és metastabilis oldhatóságáról, valamint a nátrium-hidroaluminium-szilikátok oldhatóságáról [16, 17] széles koncentráció és hőmérséklet határok között foglalják össze az adatokat. Ezekből látható, hogy az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mennyisége az aluminát-lúgokban általában két nagyságrenddel nagyobb, mint a  $\text{SiO}_2$ -tartalom, így a gyakorlati szempontból érdekes koncentráció-viszonyoknál érthető, hogy a  $k$  értéke a hidrogránátokban 1 alatt van és  $k \geq 2$  összetételű fázis csak különleges körülmények között szintetizálható. A legjobb eredményt ARAKELJAN [15] akkor érte el, ha  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  és  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  keverékét  $10 \div 20\%$ -os  $\text{NaOH}$  oldatban kezelt  $220 \text{ °C}$ -on néhány napig, amikor  $k = 1,8 \div 2$  lett.

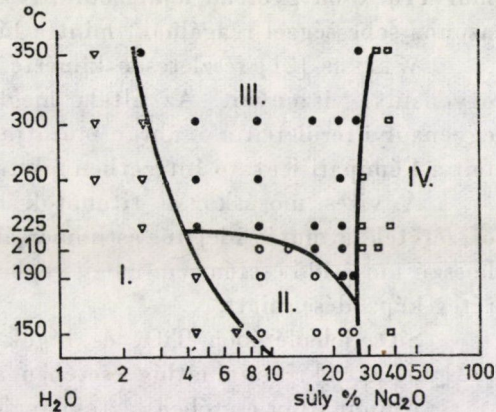
\*  $\text{C}_3\text{AH}_6$  egyéni rövidítések

\*\*  $\text{C}_3\text{AS}_3$



- 1.----- hidrargillit  
2.3.----- böhmít  
4.----- diaszpor

3. ábra



- I. ▽  $\text{Na}_2\text{Ti}_6\text{O}_{13}$       II. ○  $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
III. •  $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$       IV. □  $\text{Na}_2\text{Ti}_2\text{O}_5$

4. ábra

A szilárd fázisban található  $\text{Na}_2\text{O}$ -tartalom a hidrogránátokkal egyidejűleg kiváló NAS-ban van kötve.

A MgO viselkedéséről a timföldipari irodalomban nagyon kevés adat található. ARAKELJAN [15] a NAS-ok szintetizálásakor 100 °C-on azt tapasztalta, hogy MgO adalék hatására túsprizmás külsejű kristályok képződnek, melyek törésmutatója 1,570 ÷ 1,492 határok között van. Feltételezi, hogy  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  és olyan szilárd oldat keletkezik, ahol a nátrium-hidroaluminium-szilikátban a  $\text{Na}^+$  egy részét  $\text{Mg}^{2+}$  ionok helyettesítik. (Szodalit, ill. kankrinit = NAS).

A  $\text{TiO}_2$  viselkedését az alumínátlúgban sokan tanulmányozták, azonban a képződő vegyületek tekintetében a vélemények megoszlanak. Ezek az eltérések minden bizonnyal abból adódnak, hogy különbözők voltak a kísérletek technológiai paraméterei, valamint a vizsgálati módszerek. A különböző szerzők által leírt vegyületeket HAZAINÉ és SOLYMÁR [18] cikkükben foglalták össze. Kísérleteik során megállapították, hogy 180 °C-on az anatóz 24%-a nem reagál az alumínátlúggal és a titán-tartalom amorf nátrium-titanát alakjában fordul elő. Bauxit feltárásakor az alumínium- és titán-ásványok reakciója lúggal különböző sebességgel, párhuzamosan játszódik le. [19, 20] megállapították, hogy az amorf  $\text{TiO}_2$  és az anatóz viszonylag gyorsan reagál a lúggal és 200 ÷ 220 °C-on már 30 perc alatt befejeződik a  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{TiO}_2 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$  képződése. Hasonló körülmények között a rutil lassabban reagál és a titanát képződés 3 óra alatt sem megy végbe teljesen. 400 g/l  $\text{Na}_2\text{O}_k$ -nál nagyobb lúgkoncentráció esetén  $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{TiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  képződik. Ez a reakció anatózzal

már 110 °C-on gyorsan lejátszódik. Az alumínátlúg-oldatok a  $\text{TiO}_2$ -vel közel azonos sebességgel reagálnak, mint a lúgok.

WEFERS [21] részletesen kimérte az  $\text{Na}_2\text{O}—\text{Al}_2\text{O}_3—\text{TiO}_2—\text{H}_2\text{O}$  rendszer egyensúlyi viszonyait. Az általa meghatározott titánvegyületeket és azok egyensúlyi területeit a 4. ábrán mutatjuk be. Az egyensúlyi területek vegyületeit a Fémipari Kutató Intézetben folytatott vizsgálatok is alátámasztják [13].

A vizes mosáskor a titanátok hidrolizálnak, a keletkezett vegyület összetétele a mosás idejétől és hőmérsékletétől függ, de a hidrolízis még igen hosszú mosásidő esetén sem megy végbe teljesen, feltehetően összefüggő védőréteg képződése miatt.

$\text{SiO}_2$  jelenlétében  $\text{TiO}_2$  és lúgok kölcsönhatásakor  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{TiO}_2 \cdot 2\text{SiO}_2$  [22] keletkezik, alumínátlúg esetében azonban ilyen vegyület nem válik ki.

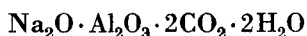
Alumínátlúg esetében, az expanziós edények lerakódásainak vizsgálatakor találtunk  $\text{Na}_2\text{TiSi}_4\text{O}_{11}$  összetételű vegyületet, amely  $\text{NaAlO}_2$ -ben dúsult vörösiszapban fordult elő [23].

Ha  $\text{CaO}$  van jelen, akkor függetlenül az alumínátlúg esetleges más komponenseitől  $\text{TiO}_2$ -vel történő kölcsönhatásból perovszkit ( $\text{CaTiO}_3$ ) vagy  $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Al})$ -titanát [23] képződik.

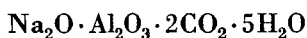
Nátrium-titanátok  $\text{CaO}$ -val történő kausztifikálásakor a reakció  $\text{Na}_2\text{O} \cdot 5\text{TiO}_2$ -n keresztül  $\text{CaO} \cdot 5\text{TiO}_2$ , valamint  $\text{CaTi}_2\text{O}_4(\text{OH})_2$  fázisok keletkezéséhez vezet [13].

Fentiek szerint a kalcit és a dolomit bomlása alumínátlúgban a zagy melegítésekor kezdődik, amikor  $\text{CaO}$  és  $\text{MgO}$ , valamint  $\text{CO}_2$  képződik. A  $\text{CO}_2$  a nátronlúggal szódát képez, míg a  $\text{CaO}$ -ból és  $\text{MgO}$ -ból vagy hidroxidok lesznek, vagy közvetlen reakcióba lépnek az oldat valamelyik komponensével. Ismeretes, hogy a magyar bauxitokban a  $\text{SiO}_2$  zömében kaolinit alakjában található, amely már 100 °C hőmérsékleten NAS-okat képez. A képződő NAS-ok és az alumínátlúg között kialakuló egyensúly következtében jelentős mennyiségű  $\text{SiO}_2$  lesz az oldatban, így a hidrogránátok képződésének a feltételei is adottak. Az anatóz intenzív oldódása 180 °C hőmérsékleten kezdődik, így az oldatba kerülő titánból különböző titanátok képződésével kell számolni.

SZMIRNOV [24] kimutatta, hogy az  $\text{Na}_2\text{O}—\text{Al}_2\text{O}_3—\text{CO}_2—\text{H}_2\text{O}$  rendszerben, ha  $\text{CO}_2 : \text{Na}_2\text{O} > 1$ , akkor nátrium-hidroaluminium-karbonát lesz az egyensúlyi szilárd fázis, amiből a



és a



vegyületeket azonosították, de nem zárják ki más nátrium-hidroaluminium-karbonátok létezését sem. A vizsgálatok során igazolták, hogy megfelelő hőmérsékleten ezek a hidroaluminium-karbonátok alumínium-hidroxidok és bikarbonát-oldatok kölcsönhatásából is keletkeznek.

Nagy CO<sub>2</sub>-tartalom esetében a hidroaluminium-karbonátok képződési lehetősége sem kizárt. Így a kalcitból, illetve dolomitból a Bayer-feltárás viszonyai között az alábbi fázisok képződése várható:

1. Ca(OH) <sub>2</sub>	ASTM	4—0733
2. 3CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O = CA*	ASTM	3—0125
3. 3CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·kSiO <sub>2</sub> (6—2k)H <sub>2</sub> O = CAS**	ASTM	3—0125
4. CaTiO <sub>3</sub>	ASTM	9—365
5. Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (8—12)H <sub>2</sub> O	ASTM	2—0083
6. CaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	ASTM	1—0688
7. Mg(OH) <sub>2</sub>	ASTM	7—239
8. Mg <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (OH) <sub>15</sub> ·4H <sub>2</sub> O	ASTM	14—91
9. Mg <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> (Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub> = MAS*	ASTM	11—157
10. MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	ASTM	10—62
11. Ca(Mg, Al)-titanát	ASTM	13—552
12. CaCO <sub>3</sub>	ASTM	5—0586
13. MgCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> ·x3H <sub>2</sub> O	ASTM	8—479, 1—0130
14. Ca(Mg)CO <sub>3</sub>	ASTM	5—0586
15. 3(Na <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub> )Na <sub>2</sub> X·aq	ASTM	3—0338
16. TiO <sub>2</sub>	ASTM	4—0477
17. Na <sub>2</sub> O·3TiO <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O	ASTM	11—290
18. NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> F <sub>2</sub>	ASTM	10—431
19. Na <sub>2</sub> O·8CaO·3Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5SiO <sub>2</sub>	ASTM	8—186
20. MgTiO <sub>3</sub>	ASTM	6—0494
21. Mg <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>5</sub> O <sub>18</sub>	ASTM	12—244

Vizsgálataink célja annak eldöntése volt, hogy a lehetséges fázisok közül melyik és milyen arányban képződik a kalcitos-dolomitos bauxitok feltárásakor, és a keletkezett fázisok milyen átalakuláson mennek keresztül a vörösiszap mosásának üzemi paramétereit között.

## 2. Kísérleti rész

A kísérletekhez analitikai tisztaságú CaO-t MgO-t, amorf SiO<sub>2</sub>-t, bauxitot, kalcitot és dolomitot használtunk. A kalcitos-dolomitos bauxit (KDT-3), valamint közvetlen a bauxitmezőről származó kalcit (KDT-10) és dolomit (KDT-9) kémiai és fázisösszetételét az I. táblázatban tüntettük fel.

\* CA egyéni rövidítések.

\*\* CAS.

I. táblázat

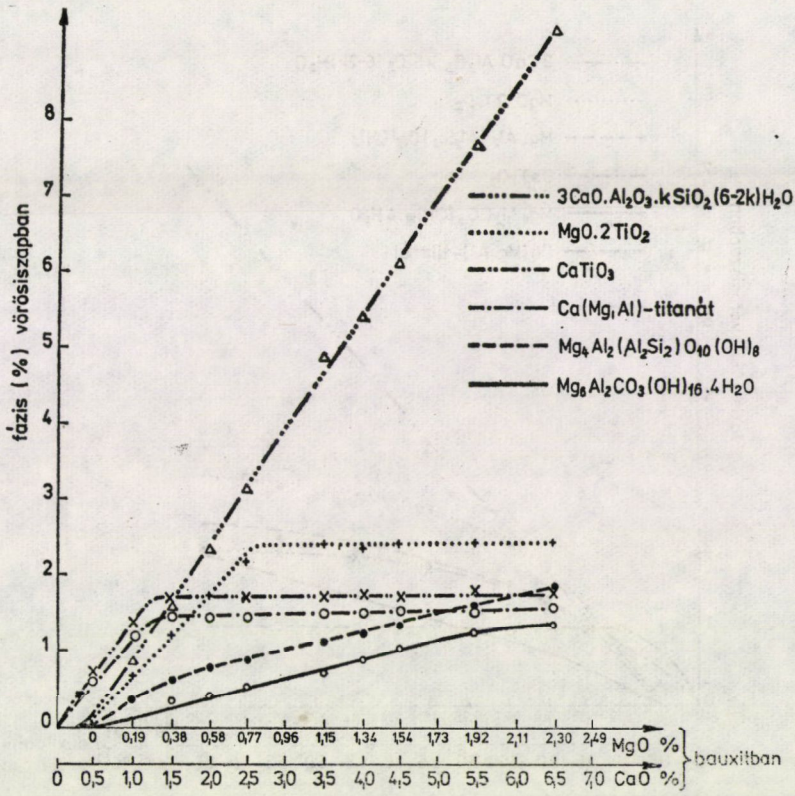
Kémiai összetétel %	Anyag megnevezése, jelölése		
	Kalcit = (KDT-10)	Dolomit = (KDT-9)	Bauxit = (KDT-3)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,6	1,5	43,0
SiO <sub>2</sub>	0,6	0,2	4,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8	0,5	19,3
TiO <sub>2</sub>	0,2	0,2	2,1
CaO	53,0	31,3	6,1
MgO	0,6	20,3	3,8
Izz. v.	43,0	45,9	19,4
CO <sub>2</sub>	42,2	46,7	8,9
Ásványos összetétel %			
Komponens fázisban			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> gibbsitben	0,2	0,3	ny
böhmitben	0,8	1,1	37,5
diaszporban	0,6	—	1,0
goethitben	—	—	0,5
hematitben	—	—	0,5
kaolinitban	ny	0,2	3,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> hematitben	0,8	0,5	13,6
goethitben	—	—	5,7
SiO <sub>2</sub> kaolinitban	ny	—	-3,7
kvarcban	0,6	0,2	0,5
TiO <sub>2</sub> rutilban	—	—	0,6
anatázban	0,2	0,2	1,5
CaO kalcitban	52,4	2,5	0,8
dolomitban	1,0	28,5	5,3

A kísérletek paraméterei: 1,5 óra felfűtés és 1 óra feltárás 210 °C-on. A bauxit, valamint feltárólúg arányát a várható reakciók alapján úgy állapítottuk meg, hogy a feltárás után az alumínátlúg molviszonya 1,68 legyen. A többi esetben az adalék és 1,6, illetve 3,5 mólviszonyú, a táblázatokban feltüntetett koncentrációjú alumínátlúg reakcióját vizsgáltuk a feltárás, és az iszapmosás üzemi állapotának megfelelően. A kísérletek eredményeit a II–V. táblázatok tartalmazzák.

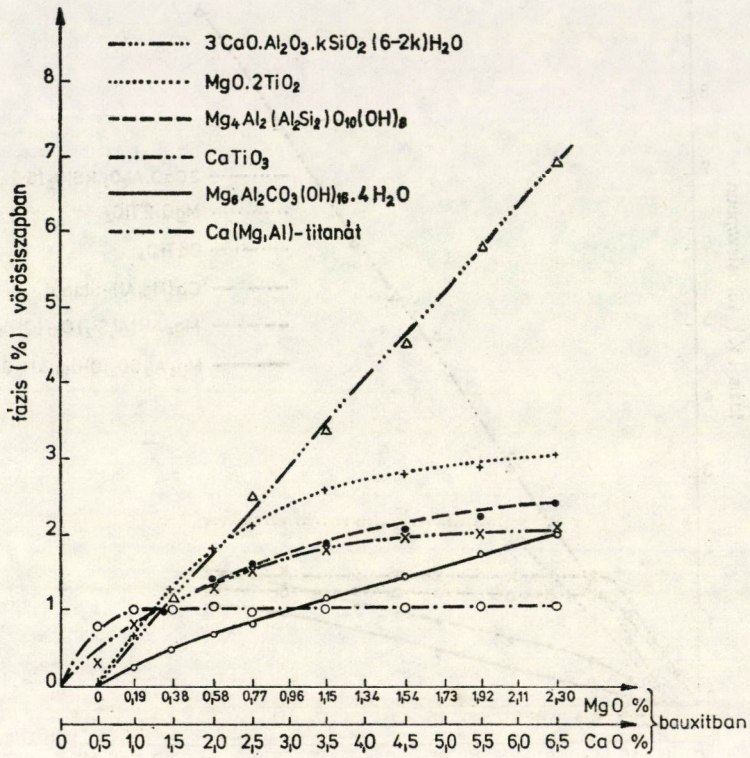
Mivel a kalcitból keletkező fázisok lényegében azonosak a CaO + SiO<sub>2</sub> + + alumínátlúg reakciójából keletkező fázisokkal, a mérési eredményeket külön nem tüntettük fel.

A KDT-3 jelű bauxit feltárásával nyert iszap fáziselemzési adatait komponensenkénti bontásban a VI. táblázat mutatja.

A reakciók sorrendjének meghatározására egy Kossuth-aknából származó bauxitot növekvő mennyiségű dolomit hozzáadásával tártuk fel 210– és 240 °C-on. A bauxit kémiai és fázisösszetételét a VII. táblázatban, a vörös-iszapok röntgendiffrakciós fáziselemzési adatait az 5. és 6. ábrán foglaltuk össze.



5. ábra



6. ábra



## II. táblázat

CaO, MgO és dolomit, valamint aluminátokat kölcsönhatásakor 210 °C-on képződött vegyületek SiO<sub>2</sub> és TiO<sub>2</sub> jelenlétében

1.	2.	3,5 mólv. aluminátlúg + adalék				1,6 mólv. aluminátlúg + adalék				
		CaO	CaO SiO <sub>2</sub>	MgO	MgO SiO <sub>2</sub>	CaO SiO <sub>2</sub>	MgO	MgO SiO <sub>2</sub>	KDT -9 SiO <sub>2</sub>	KDT -9 SiO <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub>
		3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
		Szilárd fázis összetétele %-ban								
1.	Ca(OH) <sub>2</sub>	14	8							
2.	3CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6H <sub>2</sub> O	45		2						
3.	3CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·kSiO <sub>2</sub> ·(6-2k)·H <sub>2</sub> O		92			100			29	5
4.	CaTiO <sub>3</sub>									
5.	Ca <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (8-12)H <sub>2</sub> O	41								
6.	CaAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>									
7.	Mg(OH) <sub>2</sub>			88	54		50	14	9	
8.	Mg <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> CO <sub>8</sub> (OH) <sub>16</sub> ·4H <sub>2</sub> O			8	2		48	3		
9.	Mg <sub>4</sub> Al <sub>2</sub> (Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> )O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>							23	7	16
10.	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>			2	4		2			
11.	Ca(Mg, Al) titanát									11
12.	CaCO <sub>3</sub>								5	5
13.	MgCO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O				7			10		
14.	(Mg, Ca)CO <sub>3</sub>								17	15
15.	3(Na <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub> )·Na <sub>2</sub> X·aq				33			50	33	24
16.	TiO <sub>2</sub> anatóz									10
17.	Na <sub>2</sub> O·3TiO <sub>2</sub> ·nH <sub>2</sub> O									7
18.	NaCa <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>7</sub> AlO <sub>22</sub> F <sub>2</sub>									6
	Kötött víz									1

Megjegyzés: A feltárasokat üzemi aluminátlúggal végeztük. A kötött víz és amorf fázis meghatározása derivatográffal történt.

## III. táblázat

A keletkezett vegyületek fázisátalakulásai a vörösiszap üzemi mosásának körülményeinél  
 $\text{Na}_2\text{O}_k = 85 \text{ g/l}$     $\alpha_k = 2,1$     $T = 85 \text{ }^\circ\text{C}$     $t = 24 \text{ óra}$    szilárdanyagtartalom = 200 g/l

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
Szilárd fázis összetétele %-ban										
1.	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	25	10							
2.	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	73		2						
3.	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot k\text{SiO}_2 \cdot (6-3k) \cdot \text{H}_2\text{O}$		90			100			30	6
4.	$\text{CaTiO}_3$									
5.	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 \cdot (8-12)\text{H}_2\text{O}$									
6.	$\text{CaAl}_2\text{O}_4$									
7.	$\text{Mg}(\text{OH})_2$			81	42			14	8	
8.	$\text{Mg}_6\text{Al}_2\text{CO}_3(\text{OH})_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$			13	14			4	2	
9.	$\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$				4			23	7	16
10.	$\text{MgAl}_2\text{O}_4$			2						
11.	Ca(Mg, Al)-titanát									11
12.	$\text{CaCO}_3$									
13.	$\text{MgCO}_3, \text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$			2	7			10		
14.	$(\text{Mg}, \text{Ca})\text{CO}_3$								17	12
15.	$3(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) \cdot \text{Na}_2\text{aq}$					33		49	31	26
16.	$\text{TiO}_2$ anatáz									10
17.	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$									7
18.	$\text{NaCa}_2\text{Mg}_5\text{Si}_7\text{AlO}_{22}\text{F}_2$									6
	Kötött víz									1

## IV. táblázat

A keletkezett vegyületek fázisátalakulásai a vörösiszap üzemi mosásának körülményeinél  
 $\text{Na}_2\text{O}_k = 40 \text{ g/l}$     $\alpha_k = 2,25$     $T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$     $t = 24 \text{ óra}$    szilárdanyagtartalom = 200 g/l

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
Szilárd fázis összetétele %-ban										
1.	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	16	14							
2.	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	71		2						
3.	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot k\text{SiO}_2 \cdot (6-2k) \cdot \text{H}_2\text{O}$		86			97			34	7
4.	$\text{CaTiO}_3$									
5.	$\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6 \cdot (8-12)\text{H}_2\text{O}$									
6.	$\text{CaAl}_2\text{O}_4$									
7.	$\text{Mg}(\text{OH})_2$			73	34			13	6	
8.	$\text{Mg}_6\text{Al}_2\text{CO}_3(\text{OH})_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$			20	19			5	3	
9.	$\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$				5			23	7	16
10.	$\text{MgAl}_2\text{O}_4$			2						
11.	Ca(Mg, Al)-titanát									11
12.	$\text{CaCO}_3$	10				3			6	5
13.	$\text{MgCO}_3, \text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$			3	10			11		
14.	$(\text{Mg}, \text{Ca})\text{CO}_3$								17	13
15.	$3(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) \cdot \text{Na}_2\text{X} \cdot \text{aq}$					32		48	26	24
16.	$\text{TiO}_2$ anatáz									10
17.	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$									7
18.	$\text{NaCa}_2\text{Mg}_5\text{Si}_7\text{AlO}_{22}\text{F}_2$									6
	Kötött víz	1								1
	Amorf $\text{CaCO}_3$	2								

## V. táblázat

A keletkezett vegyületek fázisátalakulásai a vörösiszap üzemi mosásának körülményeinél

 $\text{Na}_2\text{O}_k = 5 \text{ g/l}$   $\alpha_k = 2,70$   $T = 85 \text{ }^\circ\text{C}$   $t = 24 \text{ óra}$  szilárdanyagtartalom = 200 g/l

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
		Szilárd fázis összetétele %-ban								
1.	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	15	8							
2.	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	68		1						
3.	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot k\text{SiO}_2 \cdot (6-2k) \cdot \text{H}_2\text{O}$		85			93			36	7
4.	$\text{CaTiO}_3$									
5.	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{O}_6 \cdot (8-12)\text{H}_2\text{O}$									
6.	$\text{CaAl}_2\text{O}_4$									
7.	$\text{Mg}(\text{OH})_2$			67	25			10	6	
8.	$\text{Mg}_6\text{Al}_2\text{CO}_3(\text{OH})_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$			25	28			8	3	
9.	$\text{Mg}_4\text{Al}_2(\text{Al}_2\text{Si}_2)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$				5			23	7	16
10.	$\text{MgAl}_2\text{O}_4$			2						
11.	Ca(Mg, Al)-titanát									11
12.	$\text{CaCO}_3$	16	7			7			7	5
13.	$\text{MgCO}_3, \text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$			4	10			1		
14.	$(\text{Mg}, \text{Ca})\text{CO}_3$								18	13
15.	$3(\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2) \cdot \text{Na}_2\text{Xaq}$				32			48	23	23
16.	$\text{TiO}_2$ anatáz									10
17.	$\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$									7
18.	$\text{NaCa}_2\text{Mg}_5\text{Si}_7\text{AlO}_{22}\text{F}_2$									7
	Kötött víz	1		1						1

## VI. táblázat

A KDT-3 bauxit vörösiszapjának fázisösszetétele

komponensek %-ban

$\text{Al}_2\text{O}_3$	hematitban	0,7	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	goethitben	6,0	
	goethitben	0,1		hematitban	30,6	
	CAS-ban	4,0			36,6	
	MAS-ban	2,3		$\text{SiO}_2$	kvarcban	0,5
	szodalitban	1,5			szodalitban	1,6
	kankritban	1,9			kankritban	1,9
$\text{Na}_2\text{O} \cdot 0,8\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{SiO}_2$ -ben	diaszporban	1,0	MAS-ban		1,3	
		0,5	CAS-ban		0,4	
	Mg-Al-karbonátban	1,5	Na-Ca-Al-szilikátban		2,0	
	13,5			7,7		
MgO	MAS-ban	1,8	CaO	CAS-ban	6,3	
	dolomitban	0,7		Na-Ca-Al-szilikátban	1,5	
	Mg-titanátban	1,1		kalcitban	0,5	
		1,1		dolomitban	1,0	
	Mg-Al-karbonátban	3,6		Ca-titanátban	1,5	
	7,2			10,8		

## VII. táblázat

*A bauxit kémiai összetétele, %*

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	47,3
SiO <sub>2</sub>	7,43
Izz. veszt.	18,6
TiO <sub>2</sub>	2,3
CaO	0,5
MgO	< 0,1

*A bauxit fázisösszetétele, %*

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	kaolinitben	5,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	gibbsitben	23,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	diaszporban	1,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	böhmítben	16,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	goethitben	0,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	maghemitben	0,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	hematitben	0,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	goethitben	6,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	hematitben	14,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	maghemitben	2,5
SiO <sub>2</sub>	kaolinitben	5,9
SiO <sub>2</sub>	kvarcban	1,5
TiO <sub>2</sub>	anatázban	1,6
TiO <sub>2</sub>	rutilban	0,8
CaO	kalcitban	0,4
CaO	dolomitban	< 0,2
MgO	dolomitban	< 0,15

## 3. Az eredmények értékelése

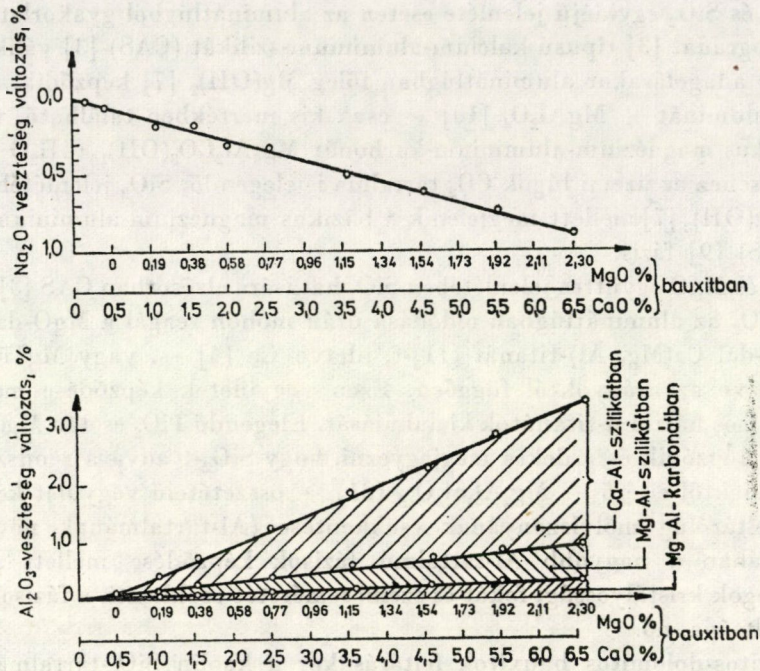
A dolomitos bauxitok feltárásakor képződő CaO- és MgO-tartalmú fázisok minőségét és mennyiségi arányait elsődlegesen a keletkezés idejében az alumínátlúgban levő oldott komponensek határozzák meg, de befolyásolják azokat az oldat egyes összetevőivel reagálni képes szilárd fázisok is. Ilyen szempontból fontos, hogy a SiO<sub>2</sub> könnyen oldódó kaolinit, vagy nehezen feltáráható kvarc, a TiO<sub>2</sub> a reakcióképesebb anatáz vagy a kevésbé oldódó rutil formájában van jelen. A kalcit és dolomit csak 180 °C feletti hőmérsékleten a kristályossági foktól függően alakul át reakcióképes CaO-dá és MgO-dá, a kaolinit viszont már 100 °C-on szodalittá alakul, a kvarc és a rutil pedig még 240 °C-on is csak részben reagál a feltárolóúggal. Ennek következtében a komponensek ásványos fázisa megszabja a lehetséges reakciókat. A kísérleti adatok alapján a következőket állapítjuk meg:

- CaO hatására alumínátlúgból mindig kalcium-aluminát [2] képződik, nagy mérszfelesleg, illetve nagy molviszonyú lúgnál Ca(OH)<sub>2</sub> [1] is megtalálható.
- A kaolin SiO<sub>2</sub>-tartalma az alumínátlúggal szodalitot [15] vagy kankrinitet [15] képez.

- CaO és SiO<sub>2</sub> egyidejű jelenléte esetén az aluminátlúgból gyakorlatilag csak hidrogránát [3] típusú kalcium-alumínium-szilikát (CAS) [3] válik ki.
- MgO adagolásakor aluminátlúgban főleg Mg(OH)<sub>2</sub> [7] képződik, magnézium-alumínát — MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> [10] — csak kis mértékben található, viszont a bázikus magnézium-alumínium-karbonát Mg<sub>6</sub>Al<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(OH)<sub>16</sub>·4H<sub>2</sub>O [8] képződéséhez az üzemi lúgok CO<sub>2</sub> tartalma is elegendő, SiO<sub>2</sub> jelenlétében pedig a Mg(OH)<sub>2</sub> [7] mellett megjelenik a bázikus magnézium-alumínium-szilikát (MAS) [9] fázis.
- CaO és MgO együttes jelenlétében SiO<sub>2</sub> hatására elsősorban CAS [3] válik ki.
- A TiO<sub>2</sub> az aluminátlúgban oldódása után mohón reagál a MgO-dal, illetve CaO-dal Ca(Mg, Al)-titanát [11]-t, illetve Ca [4] —, vagy MgTiO<sub>3</sub> [20]-t képezve az arányoktól függően. Ezen vegyületek képződése megelőzi a szokásos nátrium-titanátok kialakulását. Elegendő TiO<sub>2</sub> esetén Mg(OH)<sub>2</sub> [7] nem képződik és érdekes megjegyezni, hogy SiO<sub>2</sub>-t adva a rendszerhez az előbbiektől eltérő — Mg<sub>2</sub>Al<sub>4</sub>Si<sub>5</sub>O<sub>18</sub> [21] — összetételű vegyület keletkezik.
- A feltárológ mólviszonyának csökkentése (Al-tartalmának növekedése) általában a nagyobb Al-tartalmú fázisok képződése mellett a szilárd anyagok kristályossági fokát és szemcseméretét csökkenti, a fázisok felületi tagoltsága nő.
- Kalcitos-dolomitos bauxitok feltárásakor a kaolin SiO<sub>2</sub>-tartalmából még az aktív CaO, MgO képződése előtt szódalit [15] lesz, melynek egy része kausztifikálódik, vagy pedig CAS-tá [3] és MAS-tá [9] alakul.
- A fázisok képződésének sorrendje magyar bauxitok esetében a következő: kis kalcit- és dolomit-szennyezés esetében elsődlegesen Ca, Mg-titanátok keletkeznek, ezzel párhuzamosan folyik a CAS [3] képződése. Növekvő kalcit-, dolomit-tartalom esetében a titanátok képződése befejeződik, a CAS [3] mellett MAS [9] is kimutatható. Szabad SiO<sub>2</sub> hiányában CA [2], illetve alacsony „k” értékű CAS [3], Ca(OH)<sub>2</sub> [1] és főleg Mg(OH)<sub>2</sub> [7], illetve Mg—Al-karbonát [8] képződik az összes CaO-ból és MgO-ból.
- Az iszap mosásának viszonyai között a Ca-, Mg-titanátok [11], a MAS [9] és a Mg—Al-karbonát [8] nem változik, a CA [2], Ca(OH)<sub>2</sub> [1], és a CAS [3] a lúg szóda-tartalmát, illetve a szódalit [15] kausztifikálja, a Mg(OH)<sub>2</sub> [7]-ből pedig Mg—Al-karbonát [8] lesz.

A képződött vegyületek minőségi és mennyiségi aránya jelentősen megváltoztatja a szokásos kémiai Na<sub>2</sub>O- és Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-veszteségeket. A keletkezett szóda mennyisége a körfolyamatba bevitt kalcit, dolomit mennyiségével arányos. A beoldódási hatások és az említett Dorrr-sori visszakausztifikálás végeredménye a vörösiszap CaCO<sub>3</sub>- és MgCO<sub>3</sub>-tartalma alapján számítható, ami a gyakorlatban 70 ÷ 75 %-ot tesz ki.

A vörösiszapban az Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-, illetve Na<sub>2</sub>O-veszteségek nagyságát a szódalit-hoz [15] viszonyítjuk, ahol az Na<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> molekula aránya 1,67, a SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pedig 2. A képződött vegyületek közül a CAS [3]-ban, ha a „k” tényező 2,



7. ábra

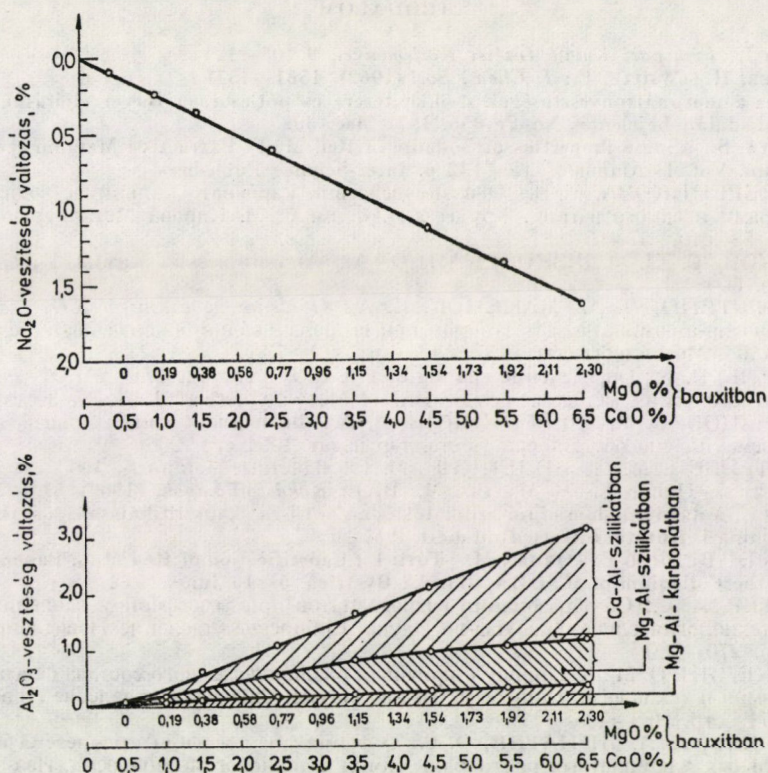
akkor az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  veszteség csökken, egyébként nő, ami a gyakorlatban általánosabb.

A CAS[3]-ban levő  $\text{SiO}_2$  arányában a kötött  $\text{Na}_2\text{O}$ -vesztés csökken. A Mg—Al-szilikát [9] képződése ugyancsak csökkenti az  $\text{Na}_2\text{O}$ -vesztéséget, azonban a kovasavra vonatkoztatott Al-vesztés e vegyületben kétszeres.

A Ca(Mg)-titanátok képződése némi nátronvesztés csökkenéssel jár. A fokozott Mg-szennyezéskor képződő  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  [7], illetve Mg—Al-karbonát [8] gyakorlati szempontból is jelentős többlet lúgvesztéséget és Al-kihozatal-csökkenést eredményez.

A keletkezett fázisok mennyiségét, és minőségét, valamint a kötött  $\text{Na}_2\text{O}$ - és  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -vesztések alakulását egy halimbai bauxit esetében növekvő dolomit-tartalom függvényében az 5., 6., 7. és 8. ábrán mutatjuk be. Az 5., 6. ábrán érzékelhető a fázisok keletkezésének sorrendje is.

A keletkezett új fázisok a kémiai veszteségeken túlmenően még az említett üzemvitelkor fellépő problémákat is okozzák. A vörösizsap mosáskor felszínre úszott anyagban minden esetben kimutatható volt a MAS [9] és a bázikus Mg—Al-karbonát [8] dúsulása, a feltáratlan böhmmittel és a Dorr-sori hidrolízis termékével a gibbsittel együtt. A jelenség szokásos flotációs folya-



8. ábra

matnak tekinthető. A jelzett Mg-tartalmú fázisok ugyanis lemezes szerkezetűek, aprószemcsésék, nagyfelületűek, és Dorr-sori körülmények között a nagy nátronkoncentráció és magas hőfok ellenére nagy mértékben kötődnek a zagyban mindig jelenlévő légbuborékokhoz. Jellemző, hogy míg egy normál bauxitból készült vörösiszap fajlagos felülete 12–15 m<sup>2</sup>/g, addig a MAS [9]-é 35–40 m<sup>2</sup>/g, a Mg/OH<sub>2</sub> [7]-é, illetve Mg–Al-karbonát [8] 45–50 m<sup>2</sup>/g. A képződött fázisok különböző fizikokémiai tulajdonságai – hidratációs hő, felületi adszorpció, habzóképeség – azt mutatta, hogy a Mg-tartalmú fázisok tulajdonságai és viselkedése – a Dorr-sori viszonyoknak megfelelő aluminát-lúgban – merőben különbözik a vörösiszap többi komponensétől. Ezeken a szilárd fázis és a levegő tapadása nagy mértékű. Létrejöhet olyan állapot is, amikor a habfázis vörösiszap tartalma meghaladja a kiüledett zagyban levő vörösiszap mennyiségét. Ez a jelenség a mosósor üzemeltetését lehetetlenné teszi.

## IRODALOM

1. VÖRÖS I.: *Fémipari Kutató Intézet Közleményei*. 9 105—124
2. BARRER, R.—WHITE, E.: *I. Chem. Soc.* (1962), 1561—1571
3. Eljárás a marónátronveszteségek csökkentésére és pótlására a Bayer eljárásnál. Magyar szabadalmi bejelentés No Fe-856. 1971. dec. 30.
4. SEIMIYA, S.: „Some Properties of Sodalite in Red Mud” *Extractive Metallurgy of Aluminium*, Vol. 1. Alumina, 115—132 p. Inter-Science Publishers
5. СЕРЕБРЕНИКОВА, О. В.: О взаимодействии карбоната кальция с водными растворами и едкого натрия. Труды У.П.И. им. С. М. Кирова Металлургиидат 1957 № 58 стр. 57—67
6. БЕСКОВ, С. Д.—СЛИЗКОВСКАЯ, О. А.: Аналитическая химия Учпедгиз. 1958. стр. 560
7. БЕРНШТЕЙН, В. А.—МАЦЕНКО, Е. А.: О взаимодействии  $\text{Fe}_2\text{CO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  со щелочно-алюминатным раствором при выщелачивании боксита по Байеру. Труды ВАМИ. Металлургиидат 1957. № 39 стр. 72—73
8. МАЗЕЛЬ, В. А.: Определение границ поля  $\text{CaCO}_3$  в системе  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{H}_2\text{O}$  статистическим методом. Труды ВАМИ Металлургиидат 1957. № 39 стр. 19—23
9. КУЗНЕЦОВ, С. М.—ДЕРЕВЯНКИН, В. А.: Физическая химия производства глинозема по способу Байера. Металлургиидат 1964 стр. 206
10. ЛЕЙТЕЙЗЕН, М. Г.—БЕЛЕЦКИЙ, М. С.: «Цветные металлы». 1963. № 9
11. Juhász A.—ORBÁN F.-né—MATULA M.: *VKL: Kohászati Lapok*, (1965), 513—521
12. Vörösi I.: A nátrium-alumínium-szilikátok és a vörösiszap kauszifikálása. Időszaki jelentés. Fémipari Kutató Intézet Budapest 1967
13. Vörösi I.—BUDOSÓ E.—ORBÁN M.—TÓTH L.: Caustification of Red Mud. Paper presented at the Colloquium of ICSOVA, Banska Bystrica, 6—10 June, 1972
14. БЕРГЕР, А. С.: Об образовании гидрогранатов при атмосферном давлении. Химия и технология глинозема. Изд-во Наука. Сибирское отделение Новосибирск. 1971. стр. 270—280
15. АРАКЕЛЯН, О. М.: К вопросу о причинах различия фазового состава белых шламов. Химия и технология глинозема. Изд-во Наука. Сибирское отделение Новосибирск. 1971. стр. 188—195
16. ГОРЯЧЕВ, А. А.—ИГНАТЕВ, О. С.: О формах нахождения кремнезема в метастабильных алюминатных растворах. Химия и технология глинозема. Изд-во Наука. Сибирское отделение. Новосибирск 1971. стр. 173—181
17. НИ, Л. П.: О поведении кремнезема в алюминатных растворах. Химия и технология глинозема. Изд-во Наука. Сибирское отделение. Новосибирск 1971. стр. 143—150
18. МИРОНОВ, М. В.—ПАЗУХИН, В. А.: О поведении двуокиси титана в щелочных и алюминатных растворах. Изв. вузов. Цветная металлургия 1959. № 1 стр. 83—90
19. МИРОНОВ, М. В.—ПАЗУХИН, В. А.: О поведении двуокиси титана в щелочных и алюминатных растворах в присутствии извести и кремнезема. Изв. вузов. Цветная металлургия, 1959. № 2 стр. 89—95
20. WEFERS, K.: *Metall.* 25 (1971), 239—250
21. БЕЛОВ, Н. В.: Структура ионных кристаллов и металлургических фаз. Изд-во АН СССР 1947. стр. 108
22. ZÁMBÓ J.—ORBÁN F.-né—SOLYMÁR K.: Timföldgyári lerakódások vizsgálata. Időszaki jelentés. Fémipari Kutató Intézet Budapest 1970
23. СМИРНОВ, М. Н.: Образование гидролюмакарбонатов натрия при взаимодействии гидроокисей алюминия с содобенкарбонатными растворами. Химия и технология глинозема. Новосибирск, 1971. Изд-во Наука. Сибирское отделение. стр. 381—387

**The Formation of  $\text{CaO}$  and  $\text{MgO}$  Compounds in the Treatment of Calcitic-dolomitic Bauxites by the Bayer Method.** The problems arising at the treatment of the Halimba calcitic-dolomitic bauxites required the investigation of the  $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{MgO}-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$  system under the conditions of the Bayer process. It has been proved that the quality and the quantity of the phases containing Ca, Mg, formed during the processing of the dolomitic bauxites, are determined in the first place by the components dissolved in the alumina lye, but they are also influenced by the various solid phases of the solution which are able to react: the mineral phases of the components determine the possible reactions; under the influence of  $\text{CaO}$ ,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  or  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot k\text{SiO}_2(6-2k)\text{H}_2\text{O}$  is formed; increasing



CaO does not influence the qualities of the phases, but only their quantity; in the presence of MgO  $Mg_4Al_2(Al_2Si_2)O_{10}(OH)_8$ ,  $Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16} \cdot 4 H_2O$ ,  $MgAl_2O_4$  or  $Mg(OH)_2$  is formed; the combined presence of CaO and MgO their quantities and their ratio determines the order of the arising of the reactions and the phases; in the presence of  $TiO_2$ ,  $CaTiO_3$ ,  $MgTiO_3$  and Ca/Mg, Al titanate is formed; the formed compounds change the  $Na_2O$  and  $Al_2O_3$  losses; the arising solid phases which contain Mg, except  $MgTiO_3$ , cause forming.

**Bildung von CaO- und MgO-Verbindungen bei der Verarbeitung der kalzitisch-dolomitischen Bauxite nach dem Bayer-Verfahren.** Die bei der Verarbeitung der kalzitisch-dolomitischen Bauxite von Halimba auftretenden Betriebsprobleme machten es notwendig das  $Na_2O-Al_2O_3-CaO-MgO-TiO_2-SiO_2-H_2O-CO_2$ -System unter den Bedingungen der Bayer-Technologie zu untersuchen. Es wurde festgestellt, daß die quantitativen und qualitativen Verhältnisse der bei der Aufschließung sich bildenden Ca- und Mg-hältigen Phasen vor allem von den in der Aluminatlauge gelösten Komponenten bestimmt, aber auch von den, mit einzelnen Komponenten der Lösung reaktionsfähigen, festen Phasen beeinflusst werden: die Mineralphase der Komponenten bestimmt die möglichen Reaktionen; unter Einwirkung von CaO bildet sich aus der Aluminatlauge  $3 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6 H_2O$ , bzw.  $3 CaO \cdot Al_2O_3 \cdot kSiO_2 (6-2)H_2O$ ; steigender Gehalt an CaO beeinflusst die Qualität der Phasen nicht, bloß ihre Menge; in Gegenwart von MgO entsteht  $Mg_4(Al_2Si_2)O_{10}(OH)_8$ ,  $Mg_6Al_2CO_3(OH)_{16} \cdot 4 H_2O$ ,  $MgAl_2O_4$  bzw.  $Mg(OH)_2$ ; gleichzeitige Anwesenheit von CaO und MgO, ihre Menge und ihr Verhältnis, bestimmen die Reihenfolge der Reaktionen und der Entstehung der Phasen; in Gegenwart von  $TiO_2$  sind auch  $CaTiO_3$ ,  $MgTiO_3$  und Ca(Mg, Al)-Titanat Gleichgewichtsphasen; die entstehenden Verbindungen verändern die  $Na_2O$  und  $Al_2O_3$ -Verluste; die sich bildenden festen Phasen, mit Ausnahme von  $MgTiO_3$  verursachen Schäumen.



# A HENGERES LEFEJTŐMARÓK GYÁRTÁSGEOMETRIAI MODELLJE ÉS ELJÁRÁSOK ANNAK SZÁMÍTÁSÁRA

DRAHOS ISTVÁN\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

és

BANCSIK ZSOLT\*\*

[Beérkezett: 1974. szeptember 16-án]

A hengeres lefejtőmarók oktatót és a gyakorlatban alkalmazott modelljei többé-kevésbé szimplifikálják a szerszámok valóságos geometriáját, s nem is foglalják magukban a szerszámokkal kapcsolatban megfogalmazható geometriai problémák összességét. Igaz, minél egzaktabb egy gyártásgeometriai modell, annál számításigényesebb is. Az egzakt gyártásgeometriai modell, s annak számítógépes vizsgálata — az olyan bonyolult esetekben, mint a lefejtőmaróké — viszont kölcsönösen feltételezik egymást. A szerzők célja a hátraesztérgált hengeres lefejtőmarók egzakt modelljének megalkotása és egyben olyan számítéjeljárások kidolgozása volt, amelyeket a szerszámtervező a szerszám tervezéséhez összeállítandó komplex programjába igénye szerint beépíthet.

## 1. Bevezetés

A tárgyalás során a lefejtőmarót munkadarabnak tekintjük. Eltekinünk a munkadarabot alakító szerszámgépek belső felépítésétől, s a szerszámgépek egyes, egymáshoz képest relatív mozgást végző egységeit (állvány, munkadarab, szerszám, szerszámbe fogó, stb.) mint merev térrendszereket vizsgáljuk.

Elemi, szintetikus tárgyalásmódot követünk. Programrészeleteinket az ALGOL 60 publikációs szintjén közöljük. A hivatkozási szintet ékezetes betűk és (az ívmértékben kifejezett szögeket jelentő) görög kisbetűk egészítik ki, a szorzás jelölésére  $\times$ -et használunk.

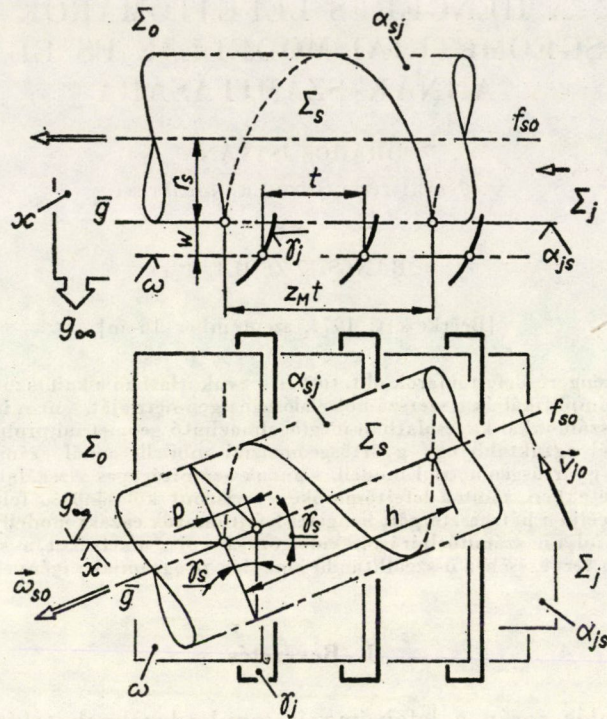
## 2. A hengeres lefejtőmarók szerszámfelülete

Mint ismeretes, a hengeres lefejtőmarók szerszámfelülete csavarfelület. A csavarfelületet pedig hengerfelülettel generálhatjuk. Vizsgálatainkat jobbemelkedésű szerszámfelület esetére végezzük el.

Vezessük be az álló  $\Sigma_0$  rendszert, a lefejtőmaró  $\Sigma_s$  rendszerét, mely a  $\Sigma_0$ -ban az  $f_{s0}$  tengely körül  $\omega_{s0}$  szögsebességgel egyenletesen forog, valamint a lefejtőmaró szerszámfelületét generáló  $\Sigma_j$  járulékos rendszert, mely a  $\Sigma_0$ -ban

\* Dr. Drahos István, 3534 Miskolc, Kandó Kálmán u. 4. III. 1.

\*\* Bancsik Zsolt, 3526 Miskolc, Kassai u. 64. IV. 1.



I. ábra. A lefejtőmarók szerszámfelületének és az ezt generáló felületnek az elrendezése

az  $f_{s0}$ -ra merőleges  $\vec{v}_{j0}$  sebességgel egyenletes haladómozgást végez (1. ábra). A  $\Sigma_s$  és  $\Sigma_j$  rendszerek relatív mozgása jól jellemezhető az  $f_{s0}$  tengelyű,

$$r_s = \frac{v_{j0}}{\omega_{s0}}$$

sugaru  $\alpha_{sj}$  forgáshengerből és a vele csúszás nélkül gördülő  $\alpha_{js}$  párhuzamos sugársorból álló axoidpárral.

Legyen a  $\Sigma_s$  rendszer  $\sigma_s$  szerszámfelületét generáló  $\Sigma_j$  rendszer generáló felülete a  $\gamma_j$  periodikus hengerfelület, vagy periodikus osztású azonos hengerfelületek sorára szétesett felület. A generáló felület alkotói párhuzamosak e felület  $\omega$  osztósjával. Az  $\omega$  pedig párhuzamos az  $\alpha_{js}$  axoid síkjával, s tőle  $w$  távolságra helyezkedik el. A generáló felület egymást követő periódusai az osztósíkot tehát egymással párhuzamos, egymástól sorra  $t$  osztásra levő egyenesekben metszik.

Nyilvánvaló, hogy ha a  $p$  csavarparaméterrel kifejezhető

$$h = 2\pi p$$

menetemelkedésű lefejtőmaró  $f_{s0}$  tengelyéhez képest a  $\gamma_j$  generáló hengerfelület  $\kappa$  keresztmetszeti síkját  $\gamma_s$  szöggel megdöntjük, akkor a lefejtőmaró  $z_M$  menetszámától<sup>1</sup> függően

$$h \cos \gamma_s = z_M t.$$

Mivel a  $\gamma_s$  emelkedésű csavarvonal hengerének sugara

$$r_s = p \cot \gamma_s,$$

az előbbi kifejezés  $2\pi r_s \tan \gamma_s \cos \gamma_s = z_M t$  alakban írható, amiből

$$r_s = \frac{z_M t}{2\pi \sin \gamma_s}.$$

Ha a  $\kappa$  sík  $g_\infty$  végtelen távoli egyeneséhez megkeressük az  $f_{s0}$  tengellyel és a  $p$  paraméterrel meghatározott jobbemelkedésű csavarodásban a  $\bar{g}$  reciprokló polárist, akkor az a reciprokló polárisokra vonatkozó

$$r_s = p \cot \gamma_s$$

összefüggés értelmében egy, az  $f_{s0}$ -val párhuzamos, tőle a sodrásnak megfelelő oldalon  $r_s$  távolságra fekvő egyenes lesz. A  $\bar{g}$  az az alkotó, amelyben az  $\alpha_{sj}$  és  $\alpha_{js}$  axoidpár egymást érinti, azaz az axoidpárnak a  $\Sigma_0$ -ban álló momentán forgástengelye.

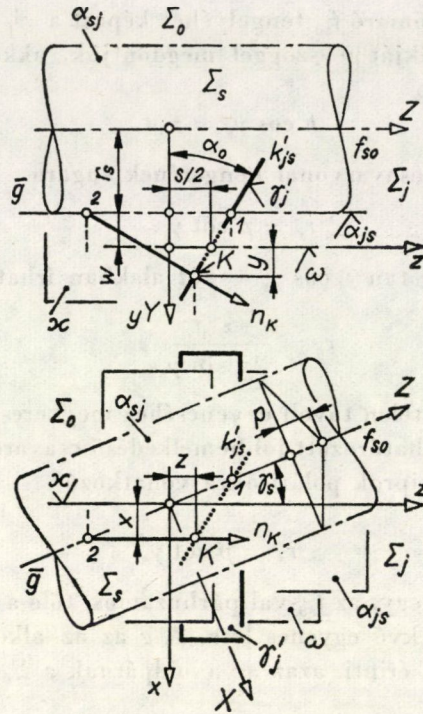
A fenti, minden hengeres lefejtőmaró szerszámfelületére érvényes közös összefüggések birtokában egyes különleges szerszámfelületek külön-külön vizsgálandók. A következőkben két szerszámfelületet ismertetünk, a közönséges fogaskerék-lefejtőmarókéét és a bordástengely-lefejtőmarókéét.<sup>2</sup> Az első esetben adott a generáló felület, az alapprofilnak megfelelő ún. „lökethasáb” fogdala. A másodikban a lefejtőmaró által megmunkálendő bordaoldal felülete az ismert, itt előbb a generáló felületet is meg kell határozni. Az ismertető elvek alapján hasonló módon határozhatók meg más lefejtőmarók szerszámfelületei is, pl. a Wildhaber–Novikov fogazatok, a lánckerek lefejtőmarói esetében, stb.

### 3. A fogaskerék-lefejtőmarók szerszámfelülete

Mind az egyenes mind a ferde evolvensfogazatok fogfelületeinek generálására — mint ismeretes — a „lökethasáb” oldalsíkjai szolgálnak. A fogaskerék-lefejtőmaró  $\Sigma_s$  rendszerének  $\sigma_s$  szerszámfelületét generáló  $\Sigma_j$  járulékos rendszer  $\gamma_j$  felülete tehát egy  $\gamma'_j$  síkból, s ennek a  $t$  osztás szerinti periodikus ismétlődéseiből áll (2. ábra).

<sup>1</sup> A  $z_M$ -et a modell teljességéért vesszük figyelembe, a gyakorlatban  $z_M = 1$ .

<sup>2</sup> A modell egyes összefüggései más egyenesvonalú profilok lefejtőmaróinak szerszámfelületeinél is alkalmazhatók.



2. ábra. A fogaskerék-lefejtőmaró szerszámfelületének generálása

A szerszámfelület megtervezésekor a lefejtőmaró  $f_{s0}$  tengelyét és a  $\gamma_j$  generáló felületet rendezzük egymáshoz. Az álló  $\Sigma_0$  rendszerhez kössünk hozzá egy  $x, y, z$  derékszögű koordinátarendszert. Az  $y$  tengely szimmetriaegyenes legyen a lefejtőmaró egy menetének a  $\gamma_j$  generáló felület  $x$  keresztmetszeti síkjában levő normálmetszetén. Az  $x$  tengely pedig az  $\omega$  osztósíkon fekszen a  $\gamma_j$  alkotóival párhuzamosan. A  $\gamma'_j$  és az  $\omega$  metszéspontjának az  $x$ -től való távolsága az  $s/2$  fél fogvastagság<sup>3</sup> legyen, a  $+y$  felé dőlő  $\gamma'_j$  sík az  $xy$  síkkal pedig az  $\alpha_0$  alapprofilszöget zárja be. A  $\Sigma_0$  rendszerhez kössünk hozzá — későbbi felhasználás céljából — egy másik,  $X, Y, Z$  derékszögű koordinátarendszert is. Az  $Y$  tengely az  $y$ -on fekszen, a  $Z$  pedig a lefejtőmaró  $f_{s0}$  tengelyén. A  $z$  és  $Z$  tengelyek  $\gamma_s$  szöge a marótengely bedöntési szöge a generáló felület  $x$  keresztmetszeti síkjához viszonyítva. Az  $f_{s0}$ -nak az  $\omega$ -tól való távolsága  $r_s + w$ . A  $w$  a tervezés során figyelembeveendő független távolság.<sup>4</sup> Végül az  $r_s$  sugarú  $\alpha_{sj}$  axoidhengernek az  $\omega$  osztósíkhöz legközelebbi alkotója a  $\bar{g}$ , s eb-

<sup>3</sup> E méretben — szükség esetén — figyelembe veendő a lefejtőmaró hátfelületének köszörülési ráhagyása is.

<sup>4</sup> A  $w$  figyelembevétele gyártásgeometriai szempontból indokolt. A fogaskerék-lefejtőmaróknál a gyakorlatban  $w = 0$  értékkel számolnak.

ben érinti az  $\alpha_{js}$  párhuzamos sugársor axoid az  $\alpha_{sj}$ -t. A  $\bar{g}$  az axoidpár csúszásmentes gördülésének a  $\Sigma_0$ -ban álló momentán forgástengelye.

A szerszámfelület meghatározása során egyszerűsítést jelent, hogy az axoidpár legördítésétől eltekinthetünk. Elegendő, ha a fenti alapállásban meghatározzuk a generáló sík karakterisztikus vonalát, amely — mint ismeretes — egyenes.

Meghatározandó tehát az alapállású  $\gamma'_j$  generáló sík  $k'_{js}$  karakterisztikus egyenese. Mint ismeretes, a  $\gamma'_j$  azon normálisai karakterisztikus normálisok, amelyek metszik a  $\bar{g}$  egyenest. A  $\bar{g}$  egyenes és a  $\gamma'_j$  sík 1 metszéspontja a  $k'_{js}$ -nek egyik pontja, hiszen benne metszi a  $\gamma'_j$  ottani normálisa a  $\bar{g}$ -t. A  $\bar{g}$  tetszőleges 2 pontjából a  $\gamma'_j$ -re merőlegesen állított  $n_K$  karakterisztikus normális a  $\gamma'_j$ -t a  $K$  karakterisztikus pontban metszi. Tehát az 1 és  $K$  összekötő egyenese a keresett alapállású  $k'_{js}$  karakterisztikus egyenes.

Ezek alapján a  $\gamma'_j$  síknak a  $\kappa$  síkon levő keresztmetszetét pontonként egy  $t$  paraméternek mint ordinátának függvényében az alábbi eljárás adja:

```

procedure keresztmetszet (y,z)
  a normális meredeksége: (yn)
  fogvastagság: (s) alapprofiliszög kotangense: (ct  $\alpha$ ) paraméter: (t);
  value t; real t, y, z, yn, s, ct  $\alpha$ ; begin y:=t; z:=0.5  $\times$ 
    s - y/ct  $\alpha$ ; yn:=ct  $\alpha$  end keresztmetszet;

```

Ez egyben a karakterisztikus egyenesnek a  $\kappa$ -n levő vetülete is. A karakterisztikus egyenes pontjainak még hiányzó  $x$  koordinátáját az

$$x := ((w + y) \times yn - z) \times \tan(\gamma_s);$$

utasítással számíthatjuk. A  $t$  határait később térünk ki.

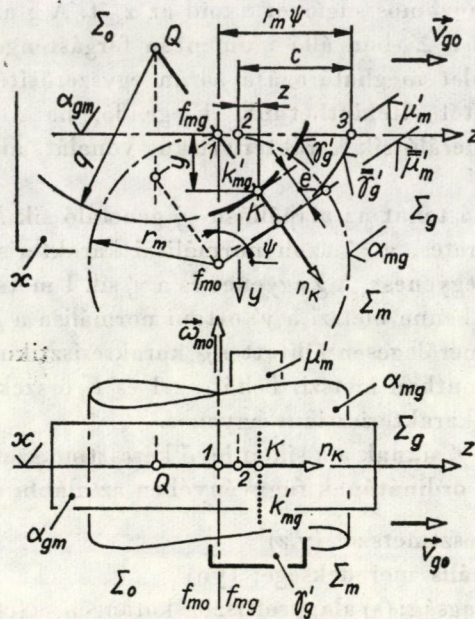
A karakterisztikus egyenes így számított pontjaira illeszkedő  $f_{s0}$  tengelyű,  $p$  paraméterű jobbemelkedésű csavarvonalak alkotják a fogaskerék-lefejtőmaró szerszámfelületét, mely — mint ismeretes — kifejthető csavarfelület.

#### 4. A bordástengelylefejtőmarók szerszámfelülete

A bordástengely megmunkálása szempontjából síkfelületű fogazattal ellátott egyenes fogazatú hengeres fogaskeréknek tekinthető.<sup>5</sup> Először egy alkalmas generáló rendszert kell választanunk, és ebben a bordástengely rendszerének a  $\mu'_m$  síkból,  $s$  ennek (egyoldali) periodikus ismétlődéseiből álló  $\mu_m$  felületéhez kell egy  $\gamma_g$  generáló felületet mint burkolófelületet meghatározunk (3. ábra).

Vezessük be tehát az álló  $\Sigma_0$  rendszert, a bordástengely  $\Sigma_m$  rendszerét, mely a  $\Sigma_0$ -ban az  $f_{m0}$  tengely körül  $\vec{\omega}_{m0}$  szögsebességgel egyenletesen forog, valamint a bordástengely fogazatát generáló  $\Sigma'_g$  rendszert, mely a  $\Sigma_0$ -ban az

<sup>5</sup> Vizsgálatainkat a bordaoldalok lefejtésére korlátozzuk.



3. ábra. A bordástengelylejtőmaró szerszámfelületét generáló felület meghatározása

$f_{m0}$ -ra merőleges  $\vec{v}_{g0}$  sebességgel egyenletes haladómozgást végez. A  $\Sigma_m$  és  $\Sigma_g$  rendszerek relatív mozgását jól jellemzi az  $f_{m0}$  tengelyű,

$$r_m = \frac{v_{g0}}{\omega_{m0}}$$

sugarú  $\alpha_{mg}$  forgáshengerből és a vele csúszás nélkül gördülő  $\alpha_{mg}$  párhuzamos sugársorból álló axoidpár. Az axoidok egymást a  $\Sigma_0$ -ban álló  $f_{mg}$  momentán forgástengelyben érintik.

A  $\mu'_m$  sík által a  $\Sigma_g$ -ben burkolt  $\gamma'_g$  felület egy hengerfelület. Alakja függ a  $\mu'_m$ -nek az  $f_{m0}$ -tól való  $e$  távolságától, s attól is, hogy mekkorára választjuk az  $\alpha_{mg}$  axoid  $r_m$  sugarát.

A  $\Sigma_m$  rendszerben a  $\mu'_m$ -vel párhuzamosan az  $f_{m0}$  tengelyre illeszkedő  $\mu'_m$  sík burkolófelülete a  $\Sigma_g$  rendszerben egy csúcsos ortociklois keresztmetszetű  $\bar{\gamma}'_g$  hengerfelület. A  $\mu'_m$  sík  $\gamma'_g$  burkolófelülete pedig ennek egyenközű felülete.

A  $\mu'_m$  sík és az általa burkolt  $\gamma'_g$  hengerfelület momentán egy-egy  $k'_{mg}$  karakterisztikus egyenesben érintkezik. A  $\gamma'_g$  valamely  $\kappa$  keresztmetszeti síkjában a  $\gamma'_g$ -nek egy  $K$  pontját — s ezzel egy  $k'_{mg}$  alkotóját — úgy kaphatjuk meg, hogy az  $f_{mg}$ -nek a  $\kappa$ -val alkotott 1 metszéspontjából a  $\mu'_m$  síkra merőleges  $n_K$  normálist bocsátunk. Ennek a  $\mu'_m$ -vel való metszéspontja a keresett  $K$  pont.

A  $\gamma'_g$  hengerfelület keresztmetszetének felírására kössünk a  $\Sigma_g$  rendszerhez egy  $y, z$  derékszögű koordinátarendszert. A  $z$  tengely fekszen a  $\kappa$  síknak az  $\alpha_{gm}$  síkjával alkotott metszévonalán. A koordinátarendszer 2 kezdőpontját



úgy válasszuk meg, hogy az az  $\alpha_{mg}$  és  $\alpha_{gm}$  axoidpár gördülése során az  $f_{mg}$ -re kerülve ott éppen a bordástengely fogárkának hosszanti szimmetriasíkján fekküdjön. Az  $y$  tengely a bordástengely felé mutasson. A 2 potnak az ortociklois 3 csúcspontjától való  $c$  távolsága a bordázat alakjából és az  $r_m$  sugár megválasztásából következő állandó.

Ezek után a  $\gamma'_g$  generáló hengerfelület keresztmetszetének paraméteres egyenletrendszere a  $K$  pontra, a  $\psi$  gördülésszög függvényében a következőképpen írható fel:

$$y = r_m \sin^2 \psi - e \sin \psi,$$

$$z = c + r_m(\sin \psi \cos \psi - \psi) - e \cos \psi.$$

A keresztmetszeti profilgörbe  $K$ -beli érintőjének az  $y$  tengely egyenesével bezárt szöge maga a  $\psi$  szög. A profilgörbe  $K$ -beli  $q$  görbületi sugarára a  $Q$  görbületi középpontot eredményező Euler–Savary-féle szerkesztés alapján a

$$q = 2r_m \tan \psi - e$$

összefüggés írható fel.

Most már választ adhatunk az  $r_m$  sugár megválasztásának kérdésére is. Az  $r_m$  értékét úgy kell megválasztani, hogy az lehetőleg olyan minimális érték legyen, amellyel a generáló felület alámetszése a bordástengely fogfelülete által — a felhasznált tartományon belül — még elkerülhető.<sup>6</sup> Az  $r_{m \min}$  értékét itt egyszerű konstruktív megfontolások alapján vezetjük le.

Az alámetszés határesetében a generáló felület profilgörbájének csúcspontja a görbe felhasznált ívének végpontja. A görbének a gördülési szög azon  $\psi_k$  értékénél van csúcspontja, amely  $\psi_k$ -nál az ortociklois görbületi sugara éppen  $e$ -vel egyenlő. Mivel a csúcsos ortociklois normálisán a görbületi sugarat a gördülési pont felezi:

$$r_{m \min} \sin \psi_k = 0,5 e.$$

Mivel pedig a profilgörbe csúcspontja legfeljebb a bordaprofil legkülső, még lefejtendő pontjával kapcsolódhat, a bordástengely külső sugarának egy élettőrészel csökkentett  $r_k$  értékét figyelembe véve:

$$r_{m \min} \cos \psi_k = \sqrt{r_k^2 - e^2}.$$

A két összefüggésből és eredeti feltételünkből viszont az

$$r_m \geq r_{m \min} = \sqrt{r_k^2 - 0,75e^2}$$

ismert összefüggés következik.

<sup>6</sup> E feltételnek a hatását a lefejtőszerszám profiltorzulásának csökkentésére korán felismerték.

Az  $r_m$ -nek és a bordaprofil még lefejtendő belső pontjához tartozó  $r_b$  sugárnak megválasztása után a  $\psi$  gördülésszög szélső értékei:

$$\psi_k = \arccos \left( \frac{\sqrt{r_k^2 - e^2}}{r_m} \right),$$

$$\psi_b = \arccos \left( \frac{\sqrt{r_b^2 - e^2}}{r_m} \right).$$

Ezzel a bordástengely  $\mu'_m$  fogfelületét generáló  $\gamma'_g$  felületet, s egyben a bordástengely lefejtésére tervezendő lefejtőmaró  $\sigma'_s$  szerszámfelületét generáló, a  $\gamma'_g$ -vel azonos  $\gamma'_j$  felületet<sup>7</sup> is kellőképpen megismertük.

A szerszámfelület megtervezésekor hasonlóan járunk el, mint első példánkban. További vizsgálataink tehát ismét a  $\Sigma_0$ ,  $\Sigma_s$  és  $\Sigma_j$  rendszerekre vonatkoznak (4. ábra).

A már bevezetett  $y, z$  koordinátarendszert egészítsük ki  $x, y, z$  derékszögű koordinátarendszerré. Kössünk hozzá a  $\Sigma_0$  rendszerhez — későbbi felhasználás végett — egy  $X, Y, Z$  derékszögű koordinátarendszert is. Az  $Y$  tengely az  $y$ -on fekdjön, a  $z$  pedig a lefejtőmaró  $f_{s0}$  tengelyén. Az  $\alpha_{gm}$  axoid síkjában, azaz az  $xz$  síkban helyezzük el a  $\gamma_j$  generáló felület  $\omega$  osztósíkját.<sup>8</sup> Az  $f_{s0}$  tengelynek az  $\omega$  síktól való távolságát ezúttal is mint az  $r_s$  sugár és a  $w$  távolság<sup>9</sup> összegét fejezzük ki. Az  $f_{s0}$  tengely és a  $x$  sík szöge ezúttal is  $\gamma_s$ .

Meghatározható tehát az alapállású  $\gamma'_j$  generáló hengerfelület  $k'_{j_s}$  karakterisztikus görbéje. A  $\gamma'_j$ -nek az előlnézeten megrajzolt keresztmetszeti profilján — a  $\psi$  szög függvényében — megszerkesztett  $K$  profilpont egy  $K$  karakterisztikus pont előlnézete lehet, a profilpontban megrajzolt  $n_K$  profilnormális pedig a karakterisztikus ponthoz tartozó  $n_K$  karakterisztikus normális előlnézete. Az  $n_K$  mint karakterisztikus normális a 4 pontban metszi a  $\bar{g}$  egyenest és párhuzamos a  $\gamma'_j$  felület keresztmetszetének  $x$  síkjával. Segítségével meghatározható a  $K$  karakterisztikus pont felülnézete is. A  $\psi$  szög változásával a pont befutja a keresett karakterisztikus görbét.

A  $k'_{j_s}$  karakterisztikus görbének a  $\psi$  gördülési szög mint paraméter függvényében felírt egyenletrendszere az  $x, y, z$  koordinátarendszerben tehát a következő:

$$x = (r_m \psi - c + w \cot \psi) \tan \gamma_s,$$

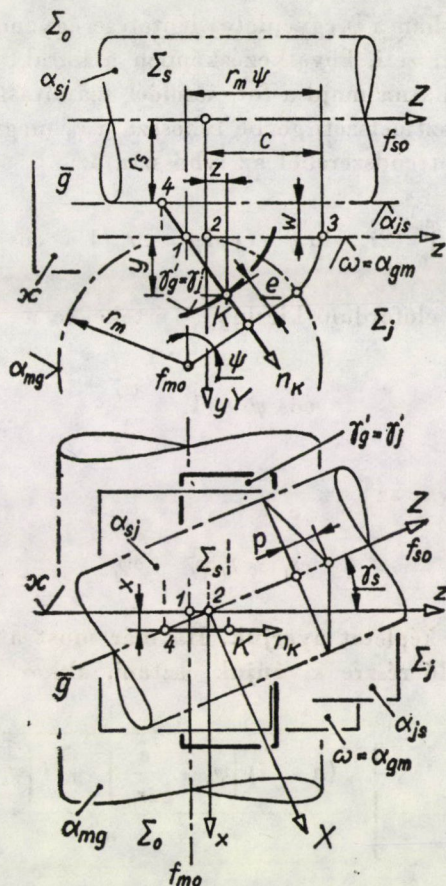
$$y = r_m \sin^2 \psi - e \sin \psi,$$

$$z = c + r_m (\sin \psi \cos \psi - \psi) - e \cos \psi.$$

<sup>7</sup> A  $\Sigma_m, \Sigma_g, \Sigma_j$  és  $\Sigma_s$  rendszerek együttes mozgásakor a  $\gamma_g$  és  $\gamma_j$  egymásban alkotóirányban elcsúsznak.

<sup>8</sup> Helyesebben: ezt az  $\omega$  síkot nevezzük el osztósíknak! Az osztósík-fogalom itt nem olyan magától értetődő, mint az evolvens-fogazatok esetében.

<sup>9</sup> Bordástengelylefejtőmaróknál  $w$ -t mint „tapasztalati értéket” szokás figyelembe venni. A profilpontosságra gyakorolt hatása csak számítógéppel elemezhető.



4. ábra. A bordástengelylefejtőmaró szerszámfelületének generálása

Az előzőek alapján programrészletünket például a következőképpen írhatjuk le:

**procedure** keresztmetszet ( $y, z$ )

a normális meredeksége: ( $yn$ )

geometriai állandók: ( $c, e, rm$ )

paraméter: ( $\psi$ );

**value**  $\psi$ ; **real**  $c, e, rm, \psi, y, z, yn$ ; **begin real**  $s\psi, c\psi$ ;  $s\psi := \sin(\psi)$ ;

$c\psi := \cos(\psi)$ ;  $y := rm \times s\psi - e$ ;  $z := c + y \times c\psi - rm \times \psi$ ;  $y := y \times$

$s\psi$ ;  $yn := c\psi/s\psi$ ; **end** keresztmetszet;

Ez a generáló felület keresztmetszetére vonatkozott. Ha az  $y$  és  $z$  koordinátákra vonatkozó fenti programrészletet kiegészítjük az  $x$  koordinátára vonatkozó

$$x := ((w + y) \times yn - z) \times \tan(\gamma_s);$$

utasítással, ezzel a karakterisztikus görbe pontjaira adunk számító eljárást.

A fenti eljárásban a  $\psi$  egyenletes léptetése egyenetlen pontsорт eredményezne a keresztmetszeti, következkésképpen a karakterisztikus görbén is, s az egyenetlenség kihatna majd a forgácsolólé számítására is. Vizsgáljuk meg, hogyan függ a keresztmetszeti görbe ívhossza a  $\psi_i$  megválasztásáról. A görbe paraméteres egyenletrendszeréből az ívhosszra az

$$s_i = \int_0^{\psi_i} (2r_m \sin \psi - e) d\psi = 2r_m(1 - \cos \psi_i) - e\psi_i$$

kifejezést, majd az előforduló kicsiny  $\psi_i$  értékekre a

$$\cos \psi_i \approx 1 - \frac{\psi_i^2}{2}$$

közelítést alkalmazva, az

$$s_i \approx r_m \psi_i^2 - e\psi_i$$

másodfokú közelítő képletet nyerjük. Ha már most a számítandó görbeívet közelítőleg  $n$  egyenlő részre kívánjuk osztani, akkor az  $i$ -edik osztópont a

$$\psi_i = \frac{e}{2r_m} + \sqrt{\frac{(n-i) \left( \psi_b - \frac{e}{2r_m} \right)^2 + i \left( \psi_k - \frac{e}{2r_m} \right)^2}{n}}$$

gördülési szöghöz tartozik.

Ezek alapján a karakterisztikus görbe pontjait számító programrészlet például a következő:

```
... cb:= 0.5 * e/rm; bb:=(pb-cb)^2;
kb:=(pk-cb)^2;
for i:=0 step 1 until n do
  begin  $\psi := cb + \text{sqrt}((bb \times (n-i) + kb \times i)/n)$ ;
  keresztmetszet (y,z,yn,c,e,rm, $\psi$ );
  x:= ((w+y) * yn - z) * tan( $\gamma\psi$ );
  {x, y, z nyomtatása}
end i;
```

A karakterisztikus görbe így számított pontjaira illeszkedő  $f_{s0}$  tengelyű,  $p$  paraméterű jobbemelkedésű csavarvonalak alkotják végül a bordástengely-lefejtőmaró keresett szerszámfelületét.

### 5. A forgácsolólél mint a szerszámfelület és a homloklfelület metszésvonala

A 3. és 4. pontban meghatároztuk egy-egy lefejtőmaró szerszámfelületén a karakterisztikus görbét a generáló felülethez orientált  $x, y, z$  koordinátarendszerben. Mindkét esetben megadtunk egy, a lefejtőmaróhoz orientált  $X, Y, Z$  koordinátarendszert is. Bármilyen legyen is a karakterisztikus görbe, az

$$X = x \cos \gamma_s + z \sin \gamma_s,$$

$$Y = r_s + w + y,$$

$$Z = z \cos \gamma_s - x \sin \gamma_s$$

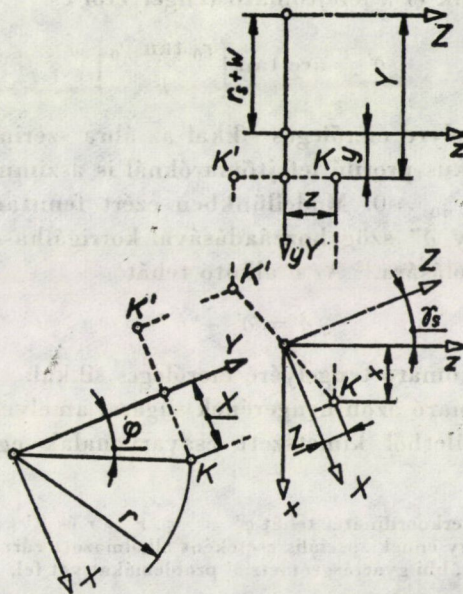
transzformációs egyenletrendszerrel vihető át az  $X, Y, Z$  koordinátarendszerbe (5. ábra).

Az  $Y$  tengelyt mindkét esetben a lefejtőmaró meneteinek szimmetriájában vettük fel. A meghatározott karakterisztikus görbe  $K$  pontjának az  $Y$ -ra való tükrözésével tehát a menet másik oldalán fekvő szerszámfelület karakterisztikus görbéjének  $K'$  pontját kapjuk meg. A tükrözésre vonatkozó transzformációs egyenletrendszer:

$$X' = -X,$$

$$Y' = Y,$$

$$Z' = -Z.$$



5. ábra. Koordinátatranszformáció

A következőkben a lefejtőmaró menetének kétoldali szerszámfelületeit eljárásaink együttesen kezelik, ábráink és levezetéseink — az egyszerűség kedvéért — továbbra is a  $K$  pontra vonatkoznak.

A csavarmozgás könnyebb leírása érdekében vezessük be az  $X, Y, Z$  koordináta-rendszerhez tájolt  $\varphi, r, Z$  hengerkoordináta rendszert (5. ábra). Ebbe a

$$\begin{aligned}\varphi &= \arctan \left( \frac{X}{Y} \right), \\ r &= -\sqrt{X^2 + Y^2} \\ Z &= Z\end{aligned}$$

transzformációs egyenletrendszerrel térhetünk át. Az  $r$  a  $K$  pont távolsága a lefejtőmaró tengelyétől, a  $\varphi$  pedig a  $K$ -ból a tengelyre bocsátott merőleges metsző egyenesnek az  $YZ$  síkkal alkotott szöge az ábra szerinti értelemben.<sup>10</sup>

A lefejtőmaró elméleti forgácsolóéle a szerszámfelületnek a választott homloklfelülettel alkotott metszésvonala. Modellünkben az elméleti homloklfelületet nyílt éles torzcsavarfelületnek<sup>11</sup> tekintjük (6. ábra). Ha a lefejtőmaró  $r_0$  sugarú hengerén  $\gamma_0$  a homloklfelületből kimetszett csavarvonal ferdeségi szöge, és az  $r_0$  sugárhoz  $\gamma_{n0}$  homlokszög tartozik, akkor a homloklfelület  $a$  alkotója

$$k = r_0 \sin[\arctan(\tan \gamma_{n0} \cos \gamma_0)]$$

távolságra helyezkedik el a lefejtőmaró tengelyétől és

$$\delta' = \arctan \left( \frac{r_0 \tan \gamma_0}{k} \right)$$

szöget zár be a tengelyre merőleges síkkal az ábra szerinti értelemben. Mint ismeretes, szimmetrikus profilú lefejtőmaróknál is aszimmetrikus profiltorzulás jelentkezik, ha  $\gamma_{n0} \neq 0$ . Modellünkben ezért fenntartjuk a lehetőséget, hogy a  $\delta'$  szöget egy  $\delta''$  szög hozzáadásával korrigálhassuk a profiltorzulás mértékének befolyásolására.<sup>12</sup> Az  $a$  alkotó tehát

$$\delta = \delta' + \delta''$$

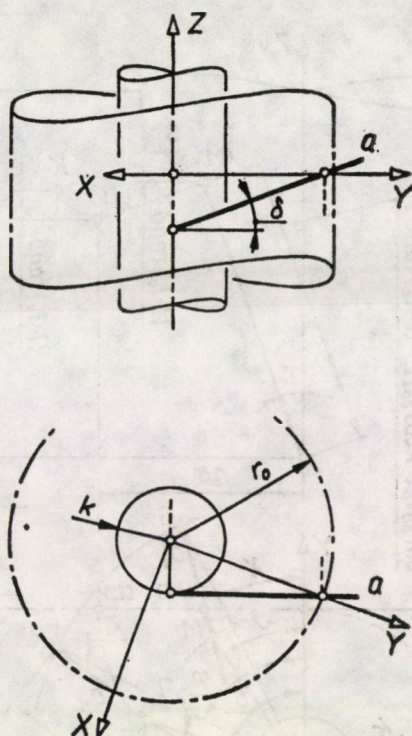
szöget zár be a lefejtőmaró tengelyére merőleges síkkal.

Az  $r_0$  a lefejtőmaró azon hengerének sugara, amelyen a szerszámfelületből és a homloklfelületből kimetszett csavarvonalak egymást merőlegesen

<sup>10</sup> A  $K'$  pont hengerkoordinátái tehát  $\varphi' = -\varphi$ ,  $r' = r$  és  $Z' = -Z$ .

<sup>11</sup> A nyílt éles, vagy ennek speciális eseteként alkalmazott zárt lapos torzcsavarfelületnek a megköszörülése további gyártásgeometriai problémákat vet fel. E kérdéssel itt nem foglalkozunk.

<sup>12</sup> E korrekció mértékének hatását csak számítógéppel érdemes elemezni.



6. ábra. A pozitív homlokszögű lefejtőmarók homloklfelületének alkotója

metszik. Ezt a hengert a homloklfelület osztóhengerének nevezhetjük. Az  $r_0$  tehát a szerszámfelület és a homloklfelület különböző előjelű csavarparaméterei abszolút értékeinek mértani középarányosa:

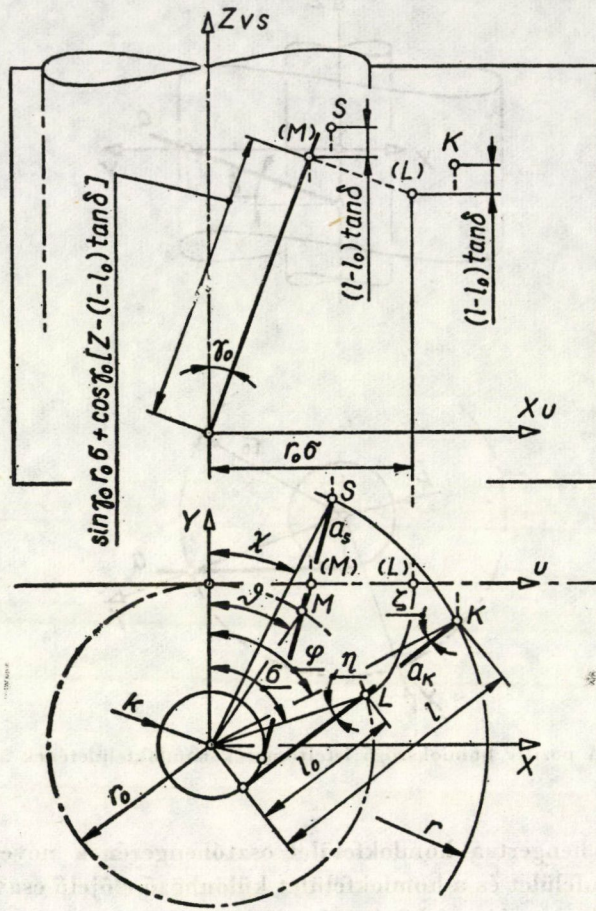
$$r_0 = \sqrt{-p_h}$$

ahol  $p_h$  a homloklfelület csavarparamétere.

A  $Z$  tengelyű,  $p_h < 0$  paraméterű és  $a$  alkotójú (balemelkedésű) homloklfelületet rögzítsük abban a helyzetében, amelyben az alkotó az  $Y$  tengelynek az  $r_0$  sugarú hengerrel alkotott metszéspontján megy keresztül (6. ábra).

A szerszámfelület és az így módon rögzített homloklfelület metszévonalát pontonként előállíthatjuk, ha a szerszámfelület karakterisztikus görbéjének pontjait a szerszámfelületen, tehát  $p$  paraméterrel, rendre belecsavarjuk a homloklfelületbe.

Eljárásunk alap gondolata a következő (7. ábra). A karakterisztikus görbe  $K$  pontjára egy olyan  $a_K$  alkotót illesztünk, amely az  $a$  alkotóhoz hasonlóan a szerszám tengelyére merőleges síkkal  $\delta$  szöveget zár be és a szerszám tengelytől a megfelelő oldalon  $k$  távolságra van. Az  $a_K$  az  $r_0$  sugarú hengert az  $L$  pont-



7. ábra. A lefejtőmarók szerszámfelületének és homloklfelületének metszése

ban metszi. A henger síkbaterített felületén a henger és a homloklfelület metszészvonala egy egyenes, amely átmegy a hengernek az  $Y$  tengellyel alkotott metszéspontján, és a hengeralkotókkal a balemelkedésnek megfelelő

$$\gamma_0 = \arctan \left( \frac{p}{r_0} \right)$$

szöget zárja be. A síkbaterítésen az  $L$  pontnak az  $(L)$  pont felel meg. Az  $L$  pontnak a homloklfelületbe való csavarása a síkbaterítésen az  $(L)$  merőleges vetítését jelenti a síkbaterített metszészvonala. Majd az  $(L)$  pont merőleges vetületét visszaterítjük a hengerre, s az így kapott  $M$  pontra illesztett  $a_3$  alkotót elmetszük a  $K$  ponton átmenő  $r$  sugarú forgáshengerrel. Így meg-



kapjuk a szerszámfelület és a homloklfelület metszésvonalának, azaz a forgácsolóélnek egy  $S$  pontját.

Az ábrából a következő összefüggések írhatók fel. Az

$$\eta = \arcsin \left( \frac{k}{r_0} \right)$$

és

$$l_0 = \sqrt{r_0^2 - k^2}$$

állandók. A

$$\zeta = \arcsin \left( \frac{k}{r} \right),$$

$$l = \sqrt{r^2 - k^2}$$

és

$$\sigma = \varphi + \eta - \zeta$$

pontonként változnak. Az  $(L)$  pont koordinátái a síkbaterítésben

$$u_L = r_0 \sigma,$$

$$v_L = Z - (l - l_0) \tan \delta.$$

Az  $(M)$  pont koordinátái a síkbaterítésben

$$u_M = r_0 \sigma \sin^2 \gamma_0 + [Z - (l - l_0) \tan \delta] \cos \gamma_0 \sin \gamma_0,$$

$$v_M = r_0 \sigma \sin \gamma_0 \cos \gamma_0 + Z \cos^2 \gamma_0 - (l - l_0) \tan \delta \cos^2 \gamma_0.$$

Az  $S$  pontot magát  $\chi, r, s$  hengerkoordinátáival ábrázolhatjuk. A  $\chi$  koordináta a

$$\vartheta = \frac{u_M}{r_0}$$

jelölés bevezetésével

$$\begin{aligned} \chi = \vartheta - \eta + \zeta = \varphi \sin^2 \gamma_0 + (\zeta - \eta) \cos^2 \gamma_0 + \\ + [Z - (l - l_0) \tan \delta] \frac{\sin \gamma_0 \cos \gamma_0}{r_0}. \end{aligned}$$

Az  $s$  koordináta pedig

$$s = v_M + (l - l_0) \tan \delta = r_0 \sigma \sin \gamma_0 \cos \gamma_0 + Z \cos^2 \gamma_0 + (l - l_0) \sin^2 \gamma_0 \tan \delta.$$

Végül derékszögű koordinátákra az

$$X_s = r \sin \chi,$$

$$Y_s = r \cos \chi,$$

$$Z_s = s$$

transzformációs egyenletrendszerrel térhetünk át.

A fenti módon számított forgácsolél tehát azon a homloklfelületen helyezkedik el, amely keresztül megy az  $Y$  tengely  $r_0$  ordinátájú pontján. A fentiek alapján összeállított következő eljárással egy forgácsolél-pár pontjai számíthatók  $\chi$ ,  $r$ ,  $s$  hengerkoordinátákban közvetlenül bármely szimmetrikus generálófelület keresztmetszetéből,<sup>13</sup> a keresztmetszet pontjainak  $y$ ,  $z$  koordinátái ill. a keresztmetszet normálisának

$$y_n = - \frac{dy}{dz}$$

iránytényezője ismeretében.

**procedure** él ( $\chi 1$ ,  $\chi 2$ ,  $r$ ,  $s 1$ ,  $s 2$ ) keresztmetszet: ( $y, z, y_n$ ) a maró axoidhengerének sugara: ( $r_s$ ) bedöntési szögének szinusza, koszinusza: ( $s_y s, c_y s$ ) alapeltérés: ( $w$ ) homloklfelület osztóhengerének sugara: ( $r_0$ ) homloklfelület osztóhengeri ferdeségi szögének,  $\gamma_0$ -nak szinusza, koszinusza: ( $s_y 0, c_y 0$ ) homloklfelületi alkotó ferdeségi szögének,  $\delta$ -nak tangense: ( $t\delta$ ) tengelytávolsága: ( $k$ ) állandó szakaszának vetülete: ( $l_0$ ) szöge: ( $\eta$ ); **value**  $y, z, y_n, w$ ; **real**  $\chi 1, \chi 2, r, s 1, s 2, y, z, y_n, r_s, s_y s, c_y s, w, r_0, s_y 0, c_y 0, t\delta, k, l_0, \eta$ ;

**begin** **real**  $X, Y, Z, \zeta, \vartheta, \varphi, l$ ;

$X := (w + y) \times y_n \times s_y s$ ;  $Y := y + w + r s$ ;

$\varphi := \arctan(X/Y) \times s_y 0$ ;

$Z := (z - s_y s \uparrow 2 \times (w + y) \times y_n) / c_y s \times c_y 0$ ;

$r := X \uparrow 2 + Y \uparrow 2$ ;  $l := \text{sqrt}(r - k \uparrow 2)$ ;

$\zeta := (\arctan(k/l) - \eta) \times c_y 0$ ;  $l := (l - l_0) \times t\delta \times s_y 0$ ;

$X := c_y 0 \times (c - l/r_0)$ ;  $Y := s_y 0 \times (Z/l_0 + \varphi)$ ;

$\chi 1 := X + Y$ ;  $\chi 2 := X - Y$ ;

$X := s_y 0 \times (l - r_0 \times \zeta)$ ;  $Y := c_y 0 \times (Z + r_0 \times \varphi)$ ;

$s 1 = X + Y$ ;  $s 2 := X - Y$ ;

**end** él;

<sup>13</sup> Az eljárás aszimmetrikus profilokra is alkalmazható, de ekkor csak a  $\chi 1, r, s 1$  értékek veendőek figyelembe.

6. A hengeres lefejtőmarók hátraesztergálása

A hátraesztergálással készült hátfelülettől megkívánjuk, hogy a tervezési forgácsolóélre illeszkedjék.<sup>14</sup> Modellünkben ún. arkhimédészi hátraesztergálást, annak ferde, tehát általános változatát alkalmazzuk. Modellünkben a hátraesztergáló kés homlokfelülete általános helyzetű sík. Ily módon a késkiemelés lehetőségét is figyelembe vesszük.

Az alábbiakban a hátraesztergáló kés forgácsolóélének számításával foglalkozunk (8. ábra). Az állvány  $\Sigma_0$  rendszerében a hátraesztergálandó lefejtőmaró  $\Sigma_s$  rendszere tengelye körül  $\vec{\omega}_{s0}$  szögsebességű egyenletes forgómozgást, a hátraesztergáló kés  $\Sigma_h$  rendszere pedig  $\Sigma_0$ -ban egyidejűleg  $\vec{v}$  sebességű egyenletes haladómozgást végez. E haladó mozgásnak az  $f_{s0}$  tengelyre merőleges összetevője  $\vec{v}_r = c\vec{\omega}_{s0}$ , tengelyirányú összetevője pedig  $\vec{v}_a = -p\vec{\omega}_{s0}$ .<sup>15</sup> Ezek alapján a  $\Sigma_s$  és  $\Sigma_h$  rendszerek relatív mozgását jellemezhetjük az  $f_{s0}$  tengelyű  $c$  sugarú  $\alpha_{sh}$  forgáshengerből és a vele  $\vec{v}_a$  sebességgel csúszva gördülő  $\alpha_{hs}$  párhuzamos sugársorból álló axoidpárral.

Kiindulásul helyezzük el a  $\Sigma_0$   $x, y, z$  koordinátarendszerével fedésben a  $\Sigma_s$ -nek az előző pontban már szereplő  $X, Y, Z$  és  $\chi, r, s$  valamint a  $\Sigma_h$ -nak  $x_h, y_h, z_h$  koordinátarendszereit. Adjuk meg a homloksík tetszőleges  $E$  pontjának  $e_1, e_2, e_3$  koordinátáit, továbbá fővonal irányú  $\vec{h}_p$  és  $\vec{h}_f$  egységvektorait. Válasszuk ki a maró élének  $S(\chi, r, s)$  pontját, s forgassuk el a  $\Sigma_s$  rendszert  $f_{s0}$  körül  $\varphi$  szöggel, ugyanakkor végezzén  $\Sigma_h$  arányos eltolást. A  $\varphi$  szöggel elforgatott  $S$  pont koordinátái a  $\Sigma_0$  rendszerben:

$$x_{S\varphi} = r \sin(\chi - \varphi), y_{S\varphi} = r \cos(\chi - \varphi), z = s.$$

Ugyanakkor a  $\Sigma_h$  rendszerben eltolt  $E$  koordinátái a  $\Sigma_0$ -ban:

$$x_{E\varphi} = e_1, y_{E\varphi} = e_2 - c\varphi, z_E = e_3 - p\varphi.$$

$S$  távolsága a hátraesztergáló kés homloksíkjától a  $\varphi$  függvényeként

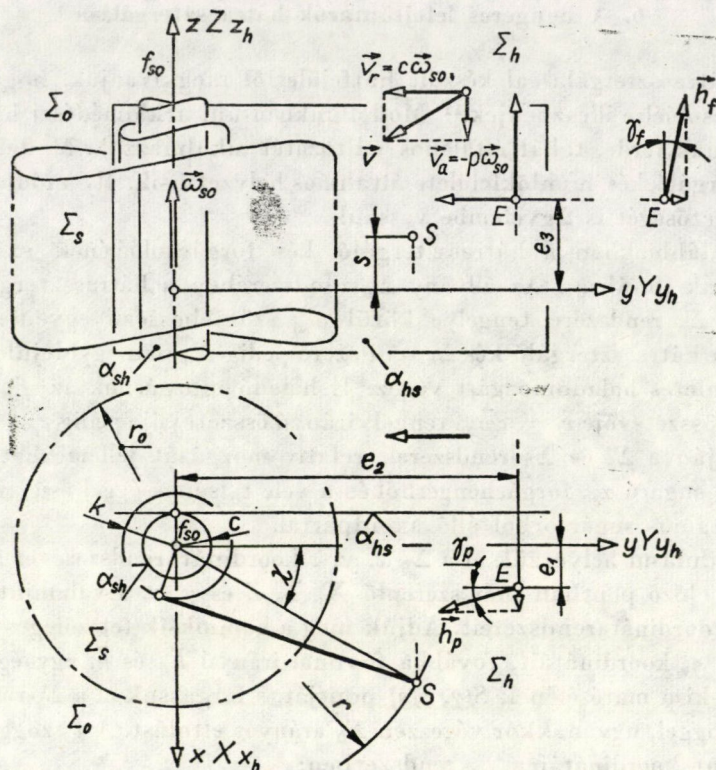
$$d(\varphi) = \frac{(\vec{E}\vec{S}\vec{h}_p\vec{h}_f)}{|\vec{h}_p \times \vec{h}_f|}$$

(kizárva a praktikus szempontból érdektelen  $|\vec{h}_p \times \vec{h}_f| = 0$  esetet). A távolság annál a  $\varphi_0$  értéknél lesz 0, ahol a számláló:

$$\text{dis}(\varphi) = (\vec{E}\vec{S}\vec{h}_p\vec{h}_f) = \begin{vmatrix} r \sin(\chi - \varphi) - e_1 & r \cos(\chi - \varphi) - e_2 + c\varphi & s - e_3 + p\varphi \\ \sin \gamma_p & -\cos \gamma_p & 0 \\ \sin \gamma_f & 0 & \cos \gamma_f \end{vmatrix}.$$

<sup>14</sup> Előírhatnánk több elméleti él valamilyen közelítését is.

<sup>15</sup> A  $p$  itt a szerszámfelület csavarparamétere, de az eljárás tetszőleges  $p$  és  $c$  mellett, tehát a lefejtőmarótól különböző esetekben is alkalmazható. Például  $c = 0$  mellett  $p$  paraméterű, adott vezérgörbéjű csavarfelületet esztergáló kés élgörbéjét számíthatjuk.



8. ábra. A lefejtőmarót hátraesztergáló kés forgácsolólélének meghatározása sík homloklap és késkiemelés esetén

A  $\varphi_0$  számítására a  $\text{dis}(\varphi)$  függvényre a felezési eljárást alkalmaztuk. Az induló  $\varphi_1, \varphi_2$  kezdőértékek megadásával az esetleg végtelen sok zérushely közül a megfelelő választhatjuk ki.

A  $\varphi_0$  ismeretében a kés homloksíkjára illeszkedő  $S$  pont koordinátái  $\Sigma_0$ -ban:

$$x = r \sin(\chi - \varphi_0), \quad y = r \cos(\chi - \varphi_0), \quad z = s.$$

$S$  ez egyúttal a hátraesztergáló kés egy  $H$  élpontja  $\Sigma_h$ -ban:

$$x_H = r \sin(\chi - \varphi_0), \quad y_H = r \cos(\chi - \varphi_0) + c\varphi_0, \quad z_H = s + p\varphi_0.$$

Eljárásunkat kellőképpen sok pontra alkalmazva ( $\varphi_0$  értéke pontonként más és más lesz) a kapott pontsor a hátraesztergáló kés élét adja a hátfelület síkmetszeteként. Eljárásunkat az alábbiak realizálják:

```

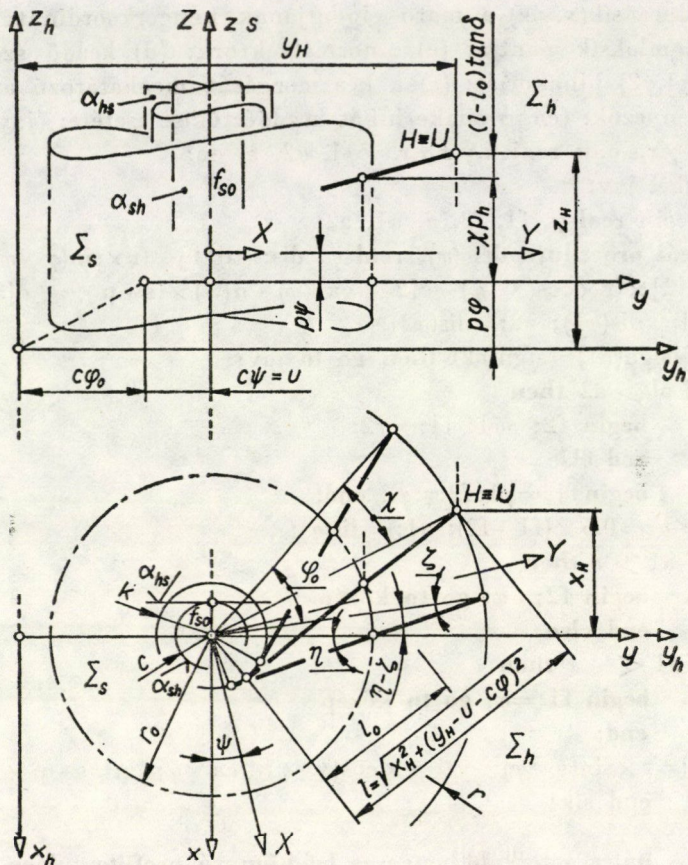
procedure sík(x,y,z) a maró élpontjának hengerkoordinátái: ( $\chi, r, s$ ) a
  homloksík pontja: (e) normálvektora: (d) kezdő szögértékek:
  ( $\varphi_1, \varphi_2$ ) hibakorlát: ( $\varepsilon$ ) a kés mozgását meghatározó arányossági
  tényezők: (ca,p) címke hibás kezdőértékek esetére: (jav);
value  $\chi, r, s, e, d$ ; real  $x, y, z, \chi, r, s, \varphi_1, \varphi_2, \varepsilon, ca$ ;
array e,d; label jav;
  begin real  $\varphi, f_1, f_2, a, a_1, a_2$ ;
  real procedure dis ( $\varphi$ ); real  $\varphi$ ; dis:=d[1]×(r×sin( $\chi-\varphi$ )-e[1])+
  d[2]×(r×cos( $\chi-\varphi$ )-e[2]+ca× $\varphi$ )+d[3]×(s+p× $\varphi$ -e[3]);
  a1:=dis( $\varphi_1$ ); a2:=dis( $\varphi_2$ );
  if sign(a1)=sign(a2) then go to jav;
  if a1 > a2 then
    begin f2:= $\varphi_1$ ; f1:= $\varphi_2$ ;
    end else
    begin f1:= $\varphi_1$ ; f2:= $\varphi_2$  end;
  közép:  $\varphi := 0.5 \times (f_1 + f_2)$ ; a1:=dis( $\varphi$ );
  if a1 >  $\varepsilon$  then
    begin f2:= $\varphi$ ; go to közép
    end else
  if a1 <  $-\varepsilon$  then
    begin f1:= $\varphi$ ; go to közép
    end;
  x:=r×sin( $\chi-\varphi$ ); y:=r×cos( $\chi-\varphi$ )+ca× $\varphi$ ; z:=s+p× $\varphi$ ;
  end sík;

```

### 7. A hátraesztergált hengeres lefejtómaró profiltorzulása utánélezéskor

A hátraesztergáló kés és a hátraesztergáló mozgás meghatározza a hátfelületet. Az utánélezés során keletkező él a hátfelületnek és a köszörült új homlokfelületnek a metszévonalá. Az utánélezésnél köszörült új homlokfelület a tervezési homlokfelülethez  $\alpha$  szöggel való elforgatással, vagy  $\psi = \alpha \cos^2 \gamma_0$  elcsavarással származtatható. Az így köszörült élhez  $u = c\psi$  utánállítási érték tartozik. Ezek alapján helyezzük el kiindulásként a 6. pontban szereplő  $\Sigma_s$  térrendszert  $\psi$  szöggel elcsavarva, a  $\Sigma_h$  rendszert pedig  $u = c\psi$  értékkel az  $f_{s0}$  tengelyre merőlegesen eltolva (9. ábra). Ezzel biztosítottuk, hogy az utánélezési homlokfelület az „él” eljárásnak megfelelően helyezkedjen el, tehát az azzal számított elméleti él és a most számítandó köszörült él azonos homlokfelületen, az  $X, Y, Z$ -nek megfelelő  $x, y, z$  koordinátarendszerben helyezkedjen el. A továbbiakban a két rendszer mozgását a 6. pontnak megfelelően tekintjük.

Válasszuk tehát ki a hátraesztergáló kés tetszőleges  $H$  élpontját és forgassuk el a maró  $\Sigma_s$  rendszerét egy olyan  $\varphi_0$  szöggel, hogy az ugyanakkor ará-



9. ábra. A lefejtőmarók profiltorzulásának vizsgálata utánélezéskor

nyosan eltolt  $H$  pont illeszkedjen az utánélezési homlokfelületre. Ekkor egyrészt

$$\chi = \eta - \arctan \frac{k}{\sqrt{x_H^2 + (y_H - u - c\varphi_0)^2}} + \varphi_0 + \arctan \frac{x_H}{y_H - u - c\varphi_0},$$

másrészt

$$z_H = p\varphi_0 + \chi p_h + (l - l_0) \tan \delta$$

teljesül. Fentiekből  $\varphi$ -re a

$$\varphi = \frac{1}{p - p_h} \left[ z_H - (\sqrt{x_H^2 + (y_H - u - \varphi c)^2} - l_0) \tan \delta + p_h \left( \eta + \arctan \frac{x_H}{y_H - u - \varphi c} - \arctan \frac{k}{\sqrt{x_H^2 + (y_H - u - \varphi c)^2 - k^2}} \right) \right]$$

iterációs képletet nyerjük.

Az iteráció konvergenciájának elégséges feltétele, hogy a jobboldal deriváltjának abszolút értéke 1-nél kisebb, azaz most

$$\left| \frac{c(y_H - u - \varphi c) \tan \delta}{(p - p_h) \sqrt{x_H^2 + (y_H - u - \varphi c)^2 - k^2}} + \frac{cp_n \left( x - k \frac{y_H - u - \varphi c}{\sqrt{x_H^2 + (y_H - u - \varphi c)^2 - k^2}} \right)}{(p - p_h)[y_H - u - c\varphi]^2 + x_H^2} \right| < 1.$$

Esetünkben  $x, k, c \ll y$  és  $\delta \approx 0$ , amiből

$$\frac{y_H - u - c\varphi}{\sqrt{x^2 + (y_H - u - c\varphi)^2 - k^2}} \approx 1$$

következik. Az első tagot elhanyagolva a kifejezés értékét az

$$\left| \frac{p_h c(x_H - k)}{(p - p_h)[(y - u - c\varphi)^2 + x^2]} \right| < 1$$

szerint becsülhetjük, mivel mindkét tényező abszolút értéke kisebb mint 1 (az elsőben  $pp_h = -r_0^2$ ). Tehát az iteráció konvergens.

A  $\varphi_0$  meghatározása után a köszörült  $U$  élpont  $\chi, r, s$  hengerkoordinátái kiszámíthatók.

A fentieket realizáló eljárás:

```

procedure köszörült él ( $\chi k, rk, sk$ ) a hátraesztergáló kés élpontja ( $x, y, z$ )
    utánállítási érték: ( $u$ ) a kés mozgását meghatározó arányossági
    tényezők: ( $ca, p$ ) a homlokl felület adatai: ( $ph, k, t\delta, l0, \eta$ ) kezdőérték
    megválasztási módja: ( $kezd$ ) hibakorlát: ( $\epsilon$ );
real  $\chi k, rk, sk, x, y, z, u, ca, p, ph, k, t\delta, l0, \eta, \epsilon$ ; Boolean  $kezd$ ;
begin real  $yc, \varphi, l$ ; own real  $\varphi e$ ;
if  $kezd$  then  $\varphi e := 0$ ;  $yc := y - u - \varphi e \times ca$ ;
 $l := \text{sqrt}(x \uparrow 2 + yc \uparrow 2 - k \uparrow 2)$ ;
for  $\varphi := (z - (l - l0) \times t\delta + ph \times (\eta + \arctan(x/yc) - \arctan(k/l))) / (p - ph)$ 
    while  $\text{abs}(\varphi - \varphi e) > \epsilon$  do begin  $\varphi e := \varphi$ ;  $yc := y - u - \varphi e \times ca$ ;
     $l := \text{sqrt}(x \uparrow 2 + y \uparrow 2 - k \uparrow 2)$ ;
    end  $\varphi$ ;
 $\chi k := \arctan(x/yc)$ ;  $rk := \text{sqrt}(x \uparrow 2 \times yc \uparrow 2)$ ;  $sk := z - p \times \varphi e$ ;
end köszörült él;
    
```

Az  $u$  utánállítási értékhez az „él” eljárással kiszámíthatunk egy elméleti élt is, és összehasonlíthatjuk a „köszörült él”-lel. Az összehasonlítás során a köszörült él pontjainak az elméleti éltől vett távolságát számítjuk ki.

Közelítsük meg az elméleti élt a köszörült pont környezetében egy interpoláló görbével és számítsuk ki a köszörült pontnak ettől mért távolságát! Mivel az evolvens-fogazathoz készült lefejtőmaró éle csak kevéssé tér el az egyenestől, itt lineáris interpolációt alkalmazunk.

Az elméleti él számított pontjai közül kiválasztjuk a köszörült ponthoz legközelebb eső kettőt, és az ezeken átfektetett egyenestől számítjuk a köszörült pont távolságát. A távolság mérőszámát negatív előjellel látjuk el, ha a köszörült pont az elméleti élen belül van:

```

real procedure eltérés (x,y,z) elméleti él: (xe,ye,ze)
  indexhatárok: (j1,j2); value x,y,z; real x,y,z; array xe,ye,ze;
  integer j1, j2;
  begin real d,d1,d2,x1,x2,y1,y2,z1,z2; integer i,i1,i2; d1:=
  d2:=105;
  for i:=j1 step 1 until j2 do
    begin d:=sqrt((xe[i]-x)2+(ye[i]-y)2+
    (ze[i]-z)2);
    if d<d1 then
      begin d2:=d1; i2:=i1; d1:=d; i1:=i; end
    else if d<d2 then
      begin d2:=d; i2:=i
      end
    end i;
    x1:=x-xe[i1]; x2:=xe[i2]-xe[i1];
    y1:=y-ye[i1]; y2:=ye[i2]-ye[i1];
    z1:=z-ze[i1]; z2:=ze[i2]-ze[i1];
  eltérés:=if abs(ze[i1]+z2×y1/y2)>abs(z) then -1 else 1)×sqrt(((y1×
  z2-z1×y2)2×(z1×x2-x1×z2)2+(x1×y2-y1×x2)2)/
  (x22+y22+z22))
  end eltérés;

```

Az eljáráshoz szükséges derékszögű koordinátákat az egyes pontok  $\chi$ ,  $r$ ,  $s$  hengerkoordinátáiból az  $x = r \sin \chi$ ,  $y = r \cos \chi$ ,  $z = s$  transzformációs képletekkel kapjuk.

#### IRODALOM

1. ALEKSZEEV, G. A. - ARSINOV, V. A. - SZMOLNIKOV, E. A.: Forgácsolószerszámok szerkesztése és számítása. Nehézipari Kiadó, Budapest 1954
2. BAKONDI Károly: Hátraesztergált marók és fogazószerszámok tervezése. Tankönyvkiadó, Budapest 1971
3. BALI János: Fogaskerék lefejtőmarók élezésének geometriai problémái. *Gép*, **20** (1968), 502-508
4. BALI János: Fogaskerék lefejtőmarók pontosságának változása a felhasználás folyamán. *Gépgyártástechnológia*, **10** (1970), 307-312



5. BALI János: Lefejtőmarók homlokl felületének profilhelyesbítése. Forgácsolószerszámok Konferencia, NME Miskolc 1968
6. BALI János: Pozitív homlokszögű fogaskerék lefejtőmarók profiljának számítása és mérése. *Gép*, 22 (1970), 46—50
7. CVISZ, JU. V.: Profilirovanie rezsuscsego insztrumenta. Moszkva 1961, Masgiz
8. DRAHOS István: A forgácsoló szerszámok gyártásgeometriájának alapjai. A BME Továbbképző Intézetének kiadványa. Ng. 35. Tankönyvkiadó, Budapest 1974
9. DRAHOS István: A szerszámgeometria mozgásgeometriai alapjai. A BME Továbbképző Intézetének kiadványa. Ng. 34., Tankönyvkiadó, Budapest 1972
10. LJUKSIN, V. SZ.: Teorija vintovüh poverhnosztej v proektirovanii rezsuscseh insztrumentov. Izd. Masinosztroenie, Moszkva 1968
11. SASI NAGY István: A bordástengely lefejtőmaró kialakítása és profiljának számítási módja. *Gép*, 20 (1968), 497—501
12. SZENICZEI Lajos: Fogaskerék lefejtő marók geometriája. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest 1955

**The Geometrical Model for the Production of Cylindrical Hobs and a Method for its Calculation.** The models of the cylindrical hobs as thought and practically used simplify the real geometry of these tools more or less and do not even include all problems possible in formulating in connection with them. Anyhow, the more exact a model for the manufacture is, the more calculation work is required. But the exact geometrical model and its computerized examination — in such complicated cases as hobs are — mutually condition each other. The aim of the authors is the creation of the exact model for the manufacture of the cylindrical hobs and also the elaboration of a calculation method which the tool designer may include as required in the complex program for the design of the tool.

**Das fertigungsgeometrische Modell der zylindrischen Abwälzfräser und seine Berechnungsverfahren.** Die im Unterricht gelehrt und in der Praxis verwendeten Modelle der zylindrischen Abwälzfräser vereinfachen mehr oder weniger die wirkliche Geometrie dieser Werkzeuge und beinhalten nicht die Gesamtheit der im Zusammenhang mit diesen Werkzeugen definierbaren geometrischen Probleme. Wahr ist allerdings, daß je exakter ein fertigungsgeometrisches Modell ist, es umso mehr Ansprüche an die Berechnung stellt. Das exakte fertigungsgeometrische Modell und dessen Untersuchung mit Hilfe eines Elektronenrechners — in so komplizierten Fällen wie es ein Abwälzfräser darstellt — bedingen einander gegenseitig. Zielsetzung der Verfasser war die Schaffung des exakten Modells der zylindrischen Abwälzfräser und zugleich die Ausarbeitung eines Berechnungsverfahrens, das der Werkzeugkonstrukteur in das komplexe Programm der Projektierung des Werkzeugs den Ansprüchen gemäß einbauen kann.

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója — Műszaki szerkesztő: Agócs András  
A kézirat nyomdába érkezett: 1975. V. 15. — Terjedelem: 24,5 (A/5) ív

---

75.1894 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György





# MŰSZAKI TUDOMÁNY

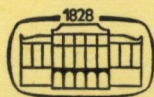
---

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYANAK KÖZLEMENYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ



50. KÖTET  
3-4. SZÁM



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1975

MŰSZ. TUD.

# MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

BARTA ISTVÁN, BÖLCSKEI ELEMÉR, GESZTI P. OTTÓ,  
HELLER LÁSZLÓ

SZERKESZTŐSÉG: 1383 BUDAPEST, MÜNNICH FERENC UTCA 7.  
KIADÓHIVATAL: 1363 BUDAPEST, ALKOTMÁNY UTCA 21.

A *Műszaki Tudomány* változó terjedelmű füzetekben jelenik meg. Négy füzet alkot egy kötetet.

A kéziratok a következő címre küldendők:

Magyar Tudományos Akadémia  
Műszaki Tudomány  
1383 Budapest, Münnich Ferenc utca 7.

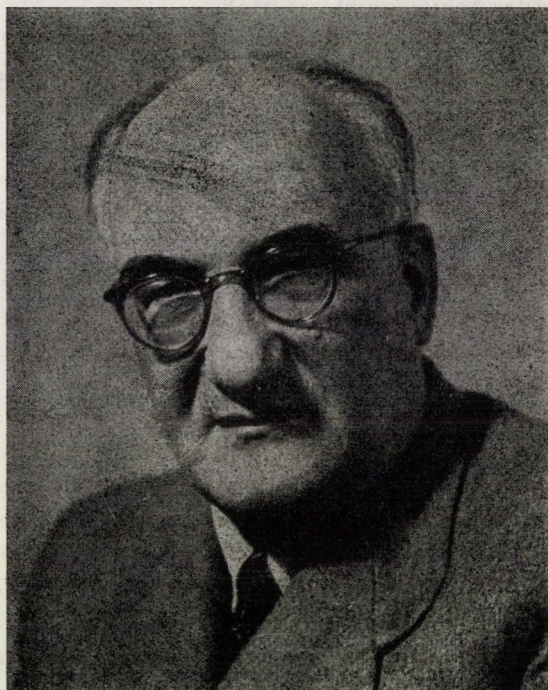
Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

A közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttatja a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért vagy továbbításáért nem vállal.

A *Műszaki Tudomány* előfizetési ára kötetenként 60 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó 1363 (Budapest, Alkotmány utca 21. Pénzforgalmi jelzőszám 215—11488). külföldi megrendelések a „Kultúra” Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat 1389 (Budapest, Fő utca 32. Pénzforgalmi jelzőszám: 218—10990) útján eszközölhetők.

## BENEDIKT OTTÓ

1897—1975



A halál mindig kegyetlen, ijesztő és érthetetlen, de különösen akkor, ha egy közszeretben álló, nagy egyéniségtől kell végleg elbúcsúzni, aki rendkívüli aktivitásáról, nagy munkabírásáról, szellemes gondolatairól és meleg szívéről volt nevezetes. BENEDIKT Ottó generációkat oktatott, szakmai iskolákat alapított a villamosgépek és az automatika területén.

Budapesten született 1897. május 18-án. A Műszaki Egyetemet Bécsben végezte, de már akkor olyan körülmények között, hogy nappal dolgozott, mert ellátásáról saját magának kellett gondoskodnia. E nehéz körülmények ellenére 1930-ban a Bécsi Műszaki Egyetemen ledoktorált, majd 1932 decemberében a Szovjetunió kormányának meghívására, egy találmányának kidolgozására a Szovjetunióba utazott.

1932—1939-ig Moszkva egyik legnagyobb gyárában mint tudományos tanácsadó dolgozott, különböző, a villamosgépek területére eső találmányai kidolgozásán.

Munkája alapján 1938-ban elnyerte a műszaki tudományok doktora címet. 1939-ben a Moszkvai Közlekedési Műszaki Egyetem, a MIIT tanszékvezető professzora volt 1955-ig, Magyarországra való visszatéréséig. Magyarországon 1955 végén nevezték ki a BME tanszékvezető tanárává, majd 1956-ban a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja lett, 1958-ban pedig az MTA rendes tagjává választották.

BENEDIKT Ottó 1957-ben Kossuth Díjat kapott, 1967-ben a BME tiszteletbeli doktora lett, 1968-ban az MTA Aranydíját kapta meg, 1971-ben a Moszkvai Energetikai Intézet tiszteletbeli doktori címmel tüntette ki.

1966-ban megalapította az MTA Automatizálási Kutató Intézetét, amelynek igazgatójává nevezték ki. Innen vonult 1970-ben nyugalomba. Ebben az Intézetben 1975. november 25-ig, haláláig, mint tudományos tanácsadó működött.

Tudományos munkáinak hosszú sorából itt csak néhány fontosabb emelhető ki: Munkásságának egyik nevezetes területét a vasúti vontatásban alkalmazott új villamos gépek képezték. E téren elért legfontosabb eredményei a következők:

„Az 50 periódusú, automatikusan kompenzált kommutátor motor”-nak elnevezett találmánya, amely a szakkönyvekben mint *Benedikt-motor* ismeretes. E találmány szerzőjeként hívta őt meg a szovjet kormány Moszkvába, ahol találmánya az állam különös fontosságú találmányainak jegyzékébe és a Szovjet Tudományos Akadémia „Komplex Közlekedési Problémák”-ra vonatkozó perspektivikus tervébe kerül. BENEDIKT Ottó 5 éven át a fentemlített gyárban vezette e motor realizálásának munkáit.

1948-ban a MIIT által kiadott „A vontatás területén használandó villamos berendezések” c. könyvben leírta a fázisváltó mozdonyokra vonatkozó munkájának eredményeit képező, a fázisváltókban lezajló folyamatok vektorábrázolásának új módszerét, valamint a vasúti hálózatban e gép által előidézett aszimmetria megszüntetésének általa javasolt módját.

Mint a MIIT tanszékvezetője kifejlesztette a Diesel-mozdonyok újfajta villamos berendezését, amelyben egy automatikusan szabályozott frekvenciával gerjesztett kommutátoros generátor rövidrezárt aszinkron vontató motorokat táplál. E munka eredményét egy 1958-ban, munkatársaival együtt írt és a MIIT által kiadott könyvben ismertette. Budapestre való hazatérése után BENEDIKT Ottó feltalálta az „Egyszerre két frekvencia által táplált kommutátoros motor”-t, amely világszabadalmat kapott és amelyet az *Acta Technica* 26. kötete 3–4. számában részletesen ismertetett.

A következő terület, amelyen BENEDIKT Ottó dolgozott, az erősen telítődött, bonyolult mágneses körök számításának problémaköre.

E területen BENEDIKT Ottó teljesen új, eredeti utakon járva, fontos eredményeket ért el. Már legelső, kezdő munkáit is oly magasra értékelte a Moszkvai Energetikai Intézet, hogy ezek megvédése alapján 1937-ben



megadta részére a műszaki doktori fokozatot. E munkáiból kiindulva később kifejlesztette a nomografikus módszerek egész rendszerét, amely azon a felismerésen alapszik, hogy lehetséges a mágneses térerőn és a mágneses indukción kívül a legbonyolultabb geometriai konfigurációt is mint egy teljesen külön, harmadik paramétert kezelni, és így e három paraméter alapján egy görbesereghől bármelyik kettőhöz a harmadikat megtalálni. Így sikerült szerzőnek a mágneses körök olyan problémáit is egyszerűen és gyorsan megoldani, amelyet addig a villamosgépek olyan kiváló tudósai, mint DREYFUSS és OLLENDORF megoldhatatlannak tartottak. E nomografikus rendszert BENEDIKT Ottó egy könyvében részletesen ismertette, amely a magyaron kívül, orosz, német és angol nyelven jelent meg, és a szakkörökben nagy visszhangra talált.

Különös jelentőséget lehet tulajdonítani BENEDIKT Ottó nomografikus módszerének, miután az utóbbi időben kidolgozta e módszer elektronikus számítógépen való egyszerű alkalmazásának lehetőségét. Erre vonatkozó eredményeit az *Acta Technica*ban közölte.

A következő ahol BENEDIKT Ottó kiemelkedőt alkotott az automatika területe.

BENEDIKT Ottónak itt az erősítő gépek területén sikerült fontos, új eredményeket elérni. Egy, általa „Autodin”-nek nevezett olyan újfajta erősítő gépet talált fel, amely az összes addigiakkal ellentétben nem igényel hajtómotort. Kidolgozta a gép egész — mind stacionárius, mind a tranziens viszonyokta vonatkozó — igen bonyolult elméletét és azt egy német, angol és orosz nyelven is megjelent könyvben részletesen ismertette. Sikerült neki elérnie azt, hogy az Autodin-t a Szovjetunió vasutain alkalmazzák, e célból történő gyártása ott ma is folyik.

Budapestre való visszatérése után BENEDIKT Ottó, mint a Magyar Tudományos Akadémia Automatizálási Csoportjának és később Laboratóriumának vezetője megvalósított egy hajtási célokat szolgáló, a Ward—Leonard-kapcsolást helyettesítő Autodint.

Az Autodinnak nemzetközi szakkörökben való visszhangjára jellemző, hogy a nyugatnémet Elektrotechnikai Egyesület évfordulójának ünnepén SEQUENZ professzor „80 éve villamosgépek” című, a bécsi „Elektrotechnik und Maschinenbau” 1960 áprilisában közölt ünnepi előadásában a Magyarországon történt villamosgépek alkotása terén BLÁTHY, DÉRI és ZIPERNOWSKY által feltalált transzformátoron kívül csak BENEDIKT Ottó budapesti professzor Autodinjét említi meg.

Működésének talán a koronája, néhány hónappal halála előtt megjelent, 65 íves, „Die Theorie der Gleichstrommaschine bei Berücksichtigung neuer Methoden und Gesichtspunkte” c. könyve.

BENEDIKT Ottó élete szorosán egybeforrott a nemzetközi munkásmozgalommal.

A Magyar Kommunista Párt egyik alapító tagja, majd az 1930-as években az Osztrák Kommunista Párt egyik vezetője volt, Haláláig aktív munkát végzett a Magyar Szocialista Munkáspártban.

BENEDIKT Ottó munkásságát és kiemelkedő tudományos tevékenységét, művei ércnél maradandóbban megőrzik. Személyes emlékét pedig sok-sok barátja, tanítványa és tisztelője őrzi szeretettel és hálával.

*Dr. Geszti P. Ottó*

## DÉKÁNY SÁNDOR

1904—1974

DÉKÁNY Sándort, a műszaki tudományok doktorát, volt műegyetemi tanárt, az MTA Műszerügyi Szolgálatának munkatársát a műszaki optika, a filmtechnika és a geodézia egyaránt magáénak vallotta, szeretetreméltó, közvetlen egyéniségének eltávozása a kartársak, a barátok és a tanítványok széles körében igaz részvétet váltott ki.

Dékány Sándor Hódmezővásárhelyen született. Középiskoláinak elvégzése után katonai akadémián tüzérszakon folytatta tanulmányait, majd 1932-ben a Budapesti Műegyetemen gépészmérnöki oklevelet szerzett. Szaképzettségének megfelelően 1941-ig a Haditechnikai Intézetben, 1944-ig az Iparügyi Minisztériumban dolgozott. Rövid tényleges katonai szolgálat és hadifogság után 1948-tól ismét a Haditechnikai Intézetben találjuk, ahol a szovjet műszerek hazai gyártásának bevezetésével és új műszerek tervezésével kapcsolatos kérdések tartoztak munkaköréhez. A mérnökképzésbe a Budapesti Műegyetem Hadmérnöki Karának megszervezésekor 1950-ben kapcsolódott be. Neki köszönhető az első egyetemi optikai-finommechanikai műszertanszék megszervezése. 1951-től ennek vezetője volt, 1954-től egyetemi tanári minőségben. A katonai korhatár elérése miatt 1957-ben saját kérelmére mint mérnökeztet nyugdíjazták. Ugyanekkor megszűnt a Hadmérnöki Kar, de tanszékvezetői megbízatását most már mint polgári státusú egyetemi tanár továbbra is megtartotta. 1956 után megvált tanszékétől, s mint az optikai és finommechanikai műszerek hivatásos szakértője, majd az OMFB szerződéses tudományos tanácsadója, végül pedig mint az MTA Műszerügyi Szolgálat Kutatófilm Osztályának vezetője dolgozott és művelte tovább kedves szakterületét. Ezt a tevékenységet 1968 óta mint nyugállományú munkatárs folytatta.

DÉKÁNY Sándor szakmai-tudományos működésének első szakasza, a Haditechnikai Intézetben töltött évek kutatásai nem tartoznak a nyilvánosság elé. Itteni munkájának értékelését legfeljebb a műszertechnikai szakmai kiküldetései jelzik, amelyek során végiglátogatta a leghíresebb optikai-finommechanikai műszergyárat, mint a Zeiss, Goerz, Galileo, Skoda stb. műveket. Első irodalmi megnyilatkozásai a geodéziához fűzték, és a távcsövek fény-

erejével, teljesítőképességével foglalkoztak, mint doktori értekezése is, amellyel 1956-ban elnyerte a műszaki tudományok doktori fokozatát.

Érdeklődési körének másik nagy területe a térhatású, majd a nagysebességű ugyancsak térhatású röntgenfilmezés és -vetítés volt. E témakörben több szabadalom tulajdonosa vagy társtulajdonosa. Szellemes berendezést dolgozott ki a térhatású felvételek készítésére egyetlen felvevő kamera segítségével, foglalkozott a színlátási elmélet fiziológiai és pszichológiai kérdésével és gyorsan változó jelenségek fényképen való rögzítésének technikájával. Mint oktató több egyetemi jegyzetet és mint szerző vagy társszerző több filmezéssel és fényképezéssel foglalkozó könyvet írt.

Az oktatói, kutatói és szakírói tevékenység mellett folyamatosan részt vett a szakmai társadalmi egyesületek és szervezetek munkájában is. Alelnöke, majd elnöke volt az Optikai, Akusztikai és Filmtechnikai Egyesületnek, tagja volt a Méréstechnikai és Automatizálási Tudományos Egyesület tudományos tanácsának, a Műszer és Automatika szerkesztőségi tanácsának és az IMEKO magyarországi titkársága optikai szekciójának.

Bizonyos, hogy DÉKÁNY Sándor személyében a műszaki optika igen tevékeny, széles érdeklődési körű és eredményes művelőjét veszttette el a magyar tudomány.

*Homoródi Lajos*

# KATOR LAJOS

1932—1974

Kevés embernek jutott olyan sors, mint Dr. KATOR Lajosnak, aki szorgalmas tudományos és oktatómunkája nyomán fiatalon kapta meg az egyetemi tanári kinevezést, azonban, mielőtt új tisztségében tovább folytathatta volna eredményes kutató- és oktatómunkáját, hosszú, súlyos betegség után elhunyt.

1956-ban kezdte meg munkáját a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékén először mint tanársegéd, majd adjunktusi beosztásban. Eközben három évig rendes aspiránsként dolgozott. Aspiránsi tanulmányait és kutatómunkáját is példaadó szorgalommal végezte el, és így a kandidátusi fokozatát 1963-ban az előírt három éven belül megszerezte. Kandidátusi dolgozata szervesen kapcsolódott a Mechanikai Technológiai Tanszék kutatómunkájához. Dolgozatában kimutatta, hogy a fémek fajlagos törési munkája tisztafémek esetében tág határok között független a krisztallitszemcsék méretétől.

A fokozat megszerzése után is számos cikke jelent meg belföldön is magyar, angol és orosz nyelven, több publikációját pedig a Szovjetunióban közölték. Ezekben a dolgozatokban hőkezelési, valamint ridegtörési problémákkal foglalkozott.

Kutatómunkája során sikerrel alkalmazta a korszerű szilárdtestfizikai eredményeket a fémek technológiai folyamataira, valamint a fémek mechanikai tulajdonságainak vizsgálatára. A tudományok doktora fokozatát is ebből a tárgykörből szerezte meg. Képlékeny fémek törésének és a törés előzményeinek energetikai vizsgálata című doktori dolgozatában a húzó- és nyomókísérlet során a képlékeny alakváltozás következtében beálló belső energetikai változást vizsgálta. Ennek az igen nehéz területnek a kísérleti vizsgálatára NYULÁSZ Pállal együtt új mérési módszert fejlesztett ki.

A viszonylag rövid, de igen aktív és eredményes tudományos kutató munkássága során mindig sikerrel kapcsolta össze az alaptudományi eredményeket a műszaki gyakorlattal.

Kandidátusi fokozatának megszerzése után megkapta a docensi kinevezést is. Ettől kezdve mind az esti, mind a nappali oktatásban számos

tárgyat tanított; éveken keresztül adta elő a „Fémek technológiája” című tantárgyat. Az egyetemi reform során az akkori tanszéki munkatársakkal, Dr. ROMVÁRI Pállal és Dr. ARTINGER Istvánnal együtt megírta a „Fémek technológiája” című tárgy új jegyzetét (1965). Ez a jegyzet többszöri átdolgozás után Dr. GILLEMOT László szerkesztésében mint mérnöki kézikönyv is megjelent és sikerét mi sem bizonyítja jobban, mint hogy megjelenése után kiadói nívódíjban részesült és jelenleg már a harmadik kiadása van sajtó alatt.

Dr. KATOR Lajos docenssé való kinevezése után évekig működött mint a Tanszék oktatási felelőse és jelentős érdemei vannak a Mechanikai Technológiai Tanszéken folyó gyakorlati oktatás megszervezésében.

Jelentékeny oktatási és tudományos tevékenysége mellett mindig talált időt arra, hogy a társadalmi munkából is kivegye részét. Így éveken keresztül fejtett ki működést mint a Gépészmérnöki Kar Pártszervezetének titkára. E megbízatás idejének leteltével a Kar vezetősége, felismerve Dr. KATOR Lajos kiváló szervező készségét, a Gépészmérnöki Kar tudományos, majd általános dékánhelyettesi funkciójával bízta meg, amelyet mindaddig, amíg betegsége ezt számára egyáltalán lehetővé tette, rendkívüli szorgalommal és szakértelemmel látott el. Bár gyógyíthatatlan betegségének első tünetei halála előtt kb. egy évvel már jelentkeztek, ameddig csak lehetett, változatlan szorgalommal dolgozott az oktatásban, tudományos kutatásban és dékánhelyettesi funkciójában egyaránt.

Sajnos, legújabb könyvének megjelenését, amelyet tanszéki munkatársaival, Dr. ARTINGER Istvánnal és Dr. ZIAJA Györggyel együtt írt, már nem élhette meg. Ez a könyv *Új fémes szerkezeti anyagok és technológiák* címmel 1974-ben, KATOR Lajos halála után jelent csak meg.

KATOR Lajos csendes, udvarias, de határozott magatartásával egyaránt kivívta felettesei, kollégái és a hallgatóság megbecsülését és szeretetét. Sajnálatos, hogy az érdemeinek elismerését jelentő tudományok doktora fokozat megszerzését alig másfél évvel, egyetemi tanári kinevezésének kézhezvételét pedig csak néhány héttel élte túl.

*Dr. Gillemot László*

## BESZÁMOLÓ

# A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK 1974. ÉVI TEVÉKENYSÉGÉRŐL

LÉVAI ANDRÁS

AKADÉMIKUS, OSZTÁLYELNÖK

### 1. Az Osztály személyi állománya

Az Osztálynak 11 rendes, 14 levelező és 7 tanácskozó jogú tagja van; az ide tartozó tudományágakban a tudományok doktora 103 (ebből: energetikai 14, híradástechnikai 18, gépészeti és kohászati 23, mérnöki, építészeti, közlekedési 48); kandidátus 604 (ebből: energetikai 88, híradástechnikai 120, gépészeti és kohászati 226, mérnöki, építészeti, közlekedési 170).

Az Osztály 3 szakcsoport, 19 tudományos bizottság, 2 az OMFB-vel közös tudományos bizottság, 27 albizottság, 9 munkabizottság és 14 nemzeti bizottság munkáját irányítja.

### 2. Az Osztály tevékenysége

Az Osztály az 1974. év folyamán 7 ülést tartott. A kormányzati szervek igényét az Osztály állásfoglalásai iránt jól példázza az, hogy az OT felkérésére tárgyalta meg az osztályülés a népgazdaság hosszútávú gazdaságfejlesztése műszaki politikájának irányelveit, azt az OT által készített munkaközi anyagot, melynek előzményeivel már az elmúlt évben is foglalkozott. Számos javaslatát (pl. a műszaki politika dinamikusságára és hajlékonyságára, a prioritások megvédésére, az energiaproblémákra, a hazai gépipar fejlesztésére, a műszaki politika és kutatáspolitikára összhangjára vonatkozókat) az OT köszönettel vette. Az OVH elnökének, az Osztály tanácskozási jogú tagjának tájékoztatása alapján az osztályülés megvitatta a vízgazdálkodási tudományos kutatás helyzetét, különös tekintettel a kormánytól jóváhagyott vízgazdálkodási távlati fejlesztési koncepcióban foglaltakra. Az osztályülés megállapíthatta azt, hogy a Vízgazdálkodástudományi Bizottság előző években végzett helyzetelemzéseit, javaslatait az OVH eredményesen felhasználta.

Az Osztály tájékoztatta a nehézipari minisztert a 750 kV-os nagyfeszültségű összeköttetés létesítésével kapcsolatosan kialakított állásfoglalásáról és javaslatairól, amelyeket a miniszter illetékes helyettese nyugtázott és intézkedéseket tett.

Az MSZMP Komárom megyei Bizottságának az Akadémia elnökéhez intézett felkérése alapján az Osztály (az érdekelt osztályok akadémikusai és

szakértői részvételével) komplex bizottságot szervezett a Tatabányai Szénbányák komplex ásványvagyon-felhasználására vonatkozó koncepciótervezet véleményezésére. A beható és sorozatos tárgyalások után kialakított, részletekbe menő véleményben utalt arra, hogy a fejlesztési koncepció készítésével párhuzamosan a beruházási előírásoknak megfelelő ütemben és mélységben fokozni kell a komplex nyersanyagbázis egyes komponenseinek további feltárását. Ezen belül a bizottság szektoronként számos megjegyzést tett. Javaslataira az Akadémia elnöke a szakvéleményt megküldte az érintett országos szervezeteknek is.

Az Osztály véleményezte az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium, valamint az Igazságügyi Minisztérium által közösen készített, „Az emberi környezet védelméről” szóló törvénytervezetet, és ezzel kapcsolatban észrevételeket tett.

Az ÉVM-nek a légszennyezési bírságról készített rendelettervezetével kapcsolatban többek között utalt arra, hogy véleménye szerint helyesebb lenne az egyes légszennyezők toxicitása szerint differenciált fajlagos bírságot megállapítani, amelynek alapja pl. a megengedett emissziószintek aránya is lehetne. Megoldandónak minősítette az átlagos és a legnagyobb szennyezőanyag-emisszió megkülönböztetését mind abszolút értékben, mind tartósságban. Még számos probléma felvetése után javasolta a rendeletnek (főként pedig mellékleteinek) átdolgozását. A rendelet mielőbbi életbeléptetése érdekében az Osztály egyetértett azzal, hogy a javasolt módosításokra a szerzett tapasztalatok után rövid időn belül kerüljön sor.

„A szellemi élet vidéki centrumainak fejlesztése az V. ötéves tervidőszakban” tárgyú, építésügyi és városfejlesztési minisztériumi előterjesztéssel kapcsolatos osztályvélemény utalt azokra a tényezőkre, amelyek elsősorban meghatározzák a szellemi élet színvonalát.

„A budapesti agglomeráció fejlesztésével és szabályozásával kapcsolatos feladatok” c. minisztertanácsi előterjesztésre adott véleményben az Osztály többek között rámutatott arra, hogy az előterjesztés nem veti fel az agglomerációs övezetek reális meghatározásának igényét, és nem foglalkozik a kellő súllyal az agglomeráció közlekedési kérdéseivel.

A hazai római műemlékek védelmének helyzetét elemző vizsgálat megállapításairól az Osztály tájékoztatta az illetékes szervezetet.

Az Osztály felhívta a kohó- és gépipari miniszter figyelmét az elektrogázdinamikus (EGD) energiaátalakítás témában a Villamosenergia-ipari Kutatóintézettől kidolgozott zárójelentésre. A miniszter válaszában közölte, hogy azt érdekelt vállalatának felhasználás végett kiadta.

Az Osztály véleményezte az OMF B munkájáról készült jelentést, s ebben utalt arra, hogy a munkabizottsági tevékenység színvonalának további növelése érdekében szükséges lenne a tudományos kutatók nagyobb mértékű bevonása. Kívánatosnak tartotta a jelentés kiegészítését az Akadémia és az



OMFB kapcsolatainak részletesebb ismertetésével. Az OMFB-től megküldött 102 koncepció és tanulmány közül — az illetékes szakcsoportok, bizottságok, illetve felkért szakértők segítségével — 12-ről készült osztályvélemény. Így pl. „Az V. ötéves terv műszaki politikájának irányelvei” c. OMFB-tanulmánnyal kapcsolatban tett kiegészítő megjegyzésekben az Osztály utalt arra, hogy a gyártmány- és gyártmánycsoport-szelekciót nagymértékben elősegítené árrendszerünk tökéletesítése; célszerű volna figyelembe venni a bérgazdálkodásnak a műszaki fejlesztésre gyakorolt hatásait; indokolt volna az ipari szociológiával való foglalkozás; az energiagazdálkodás előirányzatai még további megvitátást igényelnek sth.

Az akadémiai kutatóhálózat fejlesztési tervét a bizottságok sorozatosan megvitaták, majd a szakcsoportok véleményezése után a témával az osztályülés, foglalkozott és összeállította (a központi utasítás szerint) állásfoglalását a szakigazgatás, illetve a szakterületileg érdekelt illetékes főhatóság számára. E munka keretében javasolta Akadémiai Műszaki Mechanikai Kutatóintézet megalakítását, valamint más főhatóságokhoz tartozó kutatási intézményekben az áramlás- és hőtechnikai, az elméleti technológiai, az építészettudományi, a közlekedési, a szál- és rosttechnológiai, valamint a vízgazdálkodási kutatások hazai szempontból fontos egyes területeinek az eddiginél intenzívebb fejlesztését.

Az MTA-tól korábban támogatott és az egyetemeknek átadott munkaközösségek és tanszékek új szervezeti rendbe való beilleszkedését az osztály figyelemmel kísérte, a felmerült problémák megoldását maga is kezdeményezte.

Az osztályülés megvitatta az MTA Műszaki Mechanikai Munkaközösségének tudományos munkásságát és egyéb problémáit. Az Osztály a munkaközösség tevékenységét jelentősnek ítélte, és elismerését fejezte ki az 1974. október 9–10-én tartott tudományos ülésszak megvalósításáért. Az Osztály fontosnak ítélte, hogy a munkaközösséget mielőbb önálló akadémiai intézetté szervezzék. Javasolta, hogy ezt követően vizsgálják meg, hogy az intézet profilja a gázok és folyadékok mechanikája területére milyen módon volna kibővíthető, és a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen folyó mechanikai és áramlástechnikai kutatások miként kapcsolódhatnak az intézethez. Az Osztály véleménye szerint meg kell teremteni a lehetőséget a jelenleg szervezés alatt álló nemzetközi mechanikai kutatóközpont munkájába való intenzív bekapcsolódásra.

A Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetben tartott osztályülés megismerkedett az intézet tevékenységével, főbb eredményeivel.

Az egyetemi kutatóbázisokkal és az iparral való kapcsolat elmélyítése érdekében az osztály egyik ülését a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen tartotta, ahol az Áramlás- és Hőtechnikai Gépek, Gépelemek, valamint a Mechanikai Tanszékek tudományos munkáját vitatta meg. Az osztályülés

elismerését fejezte ki a vizsgált tanszékek oktató- és tudományos munkájáért, kutatási eredményeinek gyakorlati hasznosításáért, majd javaslatokat tett a további munkára, a Budapesti Műszaki Egyetemmel és az MTA Műszaki Mechanikai Munkaközösségével való kapcsolat kiszélesítésére. Az osztályülés látogatást tett a Lenin Kohászati Művekben, ahol eszmecserét folytatott az üzem vezetőivel.

A BME Építőmérnöki Kar Építőanyagok Tanszéke 1974—1979. évi kutatási tervével kapcsolatos vélemény szükségesnek tartotta, hogy a terv magába foglalja az építőipar műanyagból és más kombinált anyagokból álló szerkezeteire, az előgyártás elemei technológiájának javítására, a szendvics-szerkezetek különböző megoldásaira vonatkozó kutatási területeket is.

Az Osztály azon javaslata, hogy az MTA kutatóhálózata keretében (a népgazdaság fogyasztási-termelési tevékenysége és az energetika közötti összefüggések elvi alapjainak feltárására, a fejlesztési tervekhez modellek kifejlesztésére) Energetikai Kutatócsoportot szervezzenek, számos erőfeszítés ellenére sem tudott eddig megvalósulni.

Az Osztály elhatározta, hogy az Elektrotechnikai Tudományok Szakcsoportja területén 6; a Gépészeti- és Kohászati Tudományok Szakcsoportja területén 11; a Mérnöki-Építészeti és Közlekedéstudományok Szakcsoportja területén 3 tudományos helyzetkép kidolgozását teszi folyamatba. Az év folyamán 7 tudományos helyzetkép készült el, ezek publikálása folyamatban van.

Az Osztály által az elmúlt évben az elnökség elé terjesztett közlekedéstudományi helyzetképpel kapcsolatosan kialakított állásfoglalásokat a közlekedés- és postaügyi miniszter elfogadta, és azok szellemében intézkedéseket tett.

Az országos távlati tudományos kutatási tervben szereplő, az osztályt érintő kutatási főirányok és célprogramok felülvizsgálata során számos kiegészítő javaslatot dolgozott ki, rámutatva egyebek között arra, hogy az atomerőművek létesítésével kapcsolatos feladatokat és az energetikai és energia-gazdálkodási kutatásokat indokolt lenne országos szintű célprogramokba foglalni.

Az Osztály véleményezte a K—6. sz. „A gépgyártástechnológia kutatása és fejlesztése” c. országos szintű kutatási célprogram állásáról készült jelentést. A véleményben utalt arra, hogy az egyes témacsoportok közötti arányok általában helyesek, a témák kidolgozásában azonban a kutató-fejlesztő intézetek, vállalati kutatóhelyek és egyetemi tanszékek között szorosabb kooperáció volna szükséges. Hiányolható, hogy az előalakító technológiák területén nem volt kiemelkedő eredmény, holott itt várható a legnagyobb megtakarítás. Utalt azoknak a megállapításoknak vitathatóságára is, miszerint a várható igénynövekedés és a gépgyártástechnológiai kutatások komplexitásának fokozása a jelenlegi hálózat fejlesztését igényli.

Megvitatta az Osztály „A számítástechnika alkalmazásai” c. akadémiai tárcaszintű kutatási főirány helyzetéről készült jelentést. Javasolta, hogy a koordináló tanács igyekezzék kapcsolatot keresni más tárcák számítástechnikai programjaival is. Szükségesnek ítélte azt, hogy a jelentést egészítsék ki az Akadémia munkáival az ESZR és MINI—ESZR hazai hardware-fejlesztésében.

A Nehézipari Minisztérium atomerőmű-beruházás miniszteri megbízottjának kezdeményezésére az Osztály véleményezte az atomerőművek létesítésével kapcsolatos tárcaszintű kutatási célprogramot. Az észrevételekre adott válaszában a nehézipari miniszter többek között utalt a szakemberképzés érdekében tett intézkedéseire, és kérte az Osztályt, hogy az atomenergetika ipari méretű bevezetésével kapcsolatos munkához a jövőben is nyújtson segítséget.

Az Osztály érdekelt tagjai részt vettek a K—1. sz. „Az alumíniumipar központi fejlesztési programjának kutatási célprogramja” c. országos szintű témában a Műszaki Kutatásokat Koordináló Tanács ülésén, és ott módosító javaslatokkal is elősegítették az anyagról szóló tudománypolitikai bizottsági jelentés teljességét.

A Művelődésügyi Minisztérium felkérésére az Osztály tagjai és szakcsoportjai áttekintették a műszaki egyetemek részére engedélyezett kutatási és felszerelési hozzájárulás elosztására vonatkozó javaslatot. A rendelkezésre álló rövid idő alatt, a teljesség igénye nélkül kialakított osztályvélemény rámutatott arra, hogy a minisztérium megszorító rendelkezései miatt nem érvényesülhetett kellően az Akadémia azon kérése, hogy a műszerekkel és felszerelésekkel kellően el nem látott tanszékek részesüljenek a felszerelési hozzájárulásból. A fenti és egyéb tényezők miatt a javaslat olyannak nem volt tekinthető, mint amely az eredeti célkitűzéseket maradéktalanul érvényesítené. Arra az esetre, ha az Osztálytól javasolt felülvizsgálatra nem kerülhet sor, az Osztály ajánlásokat tett a módosításokra.

Az osztályülés a BME Gépészmérnöki Karán létesítendő „Termelési rendszer szak”, valamint „Géptervező szak” tantervére vonatkozó javaslatot megvitatta annak kísérleti bevezetésével egyetértett, de utalt annak szükségességére, hogy a szakosítás ne csökkentse annak az alapelvnek az érvényesítését, hogy a képzésnek az alaptudományokban való mélyreható felkészültséget kell biztosítania. A tantervek kidolgozásába szakembereket kell bevonnai, a tanterv kiegészítendő az alkatrész- és részegység-szabványosítás, tipizálás módszereinek oktatásával stb.

Az osztályülés megtárgyalta a BME Villmaosmérnöki Karán megvalósítani tervezett oktatási kísérletet, s rámutatott arra, hogy ehhez feltétlenül biztosítani kell a jobb laboratóriumi körülményeket, elsősorban a fizikai, kémiai és anyagtechnológiai oktatás számára.

Véleményezte a BME-n a Közlekedéstechnikai és Szervezési Intézet létesítésére vonatkozó javaslatot. Az Osztály utalt arra, hogy a tervezett

intézetesítés többek között elősegítheti a Közlekedéstudományi Munkaközöség továbbfejlődését is.

A Művelődésügyi Minisztérium felkérésére az Osztály véleményezte az Ybl Miklós Építőipari Műszaki Főiskolán létesítendő Városgazdasági Tanszékre vonatkozó javaslatot, rámutatva azokra a hiányosságokra, amelyek az egyes tantárgyak tervezett felépítésében, és a tanszék feladatkörének meghatározásában mutatkoztak.

A TMB-vel való kapcsolat zökkenő nélküli volt, az Osztály 15 doktori minősítési ügyben adott véleményt, és 3 alkotások alapján történő tudományos fokozatszerzéssel kapcsolatban közölte állásfoglalását.

Az Osztály bizottságai és tagjai útján szoros kapcsolatot tart fenn a Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetségének tagegyesületeivel. Több bizottság vett részt közös rendezvényekben, egyes feladatok megoldásában. (A részletes felsorolást az egyes bizottságokról szóló beszámolók tartalmazták.)

Az Osztály a szovjet—magyar tudományos és műszaki együttműködés 25 éves jubileumi ülésszakának előadásában, rendezvényeiben jelentős szerepet vállalt.

Megtárgyalta a hazai műszaki könyv- és folyóiratkiadás Akadémiai Kiadóra vonatkozó helyzetét és elhatározta, hogy a vizsgálatot a műszaki könyv- és folyóiratkiadás egész területére kiterjeszti.

Megvizsgálta az osztályhoz tartozó nemzetközi szervezetek munkáját és útmutatást adott a további teendőkre.

### 3. A szakcsoportok és a bizottságok működése

Folyamatos gyakorlattá vált az, hogy az osztályüléseket megelőzően a szakcsoportvezetők és helyetteseik együttes értekezleteken egyeztetik álláspontjaikat, illetve egységes irányelveket alakítanak ki a soron következő feladatok megoldására.

A beszámolási időszakban a Mérnöki, Építészeti és Közlekedéstudományi Szakcsoport munkáját az osztályülés is megvitatta és határozatot hozott arról, hogy a bizottságok hatóságokhoz intézett állásfoglalásainak kialakításakor az illetékes megkeresett szervek szakértői is vegyenek részt az ülésen.

A tudományos bizottságok az év folyamán 3—5 ülést tartottak. Az ülések napirendjére tűzött tudományos témák, ágazati fejlesztési koncepciók, javaslatok, tanulmányok, tudományos helyzetképek vitáiba az illetékes ágazati vezetők, szakemberek tevékenyen bekapcsolódtak, egyes kérdéseket maguk ismertettek, a felmerült javaslatokkal kapcsolatban közvetlenül állást foglaltak. Különösen termékenyek voltak azok a bizottsági ülések, amelyeket ipari üzemben, kutatóintézetben tartottak. Egyes bizottságok áttekintették tudó-

mányterületük ipari kutatóintézeteinek és egyetemi kutatásainak helyzetét, kutatási terveit, számos javaslatot tettek ezek kiegészítése, illetve koordinálása tekintetében.

Az osztályok közötti együttműködés erősítését szolgálta az Automatizálási és Számítástechnikai Bizottság és a III. osztályhoz tartozó Számítás-tudományi Bizottság együttműködésére vonatkozó megállapodás kialakítása és végrehajtása.

Egyes bizottságok egymás területeit érintő kérdésekben együttes üléseket is tartottak, közös rendezvényeket készítenek elő. Kapcsolataik az egyesületekkel is tovább erősödtek, számos közös rendezvényt szerveztek.

### *Az Elektrotechnikai Tudományok Szakcsoportja*

A szakcsoport az országos távlati tudományos kutatási tervvel kapcsolatos vélemények kialakítására, a műszaki alkotások alapján odaitélhető tudományos fokozatokra vonatkozó javaslatok kidolgozására, a kutatóbázisok és az ipar kapcsolatainak kibővítésére, az energetikai tudományos és fejlesztési problémák előtérbe helyezésére összpontosította munkáját.

*Az Automatizálási és Számítástechnikai Bizottság* munkáját két albizottsága közreműködésével végezte. Megtárgyalta „A számítástechnika alkalmazásai” c. akadémiai tárcaszintű kutatási főirány szervezéséről és helyzetéről készített jelentést, az IFAC nemzetközi automatizálási szövetség magyar nemzeti bizottságának munkáját. A Számítástudományi Bizottsággal közös szervezésben meglátogatta a VIDEOTON székesfehérvári gyárát, helyszínen tanulmányozta az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetének tevékenységét.

*Az Elektronikus Eszközök Bizottsága* figyelemmel kísérte az „Optoelektronikai eszközök fejlődése” c. tudományos helyzetkép kidolgozását. Megvitatta az integrált áramkörök megbízhatóságának problémáiról szóló tudományos előadást, és megismerkedett a „Megbízhatóság az elektronikában III.” elnevezésű szimpózium előadásaival. A bizottság az országos kutatási hálózat fejlesztési koncepcióinak további mélyreható tanulmányozására munkabizottságot szervezett. Egyik ülését a Központi Fizikai Kutatóintézetben tartotta, ahol áttekintette az ott folyó félvezető- és memóriakutatásokat. Véleményezte az OMF „Nagyintegráltságú (MSI, LSI) áramkörök” c. tanulmányát és foglalkozott az OMFB készülő „Fényforrás” tanulmányával.

*Az Elektrotechnikai Bizottság* nagy súlyt helyezett az erősáramú ipar hazai fejlesztését elősegítő tudományos kérdések széles körű megvitatására. „A nagy villamosvezetékek problémái, különös tekintettel a létesítendő hazai 750 kV-os vezetékekre” c. előadásra támaszkodva álláspontot alakított ki a kérdéskomplexummal kapcsolatban, javasolva azt, hogy a témát vegyék fel az országos távlati tudományos tervbe. Egyértelműen felvázolta a hazai erős-

áramú ipar fejlesztésének lehetőségeit, népgazdasági hatékonyságát, az exportban vitt kiemelkedő szerepét, rámutatott az iparág hátrányos beruházási helyzetére és arra, hogy ennek az iparág tudományos kutatóbázisa is rendkívül hiányos, egyes területeken teljesen hiányzik.

*A Közvetlen Energiaátalakítási Bizottság* megvitatta a Villamosipari Kutatóintézetben folyó MHD-generátorok diagnosztikai módszereinek kifejlesztéséről készített beszámolót. A bizottság véleménye szerint a lézerholografikus diagnosztikai módszert a SZUTA Nagyhőmérsékletű Intézetekben az MHD-generátor kifejlesztésében lehetne eredményesen alkalmazni. A bizottság részt vett a „Kémiai áramforrások” c. OMFB-tanulmány anyagának kialakításában, munkakapcsolatot tartott fenn „Az MHD-plazma vizsgálatára szolgáló módszerek és mérőkészülékek kifejlesztése” tárgyában a Villamosipari Kutatóintézetnél folyó kutatás tekintetében. Véleményt alakított ki „Az Akkumulátor és Szárazelemgyár műszaki fejlesztési problémái és tudományos feladatai” témakörben. Figyelemmel kísérte „A kémiai áramforrások és alkalmazásuk perspektívái” és „Az MHD-generátorkutatás helyzete” tárgyú tudományos helyzetképek kidolgozását; valamint a „KGM—6. Villamosenergia különleges módon való előállítása, illetve felhasználása” c. ágazati szintű kutatási célprogram végrehajtását.

*A Távközlési Rendszerek Bizottsága* megvitatta és elfogadta a „Távadattfeldolgozó hálózatok” c. tudományos helyzetképet, annak publikálását javasolta. Közvetlen kapcsolatot alakított ki a KPM Postafőosztállyal, megvitatva a posta- és távközlésfejlesztési koncepciót. Megállapította, hogy az a jelenlegi hiánygazdálkodási szintet nem számolná fel, és hangsúlyozta, hogy a hazai ipar postai igényekre orientált kapacitásbővítése nélkülözhetetlen. Közreműködött azon kutatási témák összeállításában, amelyek kielégítésére a Postakísérleti Intézetnek kapacitása nincsen. A bizottság az iparral való kapcsolat elmélyítése érdekében egyik ülését a Telefongyárban tartotta, ott megismerkedett a gyár működésével, kooperációs kapcsolataival, laboratóriumaival.

### *A Gépészeti és Kohászati Tudományok Szakcsoportja*

A szakcsoport nagy gondot fordított a kutatóbázisok tudományos tevékenységének áttekintésére, javaslatot dolgozott ki az egyetemi tudományos munkák felülvizsgálatának módszerére. Hathatósan elősegítette a tárcáktól irányított kutatási programok, fejlesztési koncepciók sokoldalú, koordinált megvitatását.

*Az Áramlás- és Hőtechnikai Gépek és Berendezések Bizottságán* belül négy albizottság és négy munkabizottság működik. A bizottság megvitatta és kiegészítésekkel elfogadta a „Hidraulikus erőátvitel”, az „Olajtüzelő berendezések” és az „Ipari porleválasztással és pormérgezéssel kapcsolatos hazai kutatások” c. tudományos helyzetképeket. Részt vett az OMFB felkérésére

a zajártalommal foglalkozó tanulmány kidolgozásában. Az al- és munkabizottságaiban megtárgyalt tudományos kérdések közül kiemelkedők a forgó járókerékben kialakuló határréteggel, az ammóniás körfolyamat ammónia-turbinájával kapcsolatos problémáknak és az Erőterv csúcserőművi tanulmányának megvitatása.

*Az Elméleti Technológiai Bizottság* keretében két albizottság működik. A bizottság megvitatta a Kohó- és Gépipari Minisztérium „Forgács nélküli alakító szerszámok” és „Forgácsoló szerszámok” c. tanulmányait, és kifejtette véleményét. 1975-ben a Gépszerkezettani Bizottsággal közösen megszervezésre kerülő, „A korszerű konstrukció és technológia kölcsönhatása” c. tudományos ülésszak programtervezetét kialakította. Megvizsgálta az OMFB „Teendők a magyar gyártású, számjegyes vezérlésű szerszámgépek forgalmának növelése érdekében” c. tanulmányát, valamint a „Hazai gépipar technológiája” c. tanulmányt.

*A Fémszerkezettani Bizottság* a munkabizottságokban kidolgozás alatt álló tudományos helyzetképek közül a korróziós jelenségekre vonatkozó munka előrehaladását értékelte. Megkezdte az 1975-ben a Gépipari Tudományos Egyesülettel közösen megrendezésre kerülő VIII. kohászati anyagvizsgáló napok szervezését, programjának összeállítását.

*A Gépszerkezettani Bizottság* a következő témákat tárgyalta: a fogaskerék-bolygóművek alkalmazási problémái; ívelt kúp fogaskerek tervezésének néhány kérdése; a korszerű csigahajtóművek gyártási problémái; a Hertz-feszültségre való méretezés gyakorlati kérdései; a szilárdságtan módszerei és alkalmazásai. Figyelemmel kísérte „A gépszerkezettan nemzetközi helyzete és fejlődési irányai a világon és hazánkban” c. tudományos helyzetkép kidolgozását. Összefoglalta és kritikailag értékelte azokat a hazai és külföldi tudományos ülésszakokat, amelyeken tagjai részt vettek. A bizottság tagjai előadások tartásával vettek részt a Gépipari Tudományos Egyesület szervezésében megrendezett fogaskerék-konferencián, és a közösen szervezett V. Korszerű Méretezési Kongresszuson és a VI. Anyagvizsgáló Kongresszuson. Négy albizottsága az IFTOMM magyar nemzeti bizottsága munkáját segíti elő.

*A Hőenergetikai Bizottság* két albizottságot irányít. A bizottság megvitatja az albizottságok által kidolgozott „Energetikai folyamatok hatása a környezetre” és „Energetikai folyamatok hatása a környezetre Magyarországon” c. tanulmányokat, valamint az OMFB által készített „Az energiagazdálkodás komplex vizsgálata” és a „Hazai szénbányászat perspektívája” c. tanulmányokat. Állásfoglalásaiban többek között utalt arra, hogy az energiahordozók árai növekedésükben viszonylagosan elmaradtak az energetikai beruházások költségszintjének növekedésétől. A felbomlott egyensúly a fogyasztókat helytelenül orientálja, ami komoly zavarokat okozhat az iparági tervezés során. Az egyetemi kutatóhelyek munkájának folyamatos figyelemmel kísérése során az energiahordozókkal kapcsolatos kutatási tevékenység erőteljesebb

preferálására hívta fel az illetékesek figyelmét. A bizottság javasolta, hogy a hazai szénvagyon hasznosításának szélesebb körű lehetőségét vizsgáló kutatási programnak teret biztosítsanak.

A *Metallurgiai Bizottság* megvitatta a hazai alumíniumipar fejlesztési lehetőségeit, rámutatott arra, hogy az alumíniumkohászat fejlesztése új eljárások kidolgozását, tudományos kutatását követeli meg. A hazai színesfémkohászat fejlesztési lehetőségeit megtárgyalva, állást foglalt abban, hogy a recski rézérc-feldolgozás leggazdaságosabb s a melléktermékek hasznosítását is azon nagy tisztaságú és magas olvadáspontú ritkafémeknek és ritkaföldfémeknek előállítására és felhasználására irányuló kutatásokat tartja szükségesnek, amelyeknek nyersanyagaival már rendelkezünk, vagy előállításukban már tapasztalataink vannak. A bizottság a vaskohászati nagyüzemek metallurgiai kutatásait a Vasipari Kutatóintézetben tartott ülésén áttekintette és véleményezte. Javasolta, hogy tárcaszintű kutatási célprogram készüljön a hazai vasmetallurgia fejlődési irányairól, és hogy fokozni kell a távlati fejlesztést szolgáló kutatások központi támogatását.

A *Szál- és Rosttechnológiai Bizottság* mellett két albizottság működik. A bizottság üzemi kapcsolatainak erősítése érdekében két ülését könnyűipari nagyüzemben tartotta. Részletesen megvitatta a textilipari, a bőr-, műbőr és cipőipari, valamint a faipari kutatások 1973. évi eredményeit. A Könnyűipari Minisztérium hivatalos képviselője beszámolt a bizottság előtt a tárcaszintű kutatási célprogramok helyzetéről; a kialakult vita során számos javaslat hangzott el. A Könnyűipari Minisztérium felkérésére munkabizottság bekapcsolásával tervezetet dolgozott ki a fejlesztő és kutató állományban levő dolgozók követelményrendszerének meghatározásához. Megállapította a tudományterületén kívánatos, kiemelt tárcaszintű kutatási témák címét, és állást foglalt a tudományterületek koordinálása tekintetében. Feldolgozta a tudományterületek koordinálása tekintetében. Feldolgozta a tudományterületén megjelent hazai publikációkat. A bizottság albizottságai útján négy tudományos ülést rendezett.

#### *A Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok Szakcsoportja*

A szakcsoport vezetését Csanádi György r. tag elhalálózásával az osztályülés határozata alapján Bogárdi János r. tag vette át. A szakcsoport nagy súlyt helyezett az ipari kutatóintézetek kutatási tevékenységének megvitatására, az ágazati főhatóságokkal való kapcsolat kiszélesítésére.

Az *Építészettörténeti és Elméleti Bizottság* három albizottság és három témabizottság segítségével végzi munkáját. A bizottság megvitatta „A népi építészet tára” célkitűzéseit, feldolgozásának metodikáját, lehetőségeit és problémáit, és munkabizottságot szervezett a feladatok megoldására. Meg-



tárgyalta kiküldött alkalmi bizottságának előterjesztését „A legújabbkori hazai építészeti alkotások védelméről”, majd a téma további gondozására témabizottságot szervezett. Jóváhagyta „A műemlékvédelmi tervezés gyakorlati kérdései” elnevezésű témabizottság által kidolgozásra kerülő tudományos helyzetkép tematikáját. Elfogadta a posztgraduális építészettörténet oktatás átszervezésére vonatkozó előterjesztést. A helyszínen megtekintette Óbuda műemlékvédelmi munkáit és megállapításairól tájékoztatást készített. Kezdeményezésére az osztály foglalkozott a Nyugati pályaudvar csarnokának tervezett lebontásával. A bizottság tanulmányok készítésével aktívan részt vett elnökének, Major Máté akadémikusnak 70. születésnapja alkalmából megjelentetett *Acta Technica* különszámának kiadásában.

Az *Építészettudományi Bizottság* az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium illetékes képviselőjének jelenlétében megvitatta „Az építésügyi ágazat V. ötéves tervidőszaki műszaki fejlesztés politikai koncepciója” c. anyagot, s vele kapcsolatban számos megjegyzést tett. Megvitatta a bizottságtól szervezett munkacsoportok által kidolgozott, „A lakáskörnyezettel szemben támasztandó komplex egészségügyi, pszichikai, szociológiai, esztétikai követelmények rendszere” és „Az ipari munkahelyi környezettel szemben támasztott komplex egészségügyi, pszichikai, ergonómiai, esztétikai követelmények” c. tanulmányokat, s kiegészítésükre útmutatást adott. A bizottság szakértői útján 6 OMFB-tanulmányról készített véleményt, s plenáris ülésén megvitatta „A magánlakás-építés fejlesztése” c. anyagot.

A *Közlekedéstudományi Bizottság* három albizottság segítségével végzi munkáját. A Településtudományi Bizottsággal együtt tartott ülésen egyeztették a közlekedéstudomány és a településtudomány közös problémáit s a további teendőket. Megkezdte a közlekedés és a környezetvédelem tudományos kérdéseinek összefoglalását, megvitatta az OMFB „Közlekedésünk 2000-ben” c. tanulmányát, előkészítette a közlekedéstudomány elvi és rendszer-tani problémáinak megvitatására szolgáló kerekasztal-konferenciát. Megvizsgálta a Közlekedési Múzeum munkáját, tudományos eredményeit. Albizottságai megvizsgálták a Vasúti Tudományos Kutatóintézet és az egyetemi-főiskolai tanszékek kutatómunkáját és 1975. évi kutatási terveit, a Közúti Tudományos Kutatóintézet fejlesztésének és tudományos minősítésének helyzetét, a magyar tengerhajózás kérdéseit. Hajózási albizottsága tevékenyen részt vett az állandó Duna-kiállítás létesítésében.

A *Műszaki Mechanikai Bizottság* megvitatta „A szendvicsszerkezetek mechanikájának kutatási eredményei” c. helyzetképet. Javasolta, hogy a kutatási feladatok kidolgozásának koordinálását az Építéstudományi Intézet lássa el. Megtárgyalta az előregyártott szerkezetek minősítésére vonatkozó javaslatot. Foglalkozott a mechanikai fogalmak és jelölések egységesítésének kérdésével, ajánlást fogadott el az egyetemi mechanikai oktatás egységesítésének további fejlesztése érdekében. Megvitatta a BME Építőmérnöki

Karán működő Mechanika Tanszék kutatómunkáját. Kijelölte a Magyar Mechanikai Konferencia szervező bizottságát.

*A Talaj- és Kőzetmechanikai Bizottság* megtárgyalta az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium „Alapozások fejlesztése” c. célprogramja tervezetét. Figyelemmel kísérte az irányításával készülő geotechnikai tudományos helyzetkép kidolgozását. Megtekintette a BME Geotechnikai Tanszék új laboratóriumát. Megvitatta a Nemzetközi Talajmechanikai és Alapozási Egyesület bledi és stockholmi konferenciájának Tudományos eredményeit, és megkezdte az 1976-ban Budapesten tartandó nemzetközi konferencia előkészítését. Munkabizottságot szervezett a szondázás mint feltárási módszer hazai továbbfejlesztésére. Több, folyóiratban megjelent geotechnikai cikkről a kijelölt tagoktól készített bírálatokat a bizottság megvitatta.

*A Településtudományi Bizottság* megvitatta a kiküldött munkacsoport által kidolgozott, „Városaink közműellátottsága és a közműrendszerek fejlesztésének problémái” c. tanulmányt, és számos javaslatot tett az illetékes szerveknek. A Közlekedéstudományi Bizottsággal közösen megtartott ülésen megtárgyalta „A településtudomány és a közlekedéstudomány együttműködésének elveiről” készített munkabizottsági jelentést. Ennek figyelembevételével előkészítették az összehangolt településfejlesztés és közlekedésfejlesztés időszerű feladatait tárgyaló, 1975-ben megrendezendő kerekasztal-konferenciát. A bizottság több éves előkészítő munka alapján — a Magyar Urbanisztikai Társasággal közös szervezésben — „A városépítés ökonómiai vetületei” címmel sikeres konferenciát tartott, s a további feladatokra ajánlást tervezet formájában készített.

*A Vízgazdálkodástudományi Bizottság* munkáját öt albizottság és egy munkabizottság segíti. A bizottság megvitatta „A vízgazdálkodási kutatóbázis fejlesztése” c., az Országos Vízügyi Hivatal által készített anyagot. Megállapította, hogy ez a bizottságtól 1971-ben és 1973-ban végzett felmérésekkel és javaslatokkal összhangban van. Összefoglaló beszámolót készített a vízminőségi és a hazai evapotranspirációs kutatásokról. Tevékenyen részt vett az IAHR és a PIANC nemzetközi szervezet rendezvényeiben, és jelentősen közreműködött a Hidrológiai Társaság által rendezett, „A másodlagos szennyeződés problémája az ivóvízellátásban” c. kétnapos szemináriumon. Albizottságai 18 tudományos kérdést vitattak meg a hidrológiai, a hidraulika, a mezőgazdasági vízgazdálkodás, a vízellátás és csatornázás, a vízépítés és vízvédelem területéről.

*A Szilárdtest-fizikai Komplex Bizottság* munkájának értékelését a Matematikai és Fizikai Tudományok Osztálya beszámolója tartalmazza.

*Az MTA—OMFB Energetikai Tudományos Bizottság* megvitatta „Az energetika fejlesztésének fő irányelvei 1990-ig” c. anyagot. A bizottság rámutatott arra, hogy a tartósan ígérkező új helyzethez való alkalmazkodás megköveteli a hazai energiaforrások, elsősorban a szénbányászati termékek

fokozottabb igénybevételét, a tőkés kőolajimportnak lehetőség szerinti csökkentését és általában az energiahordozókkal való ésszerű gazdálkodást a termelés, a szállítás, az átalakítás és a felhasználás minden területén. Az atomerőművek részarányának növekedése a villamosenergia-termelésben nálunk is szükségszerű tendencia, aminek következtében különös jelentőséggel kerül előtérbe az energetikai gépgyártás további fejlesztése és az atomerőmű-építés hazai ipari háttérének létrehozása. „A VI. ötéves terv erőműépítési programja” c. NIM-anyag megvitatása során több lehetőség megvalósításának, helyes ütemezésének kellő mélységű vizsgálatok utáni eldöntéséhez alakított ki szempontokat. Az energiatakarékosság szempontjából fontos kérdéssel a bizottság ismételten foglalkozni fog. „A hazai erőművi gépgyártás perspektívái” c. előterjesztéssel kapcsolatban a bizottság egyöntetű véleménye az volt, hogy a nemzetközi színvonalat megközelítő hazai erőművi gépgyártást fenn kell tartani; a nagy gépgyárak kapacitásának hazai megrendelésekkel való kitöltéséről gondoskodni kell; a gépgyárak dinamikus szinttartási lehetőségét biztosítani kell; az 500 MW-os gépegységek gyártására, a gyártási technológia korszerűsítésére, az atomerőművek különleges követelményeinek teljesítésére megfelelően fel kell készülni.

Az MTA—OMFB Számítástechnika Alkalmazásai Bizottság a számítástechnika alkalmazása szempontjából meghatározó jelentőségű témakörrel, az ESZR-gépek hazai alkalmazásával kapcsolatos helyzet részletes megismerésére összpontosította tevékenységét. Ennek keretében a Fővárosi Építőipari Üzemgazdasági és Ügyviteltechnikai Irodában megtartott ülésén az R—20-as számítógéppel kapcsolatos tapasztalatokat vitatták meg, és megtekintették a számítóközpontot. A bizottság tanulmányozta a Számítástechnikai központi fejlesztési program számítástechnikai kutatási célprogramjának 1976—1980. évi tervjavaslatát is, egyeztetett álláspontjának kialakítására következő ülésén kerül sor.

#### 4. Nemzetközi kapcsolatok, rendezvények

##### *Nemzetközi szervezetek magyar nemzeti bizottságai*

Az Osztály megvizsgálta és elfogadta a szakcsoportok jelentéseit a nemzetközi szervezetek munkájáról. Javasolta, hogy e bizottságok tevékenységüket terjesszék ki a nemzetközi fórumokon felmerült fontosabb kérdések hazai ismertetésére.

A *Nemzetközi Automatika Szövetség (IFAC)* magyar nemzeti bizottsága az 1975. évi bostoni konferencia előkészítésével kapcsolatban tevékenykedett, részt vett a budapesti IFAC Sztochasztika Szabályozás Szimpózium előkészítésében és megrendezésében.

A *Nemzetközi Világítástechnikai Szövetség (CIE)* magyar nemzeti bizottsága előkészítette és megszervezte a „Színvisszaadás” Technikai Bizott-

ság CIE munkabizottsági ülését. A bizottság több tagja aktívan részt vett a szövetség bizottságainak munkájában.

A *Nemzetközi Vákuumtechnikai Unió (IUVESTA)* magyar nemzeti bizottsága folyamatosan figyelemmel kísérte a vákuumtechnika fejlődését, megvitatta a nemzetközi téren elért eredményeket, a külföldön tartott ülések, konferenciák tapasztalatait. Megrendezte az 5. Vákuum Iskolát, melyen 80 hallgató vett részt.

A *Nagy Villamoshálózatok Nemzetközi Konferenciája (CIGRE)* magyar nemzeti bizottsága az 1974. évi párizsi plenáris ülésekre beérkezett tanulmányokat ellenőrizte, azokra két magyar tanulmányt küldött. A bizottság elnökét beválasztották a CIGRE egyik legfőbb vezető testületébe az Administrative Councilba.

A *Nemzetközi Tudományos Rádióunió (URSI)* magyar nemzeti bizottsága közreműködésével került sor az V. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium megrendezésére Budapesten. Továbbfolytatta az 1975. évi közgyűlésre való felkészülést.

A *Rendszerelméleti és Kibernetikai Világszervezet (WOGSC)* magyar nemzeti bizottsága áttekintette a rendszertechnika és a nagy rendszerek elméletének és gyakorlatának hazai helyzetét. Megkezdte az 1975. évi bukaresti nemzetközi konferenciára való felkészülést, a szakkikkek összegyűjtésével és egyes szekciókon belüli rangsorolásával.

A *Gépek és Mechanizmusok Elmélete Nemzetközi Szövetségének (IFTOMM)* magyar nemzeti bizottsága a Gép szerkezettani Bizottság keretében négy albizottsága segítségével látja el feladatait. A bizottság elnöke részt vett és előadást tartott a New Yorkban megtartott konferencián.

A *Törésmechanikai Kongresszus (ICF)* magyar nemzeti bizottsága szervezte meg az V. Korszerű Méretezési Konferenciát, amely igen nagy nemzetközi sikert és elismerést aratott.

Az *Energia Világkonferencia (WEC)* magyar nemzeti bizottsága az 1974. évi IX. Energia Világkonferencia előkészítésében aktívan közreműködött. A WEC-től rendszeresen beérkező műszaki és tudományos anyagok hasznosítását elősegítette.

A *Nemzetközi Elméleti és Alkalmazott Mechanikai Unió (IUTAM)* magyar nemzeti bizottsága folytatta az 1975-ben megrendezésre kerülő II. Magyar Mechanikai Konferencia előkészítését, a feladatok ellátására szervező bizottságot létesített. A bizottság elnöke részt vett az Udinében rendezett közgyűlésen. Megvitatta a közgyűlés anyagait. Megkezdte az EUROMECH (Európai Mechanikusok Kollokviumai) keretében 1975-ben Mátrafüreden tartandó kollokvium előkészítését.

A *Nemzetközi Talajmechanikai és Alapozási Egyesület (ISSMFE)* magyar nemzeti bizottsága megvitatta az egyesület által rendezett bledi és stockholmi konferencia tudományos eredményeit. Megindította az 1925—

1975 között megjelent geotechnikai tárgyú magyar könyvek és cikkek bibliográfiájának összeállítását. Folyamatba tette az 1976-ban soron következő budapesti nemzetközi konferencia előkészítését.

A Nemzetközi Öntözési és Vízrendezési Szövetség (ICID) magyar nemzeti bizottsága tovább folytatta az 1975. évi moszkvai Öntözési és Vízrendezési Világkongresszuson való magyar részvétel előkészítését.

A Nemzetközi Hidraulikai Kutatási Szövetség (IAHIR) magyar nemzeti bizottsága előkészítő tevékenységének eredményeként 1974-ben zajlott le a szövetség és a Hajózási Kongresszusok Állandó Nemzetközi Szövetsége közös rendezésében a Folyó- és Jégszimposium. A szövetségnek ez évi, Budapesten megtartott tanácsulése nemcsak a magyar kutatási eredmények elismerését jelentette, hanem lehetővé tette a soron következő São Paolói kongresszus előkészítésének és tematikájának befolyásolását is.

### *Meghívott vendégek*

1974-ben az osztály az alábbi külföldi tudósokat látta vendégül:

R. SZEWALSKI, a Lengyel Tudományos Akadémia rendes tagja 1974. április 29-én „Neue Vorschläge zur Hebung der Einheitsleistung und des Wirkungsgrades von Dampfturbinen für Kraftwerke” címmel tartott előadást.

P. O. STRANDELL professzor (The Royal Institute of Technology Working of Metals) tiszteletére fogadást rendezett az osztály az MTA Tudós Klubjában.

Mircea V. SOARE, a műszaki tudományok doktora (Bukarest) 1974. június 11-én tartott előadást „Statics and Dynamics of Double Layer Oblique Square Mesh Grids” címmel.

Karl Johan ASTRÖM, a lund Institute of Technology professzora 1974. október 1-én a Tudományos Akadémián „On Selfturning Regulators” címmel, 1974. október 3-án pedig a BME-n „Modern Identification Methods” címmel tartott előadást.

### *Rendezvények*

1974. január 15–17 között Budapesten rendezték meg a IAHR/PIANC Nemzetközi Folyó- és Jégszimposiumot és a IAHR VB tanácsulését. Ezeken 100 külföldi és 150 belföldi szakember vett részt.

1974. február 1–7 között került lebonyolításra a Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet rendezésében Mátrafüreden a téli iskola 20 külföldi és 50 magyar résztvevővel.

1974. március 24–27 között rendezték a Valósídejű Programozás IV. európai szemináriumát Budapesten, 50 külföldi és 10 belföldi résztvevővel.

1974. június 24–30 között a Távközlési Kutatóintézet és a Híradástechnikai Tudományos Egyesület szervezésében került megrendezésre Buda-

pesten az V. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium, amelyen 200 külföldi és 200 belföldi szakember vett részt.

1974. szeptember 11–14 között rendezték meg a CIE Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság „SzínviSSzaadás” Technikai Bizottságának munkabizottsági ülését, 15 külföldi szakember részvételével.

1974. szeptember 19-én a magyar–szovjet tudományos és műszaki együttműködés 25 éves évfordulója alkalmából az osztály tudományos ülés-szakot tartott.

1974. szeptember 25–27 között került sor az IFAC Sztochasztikus Szabályozás Szimpóziumra a SZTAKI, a Bolyai Matematikai Társaság és a Neumann Társaság közös rendezésében. Ezen 160 külföldi és 90 belföldi szakember vett részt.

1974. október 28 és november 1 között tartották az V. Korszerű Méretezési Konferenciát a GTE Anyagvizsgálati Kongresszussal összekötve, 120 külföldi és 150 belföldi vendég részvételével.

1974. november 11–15 között a SZTAKI és a GTE közös rendezésében tartották meg az V. Jablonna Fluidika Konferenciát.

### *Magyar–Szovjet Tudományos Ülésszak*

CSÁKI Frigyes lev. tag: A szovjet és a magyar tudományos iskolák munkakapcsolatainak fejlesztése a szabályozás és az információelmélet területén.

SZIFOROV, V. I. akadémikus: A szovjet–magyar együttműködés tapasztalatai és távlatai az információelmélet és annak alkalmazása területén.

CSIBI Sándor, a matematikai tudományok doktora: Eredmények az információelméleti és felismerési problémák közös kutatásában, valamint a szív- és érrendszeri vizsgálatok számítógépes módszereinek közös kidolgozásában.

SZENDY Károly lev. tag: Mágneses hidrodinamikus generátor (MHD) kifejlesztése.

SEINDLIN, A. E. akadémikus: A világ energiaellátásának problémái és távlatai.

LITOVCSENKO, V. G., a fizikai tudományok doktora: A szilárdtest-kutatások új eredményei és azok alkalmazása a kutatásban és az iparban.

SZIGETI György–BODÓ Zalán: Szovjet–magyar együttműködés a félvezetők kutatása területén. Előadó: Bodó Zalán, a fizikai tudományok doktora.

### *Felolvasó ülések*

PALOTÁS László, a műszaki tudományok doktora, ny. egyetemi tanár: „A beton sajátfeszültségű állapota és a repedésérzékenység” (III. 28.).

SYMONDS P. (Brown University USA), a IUTAM Magyar Nemzeti Bizottsága vendégeként: „Approximation Techniques for Large Plastic Deformations of Dynamically Loaded Structures” (Dinamikusan terhelt szerkezetek nagy képlékeny alakváltozásainak közelítő számítása) (1974. V. 8.).

VESIC Aleksandar S. Prof. and Chairman Duka University Durham NC.: „Bearing Capacity of Shallow and Deep Foundations” (V. 29.).

MARGULKOVA, Tereza H., a műszaki tudományok doktora, a Moszkvai Energetikai Egyetem Atomtechnikai Tanszék professzora: „Nyomottvízes atomreaktorokkal létesített atomerőművek vízrendszerének kérdései, különös tekintettel a szerkezeti anyagokra” (V. 31.).

ERDÉLYI Edward, a coloradói egyetem professzora, a BME díszdoktora: „Generátorok szubtransziens reaktanciájának számítógépes meghatározása” (IX. 30.).

GESZTI P. Ottó lev. tag: „Nagy villamosvezetékek problémái különös tekintettel a létesítendő hazai 750 kV-os vezetékre” (X. 3.).

### *Székfoglalók*

VÁMOS Tibor lev. tag: Felismerési kísérlet nyelvi módszerekkel (I. 23.).

GÁBOR László lev. tag: Az építészeti tervezés és az építési technológia szerepe, összefüggése az alkotásban (IV. 10.).

## 5. Könyv- és folyóiratkiadás

Az Osztály gondozásában a folyóévben 15 mű került kiadásra összesen 727,2 ív terjedelemben. E művek közül 3 monográfia, 9 kézikönyv és 2 konferenciái kiadvány volt.

Az Osztály gondozásában 3 folyóirat jelent meg.

Az *Acta Technica* négy kötetben, 120 ív terjedelemben 107 tanulmányt, 3 megemlékezést és 1 nekrológot közölt. A megjelent dolgozatok 80%-a angol nyelvű, a többi német, orosz illetve francia nyelvű volt.

A *Műszaki Tudomány* másfél kötetben, 45 ív terjedelemben 28 tanulmányt, 7. könyvismertetést, 5 tudományos életrajzot, 3 jubileumi megemlékezést és 1 nekrológot hozott.

Az *Építés-Építészettudomány* 1 kötetben, 35 ív terjedelemben 44 dolgozatot közölt.





# A MAGENERGIA HASZNOSÍTÁSÁNAK NÉHÁNY IDŐSZERŰ KÉRDÉSE\*

LÉVAI ANDRÁS\*\*

AZ MTA RENDES TAGJA

Ez a tanulmány rövid történeti áttekintés után az alábbi kiragadott, de egymással összefüggő kérdéscsoportokkal foglalkozik: 1. — milyen reális szerepe lehet az atomenergiának Földünk energiaellátásában a következő évtizedekben, figyelemmel a magenergiahasznosítás szempontjából számításba jövő ércek aránylag korlátozott mennyiségére? hogyan lehet e részesedési arányt növelni? 2. — milyen lehetőségek állnak rendelkezésünkre annak érdekében, hogy az energiaellátás biztosításához szükséges beruházások hányadának világszerte növekvő ütemét fékezzük? 3. — milyen társadalmi hatásokkal kell számolni a magenergia fokozott bevetése során? és végül 4. — mi a realitása a magenergiahasznosítás alapvetően új útja, a fúziós energiatermelés sikeres megoldásának? A tanulmány rövid történeti áttekintés és a jelenlegi helyzet ismertetése után fenti kérdéseket behatóan tárgyalva fogalmazza meg válaszait.

## I. Történeti áttekintés és távlat

Amióta EINSTEIN 1905-ben felfedezte a tömeg és az energia ekvivalencia-törvényét, CHADWICK 1932-ben a magok semleges alkotó részecskéit, a neutronokat, Irène és Frédéric JOLIOT-CURIE 1934-ben létrehozta az első mesterséges magreakciót, majd Fermi ugyanezen évben már neutron-reakciókat produkált, SZILÁRD Leó pedig a neutronláncreakció elvére szabadalmat kért és végül HAHN és STRASSMANN 1938-ban kísérletileg is kimutatta a maghasadás lehetőségét, már nehéz, de elvileg egyenes út vezetett az első működő atomreaktorig. Ezt SZILÁRD Leónak a természetes urán üzemanyagú, grafitmal moderált reaktorra vonatkozó, 1939-ben végzett számításai, WIGNER Jenő és társainak tervei alapján FERMI építette meg és helyezte üzembe, 1942. december 2-án, Chicagóban. Az új tanulmány első „gyakorlati” — sajnos pusztító — alkalmazását tudvalevőleg az 1945. év atombombái, Hiroshima és Nagasaki 200 000 halottja jelentették.

Az atombombában lefolyó szabályozatlan láncreakciónak az emberiség békés szolgálatába történő állítása villamosenergiafejlesztés útján tudvalevőleg először a Szovjetunióban, Obnyinszkban valósult meg az 5 MW teljesítőképességű, már villamoshálózatra kapcsolt erőműben 1954. június 25-én. Ezután már gyorsan következtek egymás után a technikai tökéletesítés fázisai. Amíg az első genfi atomenergia értekezlet idején, 1955-ben — ahol először tárltak szélesre az atomenergetikai és az ezt megalapozó neutronfizikai, valamint a kísérő metallurgiai, fizikokémiai, biológiai és egyéb tudományok kapui a szakértői nyilvánosság előtt — még csak 7,4 MW atomerőmű volt üzemben, a második genfi atomenergia értekezlet idején, 1958-ban már mintegy 760 MW, elsősorban prototípusnak nevezhető atomerőmű üzemelt. Ekkor a gyors fejlődés láttán a szakmai nagyközönséget nagy optimizmus töltötte el az atomenergetika jövőjét illetően, de megjelentek már az első tudósítások a fúziós energia hasznosítási elképzeléseiről is.

Az optimizmus a harmadik genfi atomenergia értekezlet idején, 1964-ben ugyan erősen lelohadt az addig épült mintegy 6200 MW atomerőmű költségtüллépesei és különböző kezdeti nehézségei következtében, aminek folytán főként a gazdaságosság volt vitatott, különösképpen az ebben az időben rohamosan terjedő szénhidrogénfelhasználással szembeállítva. A gazdasá-

\* Akadémiai székfoglaló előadás. Elhangzott 1975. június 18-án.

\*\* Prof. Dr. Lévai András, 1022 Budapest, Fillér u. 56.

gösságot javító műszaki megoldások nem késtek és így 1971-ben, a negyedik genfi atomenergia értekezlet táján, sok országban már gazdasági áttörést is lehetett megállapítani, amit az akkor üzemben volt mintegy 26 400 MW atomerőmű is bizonyított.

Ma, másfél évvel az elsősorban a kapitalista világban elég nagy felfordulást okozott, de nálunk is érezhető nyomokat hagyó olajválság kirobbanása után, amidőn már mintegy 65 000 MW atomerőmű van üzemben, józanul senki sem kételkedhetik a maghasadás elvén működő atomerőművek jövőjében, sőt a szakértők nagyrésze ebben az eljárásban látja az emberiség energia-problémáinak végső megoldását. Előrebocsátva, hogy a közeli évtizedekben a hasadási magenergia hasznosításnak szerintünk is meghatározó szerepe lesz, ezt a kizárólagosnak mondható álláspontot hosszú távlatra mégis erős fenntartással kell fogadnunk. Idevonatkozó indokainkat a továbbiakban részletesebben ki fogjuk fejteni. Valószínűnek látszik, hogy 5 év múlva, 1980-ban mintegy  $350\ 000 \div 400\ 000$  MW atomerőmű lesz üzemben, az évezred végére szóló, reálisnak tűnő jóslások pedig  $3,5 \div 5,0$  millió MW atomerőmű teljesítőképességet prognosztizálnak, amely értékkel szembe lehet állítani a világon ma működő összes erőműveknek mintegy 1,3 millió MW-ot kitevő teljesítőképességét. Azaz 2000-re csupán atomerőműből kb. három-négyszer annyi kapacitás várható, mint amennyi hő-, víz- és atomerőmű ma összesen üzemel.\*

## 2. A nukleáris energia lehetséges szerepe az energiahordozók készletei szempontjából

Az atomenergia hasznosítás előnyei közismertek, ezért úgy véljük, elegendő csupán azoknak szinte címszó szerinti felsorolása is. Egy tonna, az atomreaktorba helyezett uránfém ténylegesen kihasznált energiatartalma a ma elsősorban épített reaktorokban megvalósított eljárások útján mintegy 60 000 t olajjal egyenértékű. Ez az arány a ma kifejlesztés stádiumában levő gyorsreaktorokban mintegy  $3 \div 4$ -szeresére növelhető. Amint a későbbiekben még részletesebben kifejtjük, elvileg — de csak elvileg — megvan az arány további lényeges javításának lehetősége, megközelítve az uránérc-koncentrátum elméleti hőegyenértékét, ami mintegy 1,7 millió t olajnak felel meg, 1 tonna uránércre vetítve. Akkor is, ha ez az érték ma még majdnem csak vágyálom, tény, hogy a nagy energiakonzentráció következtében az egyes országok számára az atomenergia fokozott bevetésével az energiahordozók választéka saját készleteiktől, a politikai és külkereskedelmi helyzettől, a szállítási lehetőségektől stb. elvileg nagyrészt függetleníthető, így az erőmű telephelye is sokkal szabadabban választható. Az atommagokban koncentrált energiahordozót könnyen lehet hosszú ideig tárolni, tehát átmeneti energiakrízisek áthidalhatók; a termelt energia gazdaságossága ma már a legtöbb helyen adott.

\* (Újabbán az energiaigények lényeges csökkenése következtében mintegy  $25 \div 30$  %-kal alacsonyabb előirányzatok vannak — Szerző megjegyzése, 1976. II.)

Amint erről még szó lesz, a környezet kémiai szennyezése szempontjából az atomerőművek lényegesen kedvezőbb helyzetben vannak, mert az energiefelzabálás nem veszi igénybe a levegő oxigénjét és nem termel ártalmas gázokat. Az erőmű esztétikai megjelenése is lényegesen kedvezőbb, harmonikusabban illeszkedik a környezetbe, mint a szén- vagy az olajerőmű magas kéményeivel.

A hátrányok is közzismertek. Ide tartozik az erőműben esetleg bekövetkező mechanikai vagy egyéb meghibásodás eredményeként felléphető nukleáris baleset elleni védekezés bonyolult műszaki megoldása és annak jelentős költsége, továbbá a keletkező radioaktív hulladékok szállításának, feldolgozásának és tárolásának még nem tökéletesen megoldott problémája. Elsősorban az újszerű, súlyos, a konvencionális energiahordozóknál nem tapasztalható biztonságtechnikai problémákkal és főként a kapitalista országokban a közvéleménynek káros irányban történt befolyásolásával magyarázható a ma még sokhelyütt tapasztalható idegenkedés az atomerőművek telepítésével szemben. Végül hátránynak számít a környezetnek a konvencionális erőművekénél nagyobb termikus szennyezése a ma leginkább elterjedt típusú atomerőművek esetében.

Annak ellenére, hogy éppen az olajválság következtében még mindig igen súlyos az energiahelyzet, és az atomerőművek gazdaságossága ugrásszerűen javult, az atomerőmű építési program — tipikusan például az Egyesült Államokban és más nyugati államokban — ma sem halad zökkenőmentesen. Ennek okai a helykijelöléssel kapcsolatban már említett nehézségeken kívül az engedélyezési eljárások elhúzódásában és a gyártóművek meghatározott irányú kapacitásának túlterheltségében, sztrájkokban stb. keresendők, aminek következtében egy-egy atomerőmű építése 8 ÷ 10 évig is eltart. A berendezések árának gyors emelkedése, a határidőbizonytalanságok, a beruházási piacon a csökkent mértékű energiefelhasználásból is adódó hitelmezszorítások, itt erősebben éreztetik hatásukat, mint a konvencionális erőműveknél.

Ilyen és ehhez hasonló átmeneti nehézségek régebben is voltak és nyilván a jövőben is lesznek nemcsak atomerőműveknél, hanem másutt is. Ez azonban az általános irányzatot nem befolyásolja, de nem is befolyásolhatja, ha az általános energiahelyzetet vesszük röviden szemügyre az I. táblázat kapcsán, amely Földünk energiakészletét tünteti fel részben az Energia Világkonferencia legutóbbi megjelent évkönyvében foglalt, legmeghízhatóbbnak tekinthető adatok, részben saját, vagy máshonnan átvett számítások alapján. Az összevethetőség érdekében a természetes egységekben megadott kitermelhető (feltárt és valószínűsített) készletek azonos hőléptékre történő átszámítás után arányosítva vannak a fosszilis tüzelőanyagok összességéhez. A táblázat a teljesség kedvéért tartalmazza — mint készletet — a regenerálódó energiahordozóknak 100 évre számított lehetséges termelési adatait is. A fosszilis és a regenerálódó készletekkel most nem foglalkozunk, hanem figyelmünket a nukleáris készletekre és azok hasznosítására fordítjuk.

A ma nyilvántartott, tehát megkutatott és valószínűsített olyan *urán-érckészletek* mennyisége, amelyekből az uránoxidot — a közelmúltban még

## I. táblázat

Kitermelhető (feltárt és valószínűsített) energiahordozók készlete\*

Energiahordozó	Természetes egységben	A kémiai energiahordozók százalékában %		
<b>I. Kémiai</b>				
a) szén	10,6 billió t	78		
b) olaj-, pala-, homok	1,7 billió t	17		
c) földgáz	540 billió m <sup>3</sup>	5		
<b>összehasonlítási alap</b>		100		
<b>II. Nukleáris</b>		(1)	(2)	(3)
a) fissziós				
U—Th ércekben (4)	7,2 millió t	0,7	3	110
tengervízben (5)	40 millió t	4	16	600
földkéregben (6)	300 millió t	30	120	4400
b) fúziós				
deuterium (7)	40 milliárd t	1,7 millió (8)		
lithium (9)	10 millió t	130 (10)		
<b>III. Regenerálódó (11)</b>				
a) víz (12)	10 ezer TWh/év	1		
b) nap (13)	100 ezer TWh/év	10		

\* Ahol a természetes egységekben megadott készleteknél nincs egyéb megjegyzés, azok a WEC Survey of Energy Resources (1974) alapján vannak összesítve.

- (1) Mai termikus reaktorokkal, a kiégett üzemanyag felhasználása nélkül (0,45% anyaghasznosítási fok)
- (2) Termikus és gyorsreaktorok, vegyes rendszerben (kb. 2% anyaghasznosítási fok)
- (3) Elméleti határérték (kb. 75% anyaghasznosítási fok)
- (4) 38 \$/kg fémurán termelési költség alatt
- (5)  $3.10^{-3}$  gU/t, 1% összkihozatal (Mandel becslése)
- (6) 12 gU/t,  $3.10^{-6}$  összkihozatal (Mandel becslése)
- (7) 33 gD/t, 0,1% összkihozatal (saját becslés)
- (8) 50% anyaghasznosítási fok, 50% D + 50% T eljárással
- (9) The Scientific American, 1971. IX. (K. Hubbert becslése)
- (10) Li<sup>6</sup>n, He<sup>4</sup>T-reakcióval számolva
- (11) 100 évre számolva
- (12) A potenciális vízerőművek 25%-os kihasználásával
- (13) Átlagban 0,24 kW/m<sup>2</sup> 0,04%-os kihasználással becsült érték

gazdaságos határértéknek tekintett 38 \$/kg U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> — költséggel lehet kinyerni, mintegy 7,2 millió tonna nagyságrendű. Nyilvánvaló, hogy a geológiailag még nem megkutatott területeken ennél sokkal nagyobb készletek is lehetségesek, de tény, hogy a ma ténylegesen feltárt készlet csak mintegy 2 millió tonna. A mai körülmények között még elfogadhatónak jelzett 60\$/kg U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> költségű urán-, illetve tóriumérczek mennyiségét kb. 10 ÷ 12 millió tonnára becsülik. Táblázatunk tartalmazza a tengervízből ma mintegy 100 ÷ 200 \$/kg költséggel, illetve a sovány földkéregből mintegy 800 ÷ 1000 \$/kg költséggel kitermelhető uránérczek becsült mennyiségét is, amely 40, illetve 300 millió tonna nagyságrendű. (Zárójelben megjegyezve: nagyon valószínű, hogy az olcsónak nevezett érckészletekből termelt uránoxid ára a nemzetközi piacon

az energiahordozók árának növekedésével többé-kevésbé lépést fog tartani, de ugyanilyen irányban hat az uránércet termelő kapacitások már szűkös volta is. A kapitalista országok 1980. évi mintegy 55 000 t uránérc termelésének növeléséhez évente mintegy 100 000, 1985-től kezdve mintegy 150 000 t kapacitású új bányanyitás szükséges. Hasonló a helyzet az izotopdúsító kapacitásoknál is, ahol a következő évtized derekától kezdve várható a szűk keresztmetszetek jelentkezése.)

A készletek nagyságában rejlő és a dolog természetéből adódó nagyfokú bizonytalansághoz járul még az a nagy szórás is, amely a hasadási elven működő reaktoroknál a tömegegységből kinyerhető energiatartalom nagyságában áll fenn a ténylegesen elért, illetve a várható értékek között. Erre utaltunk az előzőkben az olajhőegyenérték kapcsán. Bevezetve az úgynevezett *anyaghasznosítási fok* fogalmát, amelyen a továbbiakban a reaktorban ténylegesen hasznosított hő arányát értjük az érc, helyesebben a koncentrátum elméleti energiatartalmához viszonyítva, ez az arányszám a ma leginkább elterjedt és már említett úgynevezett könnyűvízes típusú reaktoroknál kb. 0,45% csupán. Erre az aránylag rendkívül alacsony értékre épülnek a hasadóanyag készleteknek a táblázat második oszlopában foglalt első aloszlopnak (1) arányszámai. Látható, hogy az urán- és tórium érckészletekben a mai eljárások szerint tényleg hasznosítható energiatartalom a fosszilis készletek 1%-át sem éri el, amely érték a tengervízből, illetve a sovány földkéregből kinyerhető készletek hasznosításával együtt mintegy 4, illetve 30%-ra nő. Még utóbbi, ma még gazdaságtalannak tekintett ércfeldolgozási eljárásokkal elérhető arányok is igen jelentéktelenek és semmiképpen sem támasztják alá az optimizmust, amely szerint a hasadási magenergia végleg megszabadítaná az emberiséget energia-gondjaitól. Igaz, az utóbbi álláspontot képviselők az elvileg kb. 75%-os anyaghasznosítási fokot is lehetővé tevő, tökéletes szaporító reaktorokra gondolnak, de ilyen jelentős értékek összetett atomenergia rendszerekben áttekinthető ideig egyáltalában nem lesznek elérhetőek.

A szemléltetés érdekében az arányosított értékek harmadik aloszlopában (3) mindenesetre jeleztük az így számított elméleti határértékeket is (110, 600, 4400%). A második aloszlopban (2) pedig a századforduló táján, de inkább az után reálisabban várható, 2% körüli anyaghasznosítási fok számításával nyert értékek (3, 16, 120%) vannak feltüntetve. Ezt a problémakört tekintjük a ma talán legfontosabbnak tartott nyitott kérdésnek, amivel a későbbiek során részletesebben fogunk foglalkozni.

A készleteket bemutató számok alapján, de figyelembe véve azt a körülményt is, hogy az atommagok energiáját energiatermelési célokra néhány elhanyagolható nagyságrendű területtől eltekintve — mint pl. a tengeri hajózás — csakis villamos erőművekben tudjuk hasznosítani, viszont az energiaigények ma még nagyobbik részénél — amit a közlekedés, az ipar jelentékeny hányada, a közületi és lakossági közvetlen fogyasztás, a mező-

gazdaság stb. jelent — az atomenergia közvetlen felhasználása nem jöhet számításba, nyugodtan megkockáztathatjuk azt a kijelentést, hogy a magenergia részvétele az évezred vége felé sem fogja meghaladni a világ összes energiafogyasztásának  $40 \div 50\%$ -át.

Fentiekből szinte automatikusan következnek az *energetikai kutatás és a fejlesztés* ama fő feladatai, amelyekre a magenergia hasznosítás tevékenysége irányítandó. Így a közelebbi jövőben

1. — szükséges a villamosenergia — mint közvetítő energiahordozó — felhasználásának minél fokozottabb kiterjesztése annak érdekében, hogy minél több energiafogyasztót lehessen kapcsolni a magenergiahasznosítás útján kiterjeszhető energiakészletekhez. Ilyen szempontból lehet a távolabbi jövő feladatai között említeni a folyékony hidrogén, mint energiahordozó közvetítőközeg felhasználásának széles körű elterjesztését oly módon, hogy a folyékony hidrogén gyártása kezdetben elektrolitikus, később atomerőművekhez kapcsolt nagyhőmérsékletű katalitikus üzemű vegyi művekben történjék. Ezáltal a kommunális és a közlekedési energiafogyasztásban ma még meghatározó szerepet játszó szénhidrogéneket helyettesítő másodlagos energiahordozóhoz lehet jutni;

2. — szükséges egyúttal minél előbb olyan konverter és tenyészreaktoroknak, valamint az ezekből összetett atomerőműrendszereknek kifejlesztése, amelyek a meglévő magenergiapotenciál kihasználását megsokszorozzák anélkül, hogy a meglévő olcsó hasadóanyag készleteket túl gyorsan elhasználnák;

3. — végül, de nem utolsósorban igen lényeges a kutatási tevékenység kiterjesztése a gyakorlatilag tényleg korlátlan mennyiségben rendelkezésre álló fúziós energiatermelés gyakorlati megvalósítása irányában. A fosszilis energiahordozókhoz képest mintegy 20 000-szer több deutérium, mint a fúziós energiatermelés legfőbb alapanyaga, beláthatatlan időkig biztosítja ugyanis a forrásokat.

Igaz, hogy a ma perspektivikusnak látszó  $50\% \text{ D} + 50\% \text{ T}$  szerint lefolyó eljárásához szükséges trícium anyaeleme, a  $\text{Li}^7$  izotop, amely a természetes lithiumnak csupán  $7,4\%$ -a, korlátozó tényezőként hathat, de egyrészt a lithium megkutatottsága sem elég kiterjedt még — így a tengerek vízében is több száz billió tonna lithiumot tételeznek fel, igaz ma még nem ismeretes kinyerhetőségi tényezővel — másrészt egyéb (trícium-) tenyész eljárások is számításba jöhetnek. A táblázatunkban szereplő  $130\%$ -os érték a lithiumnál előző — kedvezőtlen — feltételezéssel számolt.

Fenti — az energiakészletek hasznosítása szempontjából — átfogó jellegű feladatok közül a továbbiakban bővebben csak a második helyen jelzetel, azaz új reaktortípusokkal és atomenergiarendszerekkel foglalkozunk, s csupán végezetül térünk ki röviden a fúziós energiatermelés néhány kérdésére.

### 3. Új atomerőmű típusok kifejlesztése

A tökéletesebb energiahasznosítás kérdése kapcsolódik a ma problematikájának egyik lényeges eleméhez, amely abból adódik, hogy az exponenciálisan növekvő energiaigények kielégítésére teljesítendő *beruházások* az egyes országok nemzeti jövedelmének egyre nagyobb hányadát kötik le. Ezért is igen fontos a beruházási költségek csökkentése egyre nagyobb erőművek és egyre nagyobb reaktor-, illetve gépegységek építése révén. A két cél együttes áttekintése útján előbb a beruházási költségek csökkenését kilátásba helyező *atomerőmű típusokkal* foglalkozunk, majd áttérünk azokra a megoldásokra, amelyek előreláthatóan már a következő években kedvező irányba befolyásolhatják a ma még nagyon rossz hatásfokú, anyagpazarló magenergiahasznosítást.

Kiindulási pontként reaktor-típusok szerint részletezve a II. táblázatban ismertetjük az 1974. év közepén üzemben levő, építés alatt álló és megrendelt erőművi reaktorok számát, együttes és átlagos teljesítőképességét. Amint látható, ma az össze atomerőmű teljesítőképességének csaknem 90%-át a *könnyűvízes reaktorok* adják. Elterjedésüket olyan előnyöknek köszönhetik, amelyeket a többi típusok egyhamar nem tudnak elérni vagy túlszárnyalni. Ilyen előnyök elsősorban a víz-gőz körfolyamattal általában és a vízhűtéssel különlegesen szerzett évszázados ismeretek, a típussal összegyűjtött üzemi tapasztalatok, a jó szabályozhatóság, a nagy fajlagos teljesítménysűrűség, amely aránylag kedvező beruházási költséget eredményez, a meglévő gyártási kapacitás és még több más.

A legnagyobb, 1200÷1300 MW-os egységek ebből a típusból ma már üzemben vannak vagy sorozatosan épülnek. Jóllehet a típus továbbfejlesztésére még számos lehetőség van a reaktorfizika, a hő- és áramlástechnika, az anyag- és gyártástechnológia, az üzemvitel, a szerkezeti megoldások területén, mégis úgy tűnik, hogy a fajlagos beruházási költségeknek elengedhetet-

II. táblázat  
Erőművi reaktorok  
(1974)

Típusa	Száma	teljesítőképessége		
		összesen MWe	%	átlag MWe
Könnyűvízes	380	340 500	88	897
Gázhűtésű	44	17 000	4,4	386
Nehézvízes	32	11 300	2,9	353
Egyéb (víz-grafit, gyors stb.)	44	18 200	4,7	414
Összesen	500	387 000	100	775

lenül fontos folyamatos csökkentése érdekében annyira szükséges további nagyságnövelés ennél a típusnál korlátokba ütközik. A határérték elsősorban a nagyméretű és nagynyomású tartály gyárthatóságából, illetve szállíthatóságából adódik. E típus további hátrányát jelenti az elérhető gőzparaméterekből kifolyólag az erőmű aránylag kis hatásfoka és az eljárásnak az uránérc koncentrátum felhasználására vonatkoztatott, már említett, igen kis, csupán mintegy 0,5%-ot kitevő anyaghasznosítási foka, aminek következményére a későbbiekben még hővebben kitérünk. Így érthető, hogy világszerte foglalkoznak új, az eddigiektől alapjaiban eltérő típusok kifejlesztésével, még a lassított neutronok által bevezetett maghasadás elvén működő, úgynevezett termikus reaktorok területén is.

Az új típusok között első helyen lehet említeni az ugyancsak vízhűtésű, de víz helyett grafit moderálású szovjet *csatorna-típusú reaktort*, amelyből jelenleg 18 egység, kereken 10 000 MW teljesítőképességgel van üzemben, illetve tervezési állapotban, közöttük 1000 MW-os egységek is, 2000 MW-os egységeket pedig már terveznek. Ezen az alapelven épült, több mint 20 éve, az első obnyinszki reaktor, amelynek két fő konstrukciós jellegzetességét, a kényszeráramoltatást megvalósító csatorna-típust és a négyszögletes reaktortartályt a nagy egységek kifejlesztésénél következetesen mind a mai napig átvették. Mivel így a könnyűvízes reaktorok súlyos, szűk gyártási, szállítási és szerelési keresztmetszetet jelentő nyomás alatti tartálya elmaradhat, elérték azt, hogy az egység-teljesítőképességnek gyakorlatilag nincs felső határa. Az elrendezés lehetővé teszi egyes, igen szigorú gyári ellenőrzés mellett épített, azonos felépítésű és méretű egységeknek építőszekrényelven történő egymás mellé sorolását és ezzel akár 3000 ÷ 4000 MW egység-teljesítőképesség elérését is. Az üzemanyagesatornában fenntartott kényszerkeringtetéssel lehetővé válik a nukleáris túlhevítés, ami a konvencionálisokéval megegyező nagy erőműhatásfok elérését eredményezi és így a környezet termikus szennyezését is csökkenti. Az egyes üzemanyagelemeknek üzem közbeni cseréje a reaktor és rajta keresztül az egész erőmű rendelkezésre állási idejét kedvezően befolyásolja és ezzel, itt nem részletezendő okok következtében, javul a reaktor biztonsága is. A reaktor költsége azonban lényegesen magasabb, mint a tartálytípusúé.

A nagy perspektívával rendelkező típusok közé tartozik a *nagyhőmérsékletű gázhűtésű reaktor* is, amely ugyancsak jó erőműhatásfokot, kisebb termikus környezetszennyeződést és kitűnő szabályozástechnikai tulajdonságokat biztosít. A hűtőgáz magas kilépő hőmérséklete lehetővé teszi ennél a típusnál a közvetlen utána kapcsolt hélium-gázturbina beépítését, továbbá a reaktornak ipari hőforrásként való alkalmazását. A héliumhűtésnek külön előnye, hogy a gáz nem korrozív és nem aktiválható. Az egész reaktor a hozzátartozó primerköri segédberendezésekkel, tehát a gőzfejlesztő hőcserélővel, a keringtető kompresszorral és a szükségűhűtőrendszerrel együtt előfeszített



vasbeton köpenyen belül jól elhelyezhető integrált felépítésben. Így a különböző tipizált egységekből felépülő és különböző teljesítőképességű reaktorok azonos üzemanyag- és szerkezeti elemekből építhetők fel, ami nagyobb biztonságú gyártást és üzemet eredményez. A reaktortípus belső biztonsága igen jó, az egység tóriumtenyésztésre is kiképezhető s mint ilyen a szűkebb alapokra helyezett hasadóanyaggazdálkodás szempontjából is fontos lehet. Ezért is sorolta ezt a rendszert az Egyesült Államok atomenergia bizottsága az elsősorban fejlesztendő típusok közé, amire az is jellemző, hogy a nemrég elkészült első 330 MW teljesítőképességű, prototípus egység után azonnal 10, egyenként 1000 MW-nál nagyobb ilyen egységet rendeltek. Igaz, hogy azóta a pénzügyi nehézségek következtében négynek rendelését anullálták, másik négyét későbbre halasztották, de ilyen stornók és halasztások a közelmúltban konvencionális erőműveknél is előfordultak, kisebb mértékben. Valószínű, hogy e típus nagyüzemi kereskedelmi bevetése is csak a 80-as évek elején várható, de hasonló típus kifejlesztésével foglalkoznak a Német Szövetségi Köztársaságban, Angliában és másutt is.

Áttérve az eddig tárgyalt, úgynevezett konverter típusú termikus reaktorokról a *tenyésztípusú gyorsreaktorokra*, röviden érintenünk kell azt a kérdést, hogy miért kellett olyan nagy kutatási és fejlesztési munkával és költséggel előbb — a kezdettől fogva ismertén rossz anyaghatásfokú — termikus rendszereket kifejleszteni, amidőn az ezekben a maghasadásnál felszabaduló neutronok energiáját előbb kb. 100 milliomed részre kell csökkenteni ahhoz, hogy az újabb maghasadás létrejöhessen? A magyarázat az anyagállapot elméletével aránylag egyszerű. Eszerint a neutronok reakcióvalószínűsége a legtöbb anyagnál sebességükkel nagyjából fordítva arányos, ami önmagában is lassú neutronok felhasználására indikál. Ezenfelül azonban fennáll az a sajátosság, hogy a természetben található egyetlen és aránylag könnyen hasadóképes izotóp, az  $U^{235}$ , hasadási valószínűsége, azaz hatáskeresztmetszete a termikus neutronokra kb. 220-szor akkora, mint a 140-szeres mennyiségben előforduló  $U^{238}$ -é. Ugyanakkor a hasadási gyors neutronokra a hasadási hatáskeresztmetszete aránya csak kb. kétszeres, ami a 140-szeres izotóp előfordulási viszonyszám mellett természetes uránnál nem teszi lehetővé láncreakció létrejöttét gyors neutronokkal. Minthogy a kezdeti időkből még nem létezett urándúsítási lehetőség, ezért termikus neutronokat kellett produkálni, mert csak ilyen reaktorral lehetett természetes urán üzemanyaggal önfenntartó láncreakciót elérni, azaz a reaktort kritikussá tenni. Ma már vannak izotóp-dúsítók, ezért a mai termikus reaktorok — a nehésvizes reaktorok kivételével — enyhén dúsított uránnal dolgoznak a kisebb kritikus tömeg és ezáltal csökkentett beruházási költségek elérése érdekében. Amint az előzőekben azonban már szó volt erről, ezek a reaktorok az uránérc energiatartalmát igen rossz hatásokkal hasznosítják, mert az elméleti energiatartalomnak alig 1/2%-át kapjuk vissza a reaktorban felszabadított hő formájában.

Alapvetően fontos tehát olyan reaktortípusok kidolgozása, amelyek lényegesen jobb hatásfokkal hasznosítják az ércek energiatartalmát. Közismerten ezek az úgynevezett *tenyészreaktorok*, amelyek több hasadóanyagot termelnek, mint amennyit elfogyasztanak, a hasadóanyagokban elért, úgynevezett *tenyésztési nyereség* további új reaktorok építése, illetve a már megépített reaktorok üzemeltetése céljából rendelkezésre áll. A tenyészreaktorok többségükben gyorsneutronokkal működnek, részint mert ilyen neutronokra az  $U^{238}$  hasadási valószínűsége nem sokkal kisebb, mint az  $U^{235}$ -é, részint mert a hasadásra nem vezető neutronbefogás az uránból itt is új hasadóanyagot, plutoniumot, illetve tórium tenyészanyag esetén  $U^{233}$ -at termel.

Sajnos azonban, mind a gyors tenyészreaktorok elmélete, mind az eddig megépítettekkel szerzett üzemi tapasztalatok egész sor — eddig még nem kellően tisztázott — fizikai, műszaki és gazdasági problémát vetnek fel, és ezért, amellet, hogy — az egyetlen Kanada kivételével — mindenütt elismerik, hogy ilyen reaktorokra az érckészletek jobb hasznosítása érdekében égetően szükség van, a minden szempontból megfelelő típusok rendelkezésre állásának időpontját tekintve igen eltérő megítélésekkel találkozhatunk a szakirodalomban.

Ha el is tekintünk most a nátriumhűtésű gyorsreaktorok fizikájában ma még nem egészen tisztázott egyes kérdésektől (mint amilyenek pl. a neutronok spektrális eloszlása a különböző energiákon, az ezekhez tartozó hatáskeresztmetszetek nem kellő ismerete, az ezzel is összefüggő biztonságtechnikai aggályok stb.), és ha eltekintünk továbbá a még kellően át nem tekinthető beruházási költségtételektől és így figyelmünket kizárólag az uránérckészletek gazdaságos kihasználására fordítjuk, akkor a probléma lényege abból adódik, hogy az eddig épített folyékony nátriumhűtésű gyors reaktoroknál a számítások szerint legalább  $14 \div 15$  év szükséges ahhoz, hogy egy reaktor nyereségként megtermelje azt a hasadóanyag mennyiséget, amely az elfogyasztottal azonos. A valóságban még ennél is nagyobb,  $18 \div 20$ , sőt — az egész üzemanyagciklusban lekötött mennyiségeket tekintve — esetenként inkább  $20 \div 25$  év úgynevezett *kettőzési idő* adódik. Amint még látni fogjuk ez az idő túlságosan hosszú az atomerőművek teljesítőképességének az elkövetkező 10 évben várható,  $3 \div 5$  év közötti, kettőzési idejével szemben, különösen ha figyelembe vesszük azt a körülményt is, hogy a gyorsreaktorok nagy dúsítású üzemanyagot igényelnek és ezért az indításhoz szükséges uránérc fogyasztásban a beruházás szempontjából is kedvezőtlenek.

A *gyorsreaktoroknak* a jobb üzemanyaggazdálkodás érdekében történő *fejlesztését* alapvetően *befolyásoló, legfontosabb tényezők* az alábbi csoportokba oszthatók;

1. igen lényeges a reaktorba helyezett üzemanyag fajlagos hőterhelése, ami befolyásolható a fűtőelemek anyagának (fém, oxid, vagy karbid), szerkezeti megoldásának és a hűtőközegnek (folyékony fém, nemesgáz, disszociáló gáz) megválasztásával;

2. hasonlóképpen fontos a reaktorban elhelyezett hasadóképes anyag ( $U^{235}$  és vagy Pu) fajlagos mennyisége, valamint a mag és a tenyészköpeny geometriai mérete, pl. az utóbbi vastagsága, szerkezeti megoldása;

3. fontos az az időtartam is, amely alatt a reaktorban besugárzott és az új hasadóképes anyagot is tartalmazó fűtőelem a hasadóanyag kivonása és újrafeldolgozása céljából a reaktoron kívül tartózkodik, ami ma több évet jelent.

Jelenlegi ismereteinket fenti kérdéscsoportokra irányítva úgy tűnik, hogy a gyorsreaktorokat fejlesztő eddigi hagyományos úton nemigen lehet

III. táblázat  
Gyors tenyésztőreaktorok jellemzői

Alvá- tozat jele	Hűtés	I. töltet		Évi fogyasztás 0,2% U <sup>235</sup> t/GWe, év	Évi tenyésztési nyereség Pu t/GWe, év	Kettőzé- si idő év
		Pu t/GWe	0,2% U <sup>235</sup> t/GWe			
1	2	3	4	5	6	7
a	folyékony fém	2,5	60	1,25	0,17	14,7
b	folyékony fém	1,25	30	1,25	0,17	7,4
c	gáz	1,25	30	1,25	0,37	3,7

a kívánt rövid, legfeljebb 4÷6 éves kettőzé-  
si időt elérni. Szükséges tehát új  
utakat keresni, mert nem látszik böles dolognak, ha a hasadóanyag-gazdálkodás  
szempontjából annyira nélkülözhetetlen tenyésztőreaktorok megoldását kizáró-  
lag az eddigi módon alkotott szerkezetekben, tehát az oxid- vagy karbid üzem-  
anyagú, folyékony nátriummal hűtött reaktorokban látjuk. Igaz, hogy azon-  
nal kiegészül problémacsoportunk a negyedik kérdéssel: mikor lehet számolni  
kereskedelmileg is versenyképes gyorsreaktorokkal? Amint látni fogjuk, a  
szükséges időpont a minél korábbi, a lehetséges pedig inkább a 80-as évek  
második fele.

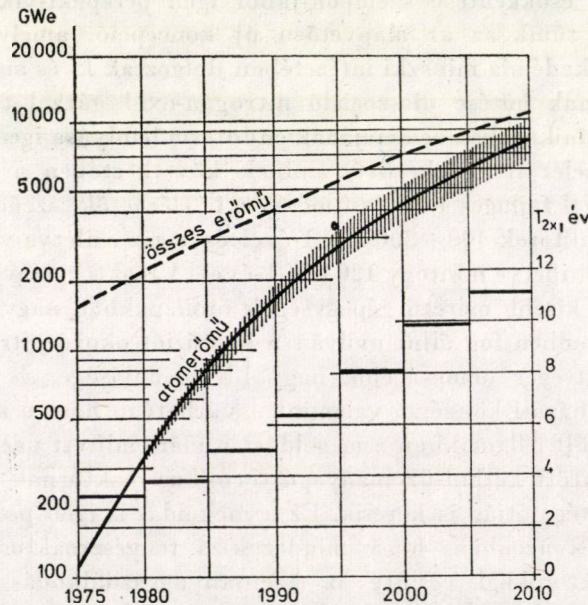
Tény, hogy a vezető ipari országok nagy erőfeszítéssel dolgoznak a Na-  
hűtésű gyors reaktorok tökéletesítésén. De emellett a feltett kérdések első  
két csoportjának, azaz a reaktorba helyezett fajlagos üzemanyag töltet  
mennyiségének csökkentése szempontjából igen perspektivikusnak és nagy  
jelentőségűnek tűnik az az alapvetően új koncepció, amelyet a Bjelorusz  
Tudományos Akadémia minszki intézetében dolgoztak ki és amelynél a gyors-  
reaktor magjának hűtése disszociáló nitrogén-oxid gázzal történik. A gáz  
kétfokozatú termikus disszociációjának endoterm lefolyása igen nagy hőmeny-  
nyiségek felvételét teszi lehetővé, aminek következtében a reaktormagban  
1000÷1500 kW/l fajlagos hőteljesítmények is elérhetők, szemben a nátrium-  
hűtésű gyorsreaktorok 400÷800 kW/l-ével és a gáz-, illetve vízhűtésű termi-  
kus reaktorok 5, illetve mintegy 120 kW/l-ével. A reaktor nagyobb biztonsága,  
az alkalmazott kisebb méretű gépegyeségek önmagukban nagy előnyt jelente-  
nek, amivel szemben fog állni nyilván a korróziót okozó nitrogénoxid miatt  
beépítendő költséges nemesacélok nagyobb mennyisége, és így a reaktor  
magasabb beruházási költsége, valamint a várhatóan hosszú kifejlesztési idő.

Az Egyesült Államokban a megoldást a már említett nagyhőmérsékletű,  
nemesgázzal hűtött karbid-üzemanyagú termikus reaktornak tenyészköpeny-  
nyel való kiépítése útján is keresik. Ez a megoldás is igen perspektivikusnak  
tűnik. Lényeges azonban, hogy mindezek a tenyésztőreaktorok a termikus  
konverter reaktorokkal együtt az üzemanyag-gazdálkodás szempontjából  
valamilyen atomenergia rendszert fognak képezni. A gyors reaktorok jellem-  
zőit a III. táblázatban mutatjuk be.

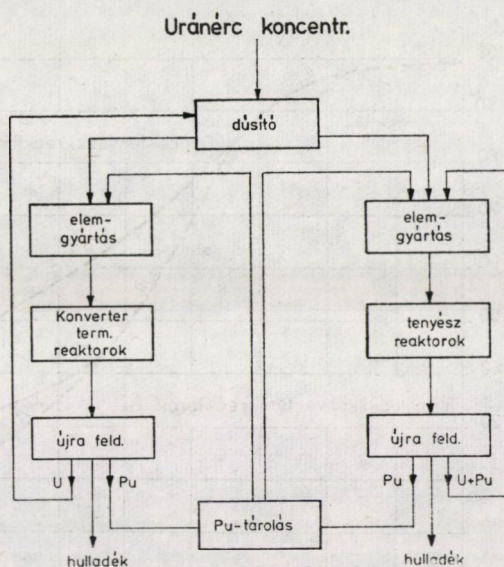
#### 4. Atomenergia rendszerek

Egy ilyen rendszer vizsgálatánál kiindulhatunk az atomerőmű teljesítőképességeknek a közelebbi, valamint a távolabbi jövőben várható — az előzőekben már vázolt — fejlődéséből, amit a 2010. évig a különböző becslések szórásának feltüntetésével, a további számítások érdekében pedig megfontolás alapján felvett középértékkel érzékeltetünk az 1. ábrán, megjelölve egyúttal az összes erőművi teljesítőképességek felfutását, valamint 5 évenként az atomerőművek kapacitásának exponenciálisan számított kettőzési idejét is. Aránylag egyszerűen kiszámítható, hogy ha mostantól kezdve csak a jelenleg ismert, az uránérc energiataralmának kihasználása szempontjából rossznak nevezhető, pl. könnyűvízes típusú reaktorokat építenénk, az I. táblázatban közölt, mintegy 7,2 millió t-val jelzett uránérckészlet az évszázad végéig elfogy. Akkor is, ha — amint már említettük — egy ilyen adatnak nem tulajdonítunk túl nagy jelentőséget, biztos, hogy a készletek jobb hasznosítása érdekében mindenképpen szükség van tenyészreaktorokra.

Egy ilyen, konverter- és tenyészreaktorból álló atomerőmű rendszerben a hasadóanyag nem egyszer halad keresztül, hanem üzemanyag ciklusok léteznek, amelyek során mind a konverter, mind a tenyészreaktorokban termelt új hasadóanyagot (egyszerűsített esetben a plutóniumot), továbbá a részben kiégett uránt újrafeldolgozás (reprocessálás) után ismételtelen felhasználják.



1. ábra. Erőművek és atomerőművek várható teljesítőképessége (GWe) és az atomerőművek kétszerződési ideje ( $T_{2x}$ )



2. ábra. Üzemanyag-ciklusok egyszerűsített vázlata

Egy ilyen rendszer egyszerűsített vázlata, amely a további vizsgálatok alapjául szolgált és, amelyre a matematikai programozás épült, a 2. ábrán látható.

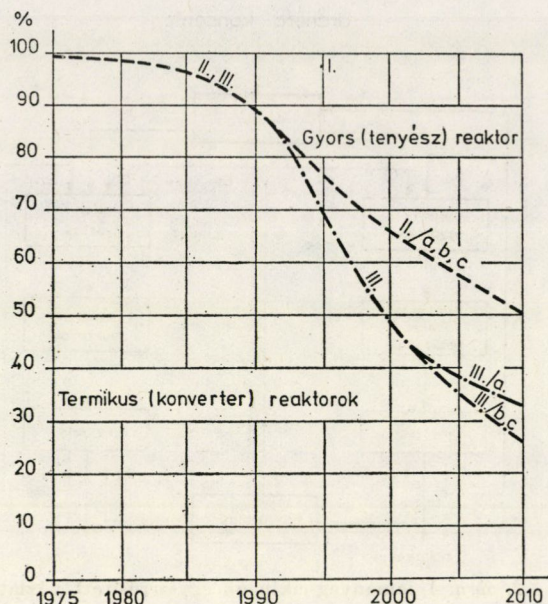
Annak érdekében, hogy az egyes reaktortípusoknak az uránércfogyasztásra gyakorolt hatását megítélhessük, a Hőerőművek Tanszéken az alábbi *rendszerváltozatokat* vizsgáltuk közelebbről:

**I. változat** — az összes atomerőmű végig nyomottvizes reaktortípussal (PWR) épül, tenyésztőreaktor építés nincs (alapváltozat).

A további változatoknál gyors-tenyésztőreaktorok beépítésével is számoltunk oly módon, hogy teljesítőképesség-felfutásuk az összes atomerőmű kapacitásának kezdetben — reálisan — csak kis hányadát adja (1974-ben a tényeknek megfelelően kb. 1%, 1981-ben 2%, 1985-ben 4%, 1990-ben 10,5%). 1990 után a figyelembe vett változatok két fő csoportra oszlanak az atomerőmű építési kapacitás átállításának két feltételezett módozata szerint.

A **II. változat** esetén feltételezzük, hogy 1990 után nem növeljük évente az újonnan építendő nyomottvizes reaktorok mennyiségét, hanem az addig elért, mintegy 140 000 MWe/év gyártókapacitást fenntartva, a további szükséges atomerőmű kapacitást gyors tenyésztőreaktorokkal építjük, a termelt új hasadóanyagot, valamint a soványított uránt pedig — amennyire az igények azt egyáltalán szükségessé teszik — újra felhasználjuk.

A **III. csoportba** tartozó változatok a II. csoportba tartozóktól annyiban térnek el, hogy ezeknél 1990 után évente mintegy 25%-kal csökkenne a megépítendő nyomottvizes reaktorok teljesítőképessége, tehát ezek igen gyors tenyésztőreaktor felfutással számolnak. (Itt meg lehet jegyezni, hogy a valóság



3. ábra. Üzemben levő atomerőmű teljesítőképességek feltételezett megoszlása (%)

előreláthatólag a két szélsőségnek tekinthető csoport, azaz a lassúbb gyorsreaktor-felfutással jellemzett II-es és a gyorsabb felfutással jellemzett III-as csoport között lesz.)

A II. és III. csoportokon belül figyelembe vett *változatok*:

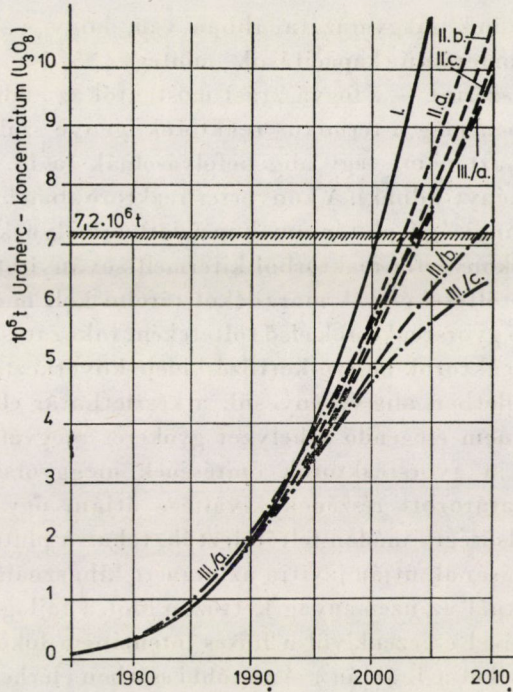
a) olyan folyékony fémhűtésű gyorsreaktorok létesülnek továbbra is, amelyeket ma a Szovjetunióban, Angliában, Franciaországban és másutt építenek, illetve amilyenek ezekben az országokban üzemben vannak;

b) a folyékony fémhűtésű gyors tenyészreaktorokat továbbfejlesztik annak érdekében, hogy fajlagos hasadóanyag töltetük (kg Pu/GWe) kb. fele akkora legyen, mint az előző, a)-val jelzett esetben;

c) a kisebb fajlagos hasadóanyag tölteten kívül az új hasadóanyag termelési sebessége megkettőződik, azaz a már említett kettőzési idő is felére csökken, ami — mai ismereteink szerint — előreláthatólag csak a már említett disszociáló gázzal, vagy a nagyhőmérsékletű héliummal hűtött tenyészreaktorokkal érhető el.

Az összes szükséges (meglevő és a tárgyévben épített) atomerőmű teljesítőképességnek a konverter és a tenyészreaktorok közötti százalékos megoszlása 1975–2010 között a fenti változatoknak megfelelően a 3. ábrán látható.

Az egyes változatok számításánál alapul vett gyors tenyészreaktor-jellemzőket a III. táblázat, a felvételek magyarázatát a *Függelék* tartalmazza.



4. ábra. Összesített uránérc-koncentráció fogyasztás

Számításaink mindig az uránérc koncentráció mennyiségéig terjednek ki, azok tehát magukban foglalják a reprocesszási veszteségeken kívül (esetenként 0,5%) az izotópdúsítók energiaigényét (kb. 2500 kWh/kg szétválasztási munkaegység), továbbá az izotópdúsításnál keletkező 0,2%  $U^{235}$  tartalmúnak feltételezett hulladékokat is. A termikus reaktorokban felhasznált 1 t, különböző izotópokból összetett Pu-ot 0,64 t  $U^{235}$ -tel vettük egyenértékűnek.

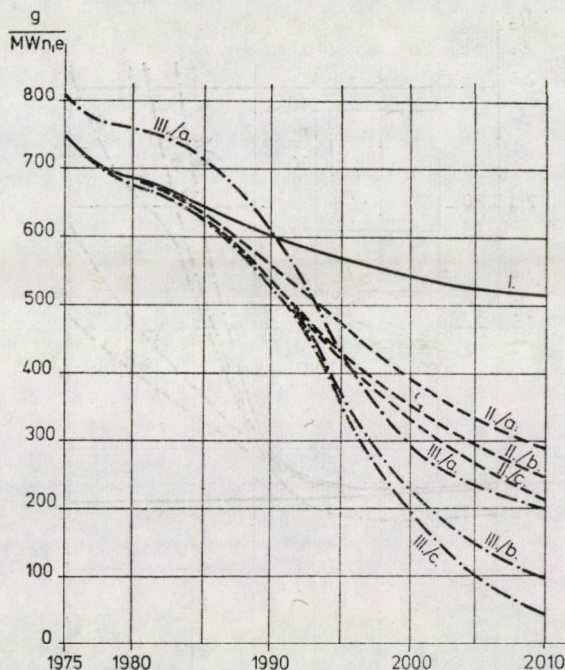
Annak tudatában is, hogy a felhasznált számítási alapadatok és feltételezések egyike-másika támadható, a kitűzött cél, a rendszerhatásoknak nagyságrendileg helyes megítélése, jól követhető ezzel az eljárással, mert a felépített rendszerekre most már meghatározható az összesített uránérc koncentráció fogyasztás a 4. ábra szerint. Berajzolva a készlet táblázatunkban alapul vett 7,2 millió tonna érckészletet, az adódik, hogy ez a — valóságban nyilvánvalóan ily határozottan nem ismert — határérték az alapváltozat esetén (I., csupán termikus konverter reaktorok építése) a 2000. év körül kimerülne. Az eredmény alig változik, a készlet kimerülési ideje csak néhány évvel hosszabbodnék meg, ha 1990 után nem növelnők tovább az évente építendő termikus — konverter reaktorok mennyiségét, hanem megmaradnánk az addig elért 140 000 MWe/év szinten. (Lásd a II. csoport görbéit.) Ezen belül a gyors-tenyésztőreaktorok típusának javítása sem változtat érdemlegesen

az eredményen, aminek magyarázata abban van, hogy — jóllehet a 2000. évben építendő atomerőmű kapacitások mintegy 35%-a tenyészreaktoros lenne már a 3. ábra szerint — a fogyasztást mostantól az addig hátralevő  $2 \div 3$  évtizedben lényegében még a termikus reaktorok igénye szabná meg, a gyors reaktorok jellemzői azt nem, vagy alig befolyásolnák (a II. a-b-c változatok szinte azonos eredményt adnak). A konverter-reaktorokban időközben ugyanis több ezer tonna mennyiségű plutónium képződött, amelynek csak egy részét lehet felhasználni a konverter reaktorból kitermelt soványított uránnal együtt a tenyészreaktorok tölteteként. A maradékot tárolni kell mindaddig, amíg az az újonnan építendő gyorsreaktorok első tölteteként fokozatosan felhasználásra nem kerül. A gyorsreaktorok hosszú-kettőzési ideje következtében a tenyésztés kedvező hatása kezdetben alig érvényesül, a készlethatar eléréséig hátralevő aránylag rövid idő nem elegendő a helyzet gyökeres megváltoztatásához.

Világos, hogy a gyorsreaktorok építésének meggyorsítása a termikus reaktorépítés meghatározott részének kiváltása útján, úgy mint azt a III. változatnál elég szélsőséges módon feltételeztük, tehát a plutonium tartalékok gyorsabb felhasználásának útján javítja az uránérc kihasználást, főként akkor, ha a gyorsreaktoroknál az üzemanyag kettőzési időt a fajlagos töltet mennyiségének csökkentésével és ezenkívül a hűtés intenzitása fokozásával javítjuk. (Lásd III. b-c- görbéket a 4. ábrán.) Az utóbbi esetben elérhető, hogy az összes uránérc felhasználás aszimptotikusan közeledik egy határérték felé, ami feltételezéseink mellett a 7,2 millió tonna érc közelében fekszik. Ekkor tehát a tenyészreaktorok már megtermelnék azt az üzemanyagmennyiséget, amely mind a meglévő konverter termikus reaktorok üzeméhez, mind a rendszerben létesítendő új reaktorok első töltetéhez szükséges lenne. Az atomerőművek tehát nem igényelnének új ércet mindaddig, amíg a felhalmozott Pu és a soványított uránkészletek el nem fogynak. Ezen időpont után annyi uránércet kellene csak kitermelni, hogy a konverter reaktorok és a tenyészreaktorok termelése egyensúlyban legyen. Ez azonban igen távoli jövő kérdése.

Az egyensúly felé haladva az első lépés, az uránérc-termelés lehetséges visszafogása feltételezéseinkkel számolva a választott tenyészreaktorok karakterisztikájától és azok részarányától függően 2000 és 2030 között következhetnék be. Nyomatékosan hangsúlyoznunk kell azonban, hogy csak abban az esetben, ha legkésőbb egy évtizeden belül olyan gyors-tenyészreaktorokat tudnak kifejleszteni és kereskedelmi léptékben építeni, amelyek kettőzési ideje  $4 \div 6$  év nagyságrendben van. Amint említettük, jelenlegi tudásunk szerint ilyennek csak a szovjet disszociáló gázhűtésű, valamint az amerikai nagyhőmérsékletű, gázhűtésű tenyészreaktor ígérkezik, de egyik sem áll ma még rendelkezésre. A mai úton továbbhaladva, tehát a termikus reaktorok nagymérvű építésével számolva és a jó tenyészreaktorokkal késve, az üzemanyagellátásban olyan torzulás következhetik be, amely évtizedekkel hátrálathatja, esetleg teljesen lehetetlenné is teszi az egyensúlyi állapot elérését,

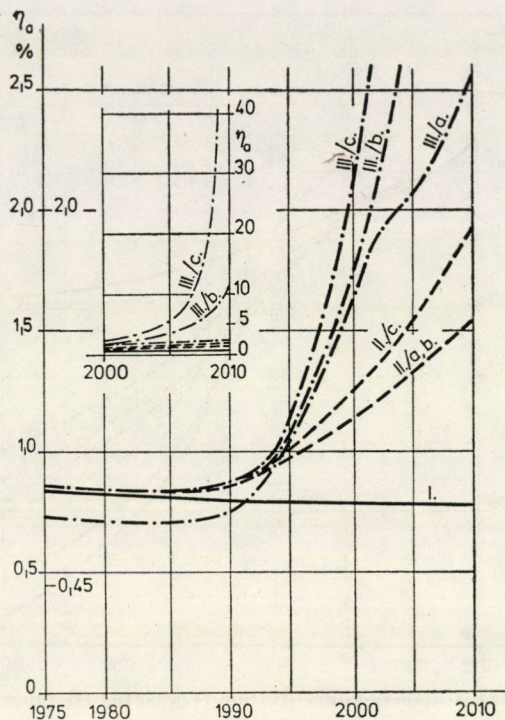




5. ábra. Fajlagos uránérc-koncentráció fogyasztás (Beruházás + üzem)

miközben a másik oldalon az érckészletek korlátozott volta azok korai kimerülését okozhatja. Nagyságrendileg nagyobb uránérckészletek esetén (tengervíz, földkéreg) a határfeltételek műszakilag természetesen kevésbé súlyosak, a nehézség azonban a gazdaságosságra helyeződik át.

Az előzőekben kifejtetteket jól szemlélteti az az ábrázolási mód, amelynek segítségével az atomerőműben fejlesztett villamosenergia egységének termeléséhez szükséges fajlagos uránérc koncentráció mennyiségét (g/MW<sub>nape</sub>) tüntetjük fel, beleszámítva az első töltet beruházásához szükséges mennyiséget is (5. ábra). Látható, hogy amíg az alapváltozat fajlagos uránércfelhasználása 2000 után kb. 500 g/MW<sub>nape</sub> körül stabilizálódik, addig a II. változat értékei a vizsgálat határául szolgáló 2010 év körül kb. fele akkorák és a későbbiekben is erősen csökkennek, a III. változat esetén pedig a vizsgált alváltozattól függően még ennél is kisebbek (50 ÷ 100 g/MW<sub>nape</sub>). Itt külön említést érdemel a III/a. változat görbéjének különleges lefutása, ami azzal magyarázható, hogy a nagy kettőzési idejű tenyészreaktorok erőltetett, azaz gyorsított ütemű felfuttatása az első évtizedekben, első töltétként, igen nagymennyiségű olyan új hasadóanyagot igényel, amelynek Pu fedezete a termikus reaktorok termeléséből még nincs meg annak ellenére, hogy ennél a változatnál nem is számoltunk ott Pu-recirkulációval. Így a gyorsreaktorok hiányzó Pu<sup>135</sup> töltetét izotóp dúsítókból, azaz közvetve uránércből kell termel-



6. ábra. Anyaghasznosítás foka

ni, aminek következtében ilyen gyorsreaktoros program futtatása esetében kb. 15 évig több uránércre van szükség, mintha csak könnyűvízes reaktorok épülnének. Később a fajlagos uránérc felhasználás erőteljesen javul, de 2000 után az egyensúly érdekében csökkenteni kell a tenyésztő reaktorok százalékos mennyiségét a III. csoportba tartozó kisebb töltet igénylő két változathoz képest (lásd. 3. ábra III/a, illetve III/b-c vonalát).

Az előző adatokból aránylag könnyen kiszámítható az *anyaghasznosítási fok* is, amelyen — mint már említettük — a reaktorban az uránérc elméleti energiatartalmának egységére eső hőtermelést értjük. Ez az érték tehát már csupán az üzemvitelre jellemző és nem tartalmazza az első töltet beruházásához szükséges, valamint az egyéb módon lekötött mennyiségeket. A 6. ábra szerint az anyaghasznosítási fok a mai konverter típusú termikus reaktorokban a soványított urán és a plutónium részleges visszakeringetésével számolva csupán 0,75% körüli érték, javulása az elmondottak értelmében csak atomenergiarendszerek beiktatása útján várható.\* A bevezetőben bemutatott

\* Az I. táblázatban feltüntetett 0,45%-os értéknél, amely kb. 30 000 MWnaphó/t-nak felel meg, a recirkuláció nincs figyelembe véve.

készletláblázon szereplő 2%-os anyaghasznosítási fok igen jó, új típusú gyors-tenyészreaktoroknak közeli építésével számolva is csak 2000 után várható. Az egyensúlyi rendszerhez tartozó elméleti határérték, amely a veszteséget figyelembe véve 75% körül van, legjobb esetben is csak olyan távoli jövőben állhat be, amelyre már semmiféle prognosztikai becslés sem kockáztható meg.

Természetes, hogy mindezekben a számításokban rendkívül sok az elhanyagolás és a tévedési lehetőség. Így eltekintve attól, hogy az egyes reaktor-típusok kettőzési idejének számításában előforduló fizikai állandók nem ismertek (pl. a hatáskeresztmetszetek nagysága az egész neutronspektrumra vetítve), továbbá a még nem létező reaktorok szerkezeti megoldása és sok más kérdés nem eléggé feltárt, a közbenső tárolások és szállítások, a dúsítás, az üzemanyaggyártás, a reprocesszió, a reaktorindítás, a besugárzott üzemanyagok hűtése, a plutonium-kivonás, az újabb üzemanyag gyártás stb. időtartama is lényegesen befolyásolják az eredményeket. Megbízható adatok a fajlagos töltetre csak a ma ismert folyékony fémhűtésű reaktorokra találhatók, a disszociációs gázhűtésűre, vagy a héliummal hűtött nagyhőmérsékletű gázreaktorokra még nincsenek ilyen adatok.

Bizonyos, hogy az egész tenyészreaktor-program és az azon alapuló üzemanyag ciklusok vizsgálata még nagyon elmélyült kutatási és kísérleti munkát igényel, mielőtt a tenyészreaktorok jelentőségének kvantitatív megítélésére megbízható és véglegesnek tekinthető értékítéletet lehetne mondani. Ma azzal számolnak, hogy a jelenleg kereskedelmileg is versenyképes gyorsreaktorok a következő évtized közepén vagy inkább annak vége felé fognak az erőműipar számára rendelkezésre állni. Az előbb elmondottakból következően féltő, hogy ezek részint túlságosan későn jönnek, részint nem is felelnek majd meg mindenben az atomenergia-rendszerekkel szemben támasztott követelményeknek. Az addig termelt nagymennyiségű új hasadóanyag illetéktelen felhasználásából eredő potenciális veszélyt a közvélemény — talán nem is egészen indokolatlanul — igen súlyosnak tartja, hiszen már 1980-ban kb. 20 000 atombombához elegendő olyan plutónium lesz az erőművekben besugárzott üzemanyagokban, amelynek kinyerése és feldolgozása egy nem túlságosan nagyméretű vegyi üzemben ma már ismert eljárásokkal aránylag nem is túl nehezen megoldható. A felhalmozott plutóniumkészletet csak a konverter reaktorok építésének egyre csökkenő és a tenyészreaktorok bevetésének egyre növekvő ütemű folytatásával lehet majd elfogyasztani, amíg végül — nagysokára — bekövetkezhetik az előbb vázolt egyensúlyi állapot és ezzel az energetikailag ideálisnak nevezhető, 100%-ot megközelítő uránérc-hasznosítás.

A jelenleg ismert, vagy gazdaságosan elérhető uránérckészletek azonban előreláthatóan jóval előbb elfognak. Könnyen elképzelhető, hogy a fúziós energiatermelés lehetőségei is hamarabb tisztázottak lesznek, és ezért ekkor

az energiakészletek szempontjából amúgyis korlátozottnak tekinthető hasadóanyagok felhasználása helyett a fúzióra alkalmas anyagok és eljárások irányában kell majd a megoldást keresni.

### 5. A magenergia hasznosítása és a környezet

Mielőtt a fúziós energiatermelés lehetséges távlatait áttekintenők, vessünk röviden egy pillantást a fokozott mérvű magenergiahasznosításnak az emberi környezetre gyakorolt hatására. Újabban — az atomerőművek gyors elterjedésével kapcsolatban — véleményünk szerint indokolatlanul sokat beszélnek a környezet radioaktív szennyeződésének veszélyéről. A meghibásodásból vagy szándékos rongálásból eredő potenciális veszély lehetőségét természetesen nem lehet és nem szabad tagadni, hiszen az minden műszaki létesítménynél fennáll. Az ellene való védekezés módjai azonban ismertek és alkalmazottak. Ennél sokkal lényegesebb az az üzemszerűen kibocsátott radioaktivitás, amelyet egyes nemesgázok vagy halogénelemek, esetleg egyéb gázok vihetnek magukkal. Főként a kiegészítő üzemanyagok újrafeldolgozásakor felszabaduló krypton 85, valamint az esetleges reaktorbaleseteknél kilépő jódtól 129 és 131 jöhetnek itt számításba. Ellenőrző számítások szerint aránylag a legnagyobb sugárterhelést a környezetben az aránylag hosszú felezési idejű krypton 85 jelenti, de mennyisége a 2000-ik évre felvett mintegy 5 millió MWe atomerőmű mellett is megengedett dózis 3/1000-ed részét eredményezné csupán. Ilyen nagyságrendben lehet a jódfertőzés is, a tríciumé ennél még sokkal kisebb. Tény viszont, hogy a ma üzemelő mintegy 65 000 MWe atomerőmű környezetében — tehát a rövid élettartamú izotópokat is beleértve — sehol sem mértek a természetes háttérnél  $1 \div 2\%$ -kal nagyobb sugárterhelést jöllehet a ma érvényes — igaz, több szempontból vitatott — normák  $70\%$ -ot engednek meg.

Összehasonlítva az atomerőművek által okozott radioaktív szennyezéseket a konvencionális üzemanyagú erőművek által kibocsátott szennyezésekkel, nyugodtan megállapíthatjuk, hogy ha csupán a 2000. évre számításba vett atomerőművek helyett pl. olajtüzelésű erőműveket építenének, egyedül a kéndioxid hatására bekövetkező szennyezés a toleranciadózist az egész világon sokszorososan túllépné, nem is beszélve a ma már megengedhetetlennek minősített lokális, vagy regionális effektusoktól. Földünk oxigén háztartása szempontjából egyáltalán nem közömbös, hogy atomerőműveknél a hígító levegő mennyisége mintegy milliomodrésze csupán a fosszilis üzemanyagú erőműveknél a füstgázok hígításához felhasznált levegőnek. Ezzel szemben elviselhető hátrányt jelent, hogy a környezet hőszennyezése ma még — legalább is a legelterjedtebb nyomottvizes típusoknál — mintegy  $40\%$ -kal nagyobb, mint a korszerű hőerőművek esetében. Mellesleg nagy előnye lehet

még az atomerőműveknek, hogy éppen kisebb környezetszennyező tulajdonságuk folytán nagy városok távfűtésére, esetleg távhűtésére jól alkalmazhatók lesznek, amely esetben elesik a hőszennyezés-többletükből adódó hátrányuk is, sőt a veszteség hő felhasználása kb.  $70 \div 80\%$  energiamegtakarítást is hozhat. Nem 100%-osan megoldott kérdés továbbá a kiégett üzemanyagok és egyéb radioaktív hulladékok biztonságos tárolása sem. Az idevonatkozó kutatások és kísérletek azonban nagy erővel folynak az egész világon, és ma már kirajzolódnak azok a biztonságos tárolási lehetőségek, amelyek nem technikai problémát, hanem gazdasági feladatot jelentenek. Nem hallgatható el azonban e helyen, hogy a kiégett üzemanyagok újrafeldolgozó kapacitása már ma sem elégséges a világon, a hiány néhány éven belül aggasztó méretű lesz, és egyes szakértők szerint a magenergiahasznosítás kiterjesztésének korlátozó tényezője lehet.

## 6. A fúziós energiatermelés távlatai

Áttérve a fúziós energiatermelésre, az I táblázatban közölt adatokból, valamint az eddig elmondottakból következik, hogy az emberiség energia-gondjainak végső megoldását csak az új, jelenleg még csak elvileg kidolgozott eljárással, egyes könnyű atommagok igen magas hőmérsékleten történő egyesítésével, azaz fúzió útján lehet megtalálni. A kérdés jelentőségét jól érzékelteti, hogy minden vízben — így a tengervízben is — kb. 1:5000 arányban jelen van az a nehézvíz is, ami a fúziós eljárás alapanyaga. Kiszámítható, hogy ennek felhasználásával minden kg közönséges víz energiataralma kb. 300 kg nyersolaj energiataralmával egyenértékű. Az eljárás elvileg ismert, azonban a műszaki megvalósíthatóságot eddig még nem sikerült bizonyítani. Ha ez lehetséges lesz — ami a szakemberek számítása szerint kb. 10 éven belül várható — akkor olyan reaktor szerkezetet lehet majd kezdeni konstruálni, amely abszolút biztonságot nyújt az elvileg is kizárt nukleáris robbanással szemben és, amelynél a reaktortartályban koncentrált radioaktivitás mechanikai meghibásodás esetén sem jelent gyakorlatilag a környezet szempontjából veszélyt. Az üzemszerűen kibocsátott radioaktivitás mennyisége pedig nem nagyobb, mint a hasadási elven működő megreaktoroknál, amely, mint láttuk, elhanyagolható. Az eljárás nem termel olyan nukleáris robbanóanyagot, amilyen a fissionális reaktoroknál az aránylag könnyen kivonható és terrorcselekményekre alkalmas plutónium. Mindeme előnyökkel szemben áll — azon kívül, hogy az eljárás ma még műszakilag nem bizonyított — egész sor nehéz műszaki probléma. Ezek közül csak néhányat sorolunk fel:

— az egyik, legesélyesebbnek tűnő eljárásnál, a termonukleáris fúzió-nál a plazma középponti, nagyságrendben  $60 \div 80$  millió  $K^\circ$  hőmérsékletét csupán néhány méter távolság választhatja el az összetartó mágneseknek az abszolút nullpontot megközelítő hőmérsékletétől,

— a plazmát összetartó mágneses nyomás létrehozására kb.  $50 \div 150$  kG nagyságú térerőre van szükség, miközben az egyes mágnestekercsek között 100 000 Mp nagyságrendű erők lépnek fel,

— a szerkezeti anyagokat kb. tízszer akkora erősségű intenzív neutron-sugárzás éri majd, mint a hasadási reaktorokban,

— egészen újszerű szerkezeti megoldásokra lesz szükség a plazma fel-fűtése, az új üzemanyag bevezetése, a salaknak számító héliumgáz elvezetése, a reaktor szabályozása és irányítása stb. érdekében.

Más típusú, pl. mágneses tükrös, vagy lézeres fúziós eljárásoknál más nehézségek vannak. De azt hisszük, hogy a csak címszavakkal jelzett problémák is utalnak arra, hogy a fúziós reaktor rendkívül költséges beruházású lesz, várhatóan igen alacsony üzemköltséggel. A mindenképpen nagyhőmérsékletű eljárás révén a plazma-reaktor jól lesz kapcsolható a nagyhőmérsékletű katalizációs elven működő, folyékony hidrogént gyártó művekhez, aminek következtében új, könnyen szállítható és tárolható energiahordozóhoz jut az emberiség. Ez egyrészt elégetésével nem szennyezi a környezetet, másrészt az összenergia-igényeknek a hasadási magenergia útján nem elérhető második felét is hozzáférhetővé teszi az új források számára.

A legújabb szakirodalmi tájékoztatások szerint komoly eredménnyel kecsegtetnek azok a vizsgálatok, amelyek értelmében a fúziós reaktorok fent felsorolt előnyeit a neutronlassító köpenyben elhelyezett urán vagy tórium üzemanyag segítségével hasadóképes anyag- és villamosenergia-termeléssel lehetne kapcsolni. Egy ilyen hibrid reaktorban a fúziós reaktor üzemeltetésének gyakorlati nehézségei lényegesen csökkennének. Mindenesetre jellemző, hogy az olajválság óta ugrásszerűen nőtt a nyugati szakirodalomban a fúziós reaktorok elméleti és gyakorlati kérdéseivel foglalkozó publikációk száma.

## 7. Összefoglalás

1. Az atommagok energiájának a maghasadás elvén történő hasznosítása a jelenleg ismert, vagy még kifejlesztés állapotában levő eljárások szerint — gazdaságos módon — nem oldhatja meg az emberiség energiagondjait, legalábbis abban az esetben nem, ha az urán és a tórium érckészletek mennyisége nem lesz a jelenleg ismerteknek sokszorososa. De a hasadóképes anyagok rendkívül rossz hatásfokú kihasználása még az utóbbi esetben is az ezen elven működő magenergia hasznosításának korlátokat szabhat. Ahhoz, hogy az ércet hasadóanyag tartalmát jobb hatásfokkal lehessen hasznosítani, a ma kifejlesztés alatt álló tenyészreaktornál lényegesen jobb, valószínűleg elvileg is eltérő típusokat kell megalkotni. Ilyennek ígérkezik a Szovjetunióban kidolgozás alatt álló disszociáló gázhűtésű gyorsreaktor és esetleg az Egyesült Államok nagyhőmérsékletű gázreaktora. Tekintettel azonban a ma világszerte épülő

vagy előirányzott — elsősorban könnyűvízes típusú — reaktorok nagy számára, az átmenet a kedvezőbb tenyészreaktorokra csak aránylag lassú lehet, mert — eltekintve az ipar átállási dinamikájának korlátozott sebességétől — a konverter reaktorokban fejlesztett plutónium felhasználása is kötöttséget jelent. Ennek következtében az anyag hasznosítási foka is csak évtizedek után közelítheti meg az elméletileg elérhető optimumot. Ha eddig az időpontig sikerül az uránércbányászati kapacitásokat felfejleszteni és a feltárt készletekkel kijönni, akkor az ezután létesülő termikus és gyorsreaktorokból álló egyensúlyi atomenergia rendszerekben már elérhető lesz, hogy az uránércnek mennyisége akár évszázadokig is elegendő legyen.

2. Az energiaellátás biztosítása érdekében szükséges erőművi és ezen belül atomerőművi beruházások fejlesztési költségeinek csökkentése megköveteli újabb típusú, a nagyság tekintetében nem korlátozott egységek kifejlesztését. Ilyennek mutatkozik a Szovjetunióban bevezetés alatt álló csatorna típusú víz-grafit reaktor. A hozzátartozó turbina-generátor-egységek párhuzamos fejlesztése szükséges.

3. A magenergia fokozott bevetéséből következő társadalmi hatások közül a nagyközönségnél több országban mutatkozó pszichózis leküzdésén kívül elsősorban a termelt új és diverziós célokra is felhasználható hasadóképes anyagnak, a plutóniumnak biztonságos tárolására, megőrzésére és feldolgozására kell utalni. Az atomerőművekből üzemszerűen kibocsátott radioaktív hulladékok mennyisége nem jelent veszélyforrást, a külső vagy belső sérülés esetén bekövetkező nagymennyiségű radioaktivitás-felszabadulás ellen műszaki eszközökkel kell és lehet védekezni. Ugyancsak megoldható az üzemanyag kiegészése során keletkezett, vagy egyéb módon besugárzott, erősen radioaktív anyagok üzembiztos tárolása. De hangsúlyozni kell e helyen is, hogy az atomenergia rendszerek üzemanyagciklusa, a kiegészett elemek újrafeldolgozása, az új hasadóanyag kivonása, a keletkezett gyenge, közepes és nagy aktivitású hulladékok biztonságos megőrzése, a szállítási és tárolási feladatok stb. méreteiben és minőségileg is egészen új infrastruktúrát követelnek meg, amelynek uralása kis országok számára csak nemzetközi méretekben képzelhető el.

4. A magenergia-hasznosítás új útja, a fúziós energiatermelés kifejlesztése révén az emberiség energiaellátását gyakorlatilag tényleg végtelen hosszú ideig meg lehet oldani. Az eljárás technikai megvalósíthatósága azonban ma még nem bizonyított. Ennek sikere esetében is legalább 3 évtizedre lesz szükség, amíg az első, kereskedelmileg is hasznosítható fúziós reaktorok megépülhetnek. Addig számos, rendkívül nehéz műszaki problémát kell megoldani. Maga a fúziós erőmű előreláthatóan igen költséges lesz, de üzemanyaga gyakorlatilag elhanyagolható költséggel fog rendelkezésre állni.

Fentieket összefoglalva megállapítható, hogy az energiaigények kielégítése a készletek oldaláról tekintve a távolabbi jövőben nem jelenthet szűk

keresztmetszetet az emberiség életfeltételeinek javulásában. Nem szabad azonban szem elől téveszteni, hogy az energiaellátás céljaira rendelkezésre bocsátandó összegek a nemzeti jövedelem egyre nagyobb hányadát veszik igénybe és ezért az energetika területén továbbra is alapfeltétel marad a céltudatos tervezés és koordináció, beleértve az energiaigényeknek az ésszerű határokra történő korlátozását, tehát a helyes energiagazdálkodást.

Az exponenciálisan növekvő energiaigények műszaki, gazdasági és pénzügyi feltételeinek biztosítása, a szükséges gyártó- és üzemeltető kapacitások mennyisége, a rendelkezésre álló szakemberek száma és nem utolsósorban a környezet veszélyeztetésével szemben megkövetelt biztonság azonban igenis állíthatnak korlátokat az emberiség energiaellátása elé. A feladatok uralása és a nehézségek áthidalása a tudomány dolgozói előtt álló feladatok között talán a legszembetűnőbbek közé tartoznak. Megoldásukhoz az eddiginél szorosabb, nagyméretű nemzetközi összefogásra, békés alkotómunkára van szükség a műszaki, természet- és társadalomtudományok egész szélesre vont területén.

## FÜGGELÉK

### Különböző típusú gyors tenyésztőreaktorok jellemzői

A tanulmányban ismertetett számítások elvégzéséhez szükséges a gyors tenyésztőreaktorok hasadóanyag-gazdálkodás szempontjából legfontosabb jellemzőinek meghatározása. Ezek a jellemzők a következők:

- az első töltetben levő hasadóanyag (Pu) mennyisége,
- az első töltetben levő tenyészanyag (0,2%  $U^{235}$ ) mennyisége,
- az évi tenyészanyagfogyasztás,
- az évi többlet hasadóanyag termelése (tenyésztési nyereség).

A jelenlegi technikai színvonalon építhető nátriumhűtésű gyorsreaktorok (a-változat) első töltetének becsüléséhez célszerű a már üzemelő három demonstrációs erőmű adatait alapul venni. A Szovjetunióban üzemelő 1000 MWth hőteljesítményű gyorsreaktor (BN-350) magja 1170 kg  $U^{235}$  vagy 940 kg  $Pu^{239}$  hasadóanyagot tartalmaz, a tenyészanyag soványított urán, de mennyisége nem ismeretes [1]. A 600 MWth teljesítményű francia Phenix-reaktor plutónium töltete 1050 kg, amelyben 80%  $Pu^{239}$  és 20%  $Pu^{240}$  izotóp, a tenyészanyag kb. 25 t soványított urán [2]. A Nagy-Britanniában épült Dounreay-i (PFR) reaktor hőteljesítménye 563 MWth, magjában 950 kg nem közölt izotópposzetételű plutónium és 900 kg  $U^{235}$  izotóp a hasadóanyag, tenyészanyagként itt is soványított uránt alkalmaztak, amelynek teljes mennyisége kb 16 t [2]. Ha az így kapott értékeket 40% erőműhatásfok figyelembevételével 1000 MWe villamos teljesítményre számítjuk át, akkor a szükséges első töltet hasadóanyag tartalma 2,35 és 5 t között, a tenyészanyag mennyisége 70 ÷ 100 t között változik. A fejlődés iránya a kisebb fajlagos hasadóanyag töltet felé mutat, pl. a rövidesen üzembe kerülő szovjet BN-600 reaktornál már csak kb. 2 t/1000 MWe  $Pu^{239}$  izotóp lesz [5]. Minthogy a reaktorban keletkező plutónium 75 ÷ 80% hasadóképes (239-es és 241-es) izotópot tartalmaz, az első töltet teljes plutónium mennyisége 2,5 t/GWe, a tenyészanyagé pedig 60 t/GWe értékre becsülhető.

A fejlesztés elképzelhető iránya a hőelvonás módjának és az üzemanyagelemeknek a tökéletesítése útján a neutronfluxus és evvel a fajlagos teljesítmény növelése. Ilyen módon a nátriumhűtésű gyorsreaktorok töltetét optimális esetben kb. felére lehet csökkenteni [4], [5], így a továbbfejlesztett nátriumhűtésű gyorsreaktorok első töltete kb. 1,25 t/GWe plutónium és 30 t/GWe tenyészanyag lehet (b-változat). Hozzávetőleg ugyanekkora első töltettel létesíthetők gázhűtésű gyors reaktorok (hélium [6] vagy disszociáló nitrogénoxid [7] hűtő közeggel), vagyis ugyanezek az értékek használhatók a c-változat esetére is.

Az évenkénti tenyészanyag utánpótlás mértéke a reaktor típusától csak igen csekély mértékben függ, ezért valamennyi típus esetére az irodalomban fellelhető adatok (0,9 t/GWe, [8], 1,25 t/GWe, év [3] és 1,4 t/GWe, év [4]) középértékeként 1,25 t/GWe, év utánpótlással



számolhatunk. Az ismertetett számadatokat a III. számú táblázatban foglaltuk össze a három változat (a, b, c) esetére (3, 4, 5, 6 oszlopok).

Az évente megtermelt többlet hasadóanyag mennyiségét a reaktor tenyésztési tényezője határozza meg, amely döntő mértékben az alkalmazott hűtőközegtől függ. Ennek megfelelően nátriumhűtés („a” és „b” változat) esetére [3] és [8] alapján egységesen 0,17 t/GWe, év értékűre, míg gázhűtés („c” változat) esetén [6] és [7] alapján ennek kétszeresére, azaz 0,34 t/GWe, év nagyságúra becsülhető annak hangsúlyozásával, hogy a tenyésztési tényezőre tényadatok még nem ismertek. A reaktornak a külső ciklus figyelembevétele nélkül számított kettőzési idejét (7. oszlop) az irodalomban közölt hasadóanyag-töltet (3. oszlop) és a becsült tenyésztési nyereség (6. oszlop) hányadosa adja.

## IRODALOM

1. Directory of Nuclear Reactors. Vol. VII. Power Reactors IAEA, Vienna, 1968.
2. Directory of Nuclear Reactors. Vol. IX. Power Reactors IAEA, Vienna 1971.
3. PROF. T. H. PIGFORD (U. C. L. A.—Berkeley) magánközlése.
4. F. CONTI ET AL.: Effect of HTRs on Power Plant Installation Policies. The European Nuclear Conference. Paris 1975.
5. V. V. ORLOV U. A.: Wege zur Erzielung kleiner Verdopplungszeiten für schnelle natriumgekühlte Reaktoren mit oxidischem Brennstoff. Kernenergie 18. Jahrgang. Heft 2/1975.
6. SZ. M. FEINBERG: Bűsztrüje gazovüje u tyeplovüje reaktorürazmnozsiyeli. Atomnaja energija. Tom 37. vüp 1.1974.
7. A. K. KRASZIN, V. B. NYESZTERENKO: Novüje vozmozsnosziy szozdányija gazoohlazsdajemüh bűsztrüh reaktorov sz malüm vremenem ud vojenyija na disszocirujussej, N<sub>2</sub>O<sup>4</sup>. Atomnaja energija Tom 37. vüp 1. 1974.
8. M. VENTRE: L'utilisation du combustible dans les filières nucléaires: comparaison graphique. Revue de l'Energie. Janvier, 1975.

**Some Actual Problems of Nuclear Energy Utilization.** The paper reviews shortly the following problem groups: 1. What can be the realistic role of nuclear energy in providing energy to the Globe during the next decades, considering also that the ores providing nuclear energy are in relatively short supply? 2. What possibilities are there for restraining the worldwide and steady percentual rise of capital costs? 3. What social effects must be anticipated during the gradual introduction of nuclear energy? 4. What is the real situation in the successfull solution of the basically new way of nuclear energy utilization, the energy production by fusion? — The paper resumes also the most important historical moves of nuclear energy utilization in the most important atomic plants, the nuclear power stations, of the present situation and of the present perspectives for the next period of about 25 years.

**Einige zeitgemäße Fragen der Nutzung der Kernenergie.** Nach einem kurzen geschichtlichen Überblick beschäftigt sich die Arbeit mit folgenden Problemkreisen: 1. Welche Rolle kann in den kommenden Jahrzehnten, realistisch betrachtet, die Atomenergie in der Energieversorgung der Erde spielen, unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die für die Nutzung der Kernenergie in Betracht kommenden Erze verhältnismäßig selten sind? 2. Welche Möglichkeiten stehen zur Verfügung, um den weltweit steigenden Anteil der für die Energieversorgung benötigten Investitionen zu bremsen? 3. Mit welchen gesellschaftlichen Wirkungen muß bei der gesteigerten Einführung der Kernenergie gerechnet werden? 4. Was sind die realen Tatsachen bei der erfolgreichen Lösung des grundlegend neuen Weges der Kernenergienutzung, der Energieproduktion durch Fusion? Die Studie gibt zugleich einen kurzen Überblick über die wichtigsten geschichtlichen Etappen der Nutzung der in den Atomkernen verborgenen Energie in den wichtigsten kernenergetischen Anlagen, den Atomkraftwerken, über die derzeitige Lage und über die für die nächsten ca. 25 Jahre jetzt umschreibbaren Perspektiven.



# VERT CÖLÖPÖK SÜLLYEDÉSÉNEK ELMÉLETI VIZSGÁLATA

PETRASOVITS GÉZA\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1974. december 3-án]

A tanulmány a véges elemek módszerének felhasználásával kidolgozott kétféle eljárást mutat be vert cölöpök terhelés alatti süllyedésének meghatározására, rugalmassági, valamint rugalmas-képlékeny alapon. Az eljárás a cölöp talajbaverésének hatására bekövetkező talajtömörödés hatását is figyelembe veszi. A tanulmány egy további megoldást mutat be a vert cölöp terhelés alatti viselkedésmechanizmusának jobb szimulálására, a csúcs- és a köpenyellenállás arányának a kísérleti eredményekhez való közelítése céljából.

## 1. BEVEZETÉS

Ismeretes, hogy a talajtörési elméletek alapján álló képletek segítségével nem lehet cölöpök süllyedését meghatározni. Ezért ma az egyedi cölöp terhelés alatti várható süllyedésének meghatározására az építési gyakorlatban empirikus eljárásokat használnak. Hiányzik egy olyan elfogadott elméleti módszer, amely az inhomogén végtelen féltérben egy rugalmassági modulussal rendelkező rúd hatására fellépő feszültségek és alakváltozások eloszlásának megoldását adná olyan esetben, amikor a talaj rugalmassági modulusa a bevitt rúdtól eltérő és figyelembe tudná venni a cölöp talajba vitelekor a talajban bekövetkező összenyomódás változását is.

A cölöpözés nagy gyakorlati fontossága szükségessé teszi olyan elméleti számítási módszer kidolgozását, amely az eddigieknél jobban követi nyomon a vizsgált cölöpök terhelés alatti viselkedését, és egyben hatékonyabbá teszi a tervező-méretező tevékenységet azáltal, hogy a munka jelentős része számítógéppel végezhető el.

A szerző az általa végzett laboratóriumi és helyszíni cölöpkísérletek eredményeire támaszkodva olyan eljárást dolgozott ki, amely a véges elemek módszerének alkalmazásával lehetővé teszi az egyedi cölöp terhelés alatti süllyedésének meghatározását.

\* Prof. Dr. Petrasovits Géza, 1091 Budapest, Ifjú munkás u. 20.

## 2. A matematikai modell kialakítása és a szükséges alapadatok meghatározása

Ez az eljárás az inhomogén talaj fizikai és szilárdsági jellemzőinek felhasználásával adja meg az adott terhelés hatására bekövetkező cölöpsüllyedés nagyságát.

A módszer inhomogén rugalmas tartomány feszültségi és deformációs állapotának vizsgálatát teszi lehetővé. A módszer egyik lényeges előnye, hogy a kerületi feltételek leegyszerűsített formában, csomópontonként írhatók elő.

A számítási modell megfogalmazásakor elfogadott feltételek:

1. A feladat tengelyszimmetrikus, amikor is a tengely egybeesik a cölöp tengelyével. Ilyen feladatnál elég egy függőleges keresztmetszvény egyik felének a vizsgálata.

Tengelyszimmetrikus esetben minden radiális elmozdulás egy, a kerület irányába mutató deformációt okoz, s mivel így az ilyen irányú feszültségkomponens általában nem  $O$ , ezért a metszetsíkban levő három feszültségkomponens mellett még egy a metszetsíkra merőlegest ( $\sigma_\theta$ ) is figyelembe kell venni: a feszültségvektor:

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_z \\ \sigma_r \\ \sigma_\theta \\ \tau_{rz} \end{bmatrix},$$

a megfelelő deformáció-vektor:

$$[\varepsilon] = \begin{bmatrix} \varepsilon_z \\ \varepsilon_r \\ \varepsilon_\theta \\ \gamma_{rz} \end{bmatrix}.$$

A feladat megoldása még ebben az esetben sem egyszerű, mert a rugalmassági egyenletek általános megoldása technikailag szinte kivihetetlen. Ezért a más területen már sikeresen alkalmazott véges elemek módszerét használtuk. A véges elemek módszerének alkalmazásakor látni kell, hogy ez is közelítő megoldás, csak míg a korábbiakban a matematikailag pontos és folyamatos modellt közelítő módszerrel erősen leegyszerűsített formában oldották meg, addig most a véges elemek módszere a mérnöki szempontból jónak tartott modellt oldja meg pontosan. A véges elemek módszerének tehát nagy előnye, hogy a közelítés mértéke, a modell megválasztása a szerkezet viselkedését értő és ismerő mérnök kezében marad.

2. A talaj a cölöp körül is rugalmas és izotróp elemekből áll; állapotuk minden pontban két rugalmassági állandóval: az  $E$  rugalmassági modulussal és a  $\nu$ -Poisson-tényezővel jellemezhető;

3. A rugalmas program a talajtól való elszakadást nem veszi figyelembe.

4. A program tetszőleges terhelés hatására minden háromszög-elemre külön-külön megadja a végleges feszültség- és elmozdulás-komponenseket;

A matematikai modell határa — saját feszültség-optikai vizsgálatok eredményeire támaszkodva — a cölöpöktől oldalirányban 50, a cölöpésűcs alatt pedig 40 cölöp sugárnyi távolságra húzódik. Ez mind elméleti, mind gyakorlati szempontból jó közelítés és indokolt korlátozás, ugyanakkor lehetővé teszi még a módszernek a számítástechnikai kezelhetőségét.

A talajszelvények háromszögekre való felosztása természetesnek mutatkozott. Ez az egész rendszer szempontjából háromszög metszetű gyűrűkre való felbontásnak felel meg. Továbbá lineáris polinomoknak választva az elmozdulásfüggvényeket, az elmozdulások a háromszögek belsejében egyértelműen és a folytonossági feltételt kielégítően lettek meghatározva. Megemlítendő, hogy a feszültségek és a deformációk között a következő összefüggés áll fenn:

$$[\sigma] = [D] \cdot [\varepsilon],$$

ahol

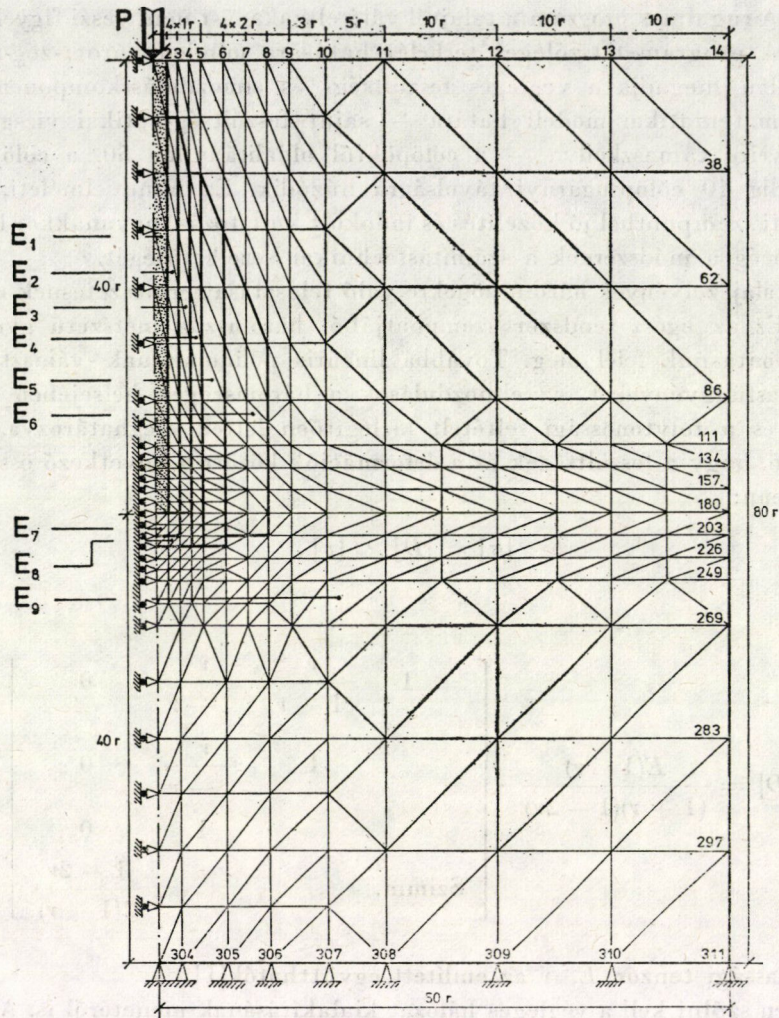
$$[D] = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \cdot \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 \\ & 1 & \frac{\nu}{1-\nu} & 0 \\ & & 1 & 0 \\ \text{Szimm.} & & & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix}$$

a rugalmassági tenzor,  $E$ ,  $\nu$  az említett együtthatók[1].

Röviden szólni kell a végleges hálózat kialakításának menetéről is. A hálózat megkonstruálásakor figyelembe lett véve, hogy a talajba vert cölöp a terhelést a köpenyen és a csúcson keresztül elsősorban a cölöpbeverés hatására kialakult tömörödött zóna közvetítésével adja át a talajnak. Ezért a hálózatot alkotó háromszögek nagysága a cölöp viselkedése szempontjából fontosabb helyeken kisebb, hogy az ott végbemenő folyamatok pontosabban legyenek figyelemmel kísérhetők.

Ily módon egy olyan hálózatot sikerült konstruálni, amelynek további finomítása, a mérnöki igények szempontjából felesleges. Ennek alapján a későbbiekben e hálózat véglegesnek volt tekinthető.

Megemlítendő, hogy a felosztási hálózat olyan finom (311 csomópont), hogy a megoldás során kapott nagy elemszámú egyenletrendszer csak nagyobb kapacitású számítógéppel volt kezelhető.



I. ábra

A cölöpbeverés a környező talaj tömörödését, illetve deformációját idézi elő, és az így bekövetkezett  $E$  változások miatt a különböző talajháromszögekben különböző értékek adódnak. A talaj tömörségének változása szemcsés talajban a cölöp köpenyénél a legjelentősebb. A cölöp körüli tömörödött tartomány kiterjedése a talaj minőségétől és a talaj kezdeti tömörségétől függően ( $a = 4 \div 9 r$  cölöpsugárértékig) változik. Az  $E$  rugalmassági modulus értékének változása szempontjából a program a hálózatot 9 mezőre osztja és egy mezőn belül az  $E$ -t állandónak tekinti (1. ábra). E jellemzők elvileg minden háromszögre eltérően adhatók meg, azonban kísérleti tapasztalatok alapján

az  $E$ -k számának növelése nem szükséges. Az  $E$ -k számának növelését általában a rendelkezésre álló számítógép kapacitása is korlátozza. A rugalmas program bemenő adatai között ezen  $E$ -k szerepelnek. Az  $E$  érték nagysága és változása elméleti és kísérleti eredményekre támaszkodva, a vizsgált szemcsés talajban  $100 \div 1400$  kp/cm<sup>2</sup> között változott [5]. A cölöp rugalmassági modulusa az anyagra jellemző  $E$ -vel szerepel. A Poisson-tényező  $\nu$ , amely inkább a talajtípust jellemzi, 0,3 értéket kapott. A program azonban alkalmas arra, hogy szükség esetén többféle  $\nu$ -értékkel dolgozzék.

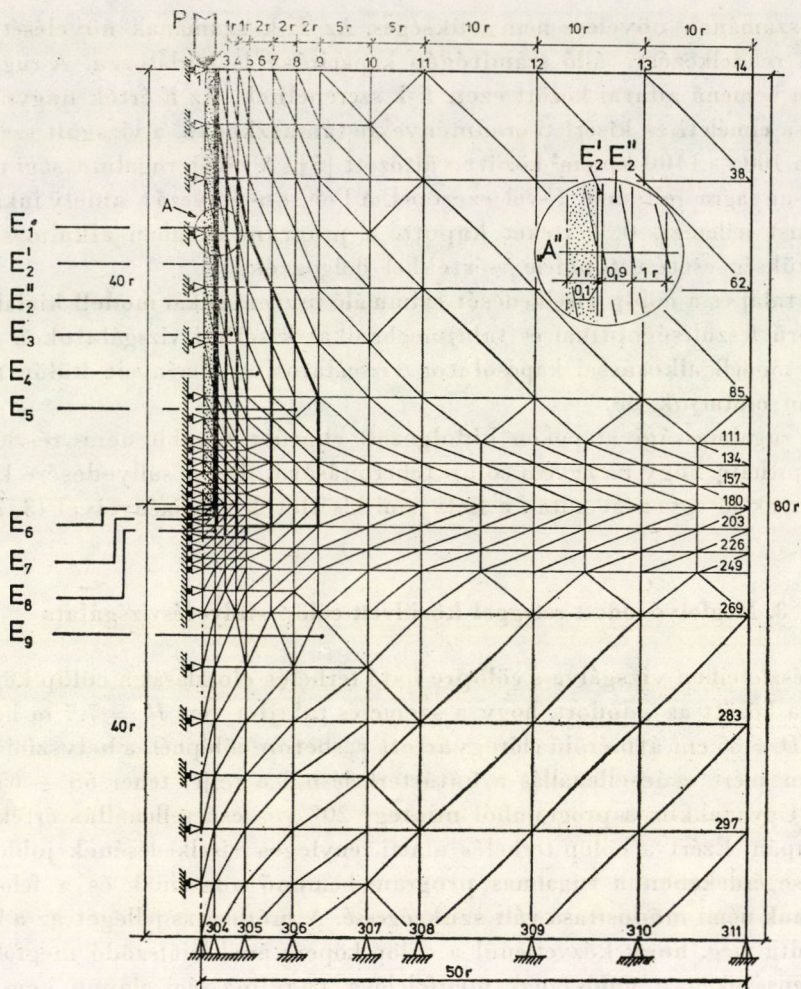
A talaj és a cölöp viselkedését szimuláló matematikai modell kialakítása széleskörű feszültségoptikai és talajmechanikai kísérleti vizsgálatokon nyugszik. A modell alkotással kapcsolatos vizsgálatok eredményeit külön tanulmányban mutatjuk be.

A rugalmassági alapokon kidolgozott eljárást tovább nem részletezve megállapítható, hogy az egyedi cölöp teherbírására, illetve süllyedésére kapott eredmények jó egyezést adtak a helyszíni kísérletek eredményeivel (3. ábra).

### 3. Megfolyósodott réteggel körülvett cölöp süllyedésvizsgálata

Részleteiben vizsgálva a cölöpre ható terhelés eloszlását a cölöp köpenye és csúcsa között az adódott, hogy a szemcsés talajba vert  $H = 7,7$  m hosszúságú és  $D = 35$  cm átmérőjű előregyártott vasbeton cölöpnél, a helyszíni kísérlet során mért csúcscellenállás a határterhelésnél a teljes teher  $55 \div 65\%$ -át érte el. Ugyanakkor a programból mintegy  $20\%$ -os csúcscellenállás érték adódott csupán. Ezért a cölöp terhelés alatti tényleges viselkedésének jobb megközelítése érdekében a rugalmas program bemenő adatainak és a felosztási hálózatnak némi módosítása vált szükségessé. A módosítás jellegét az a körülmény adta meg, hogy közvetlenül a cölöp köpenyénél lejátszódó megfolyósodási jelenségeket, a valóságnak megfelelően, rugalmassági alapon nem lehet tökéletesen nyomon követni. Jelen tanulmányban az előbb említett jelenségek rugalmasságtanon belüli szimulálására történik kísérlet. A cölöpköpenyhez közvetlenül csatlakozó  $1r$  vastagságú réteg tovább osztására, a cölöpfal mentén egy  $0,1r$  vastagságú  $E = 1$  kp/cm<sup>2</sup> rugalmassági modulussal,  $\nu = 0,49$  Poisson-tényezővel rendelkező réteg felvételére került sor. E speciális paraméterekkel rendelkező réteg feladata, hogy szimulálja a köpeny falánál levő megfolyósodott talajréteg viselkedését. Egy ilyen kéreg kialakulása a cölöp terhelésekor a talajmechanikus számára nyilvánvaló. Ennek a rugalmassági alapon való követésére a szerző tudomása szerint eddig nem született megoldás (2. ábra).

A képlékenyen viselkedő réteg beiktatásának a segítségével a csúcscellenállás és a köpenysüllyedés közötti arány a helyszíni kísérletnél kapottal lényegében megegyezővé vált. A felosztási hálózat egyéb részén végrehajtott



2. ábra

változtatások a cölöp körül kialakuló tömörödési tartomány tényleges alakjához való közeledést célozták.

#### 4. A cölöp süllyedésének vizsgálata a rugalmas-képlékeny elmélet alapján

A továbblépést a talaj rugalmasságát kimondó alapfeltevés elvetése és a más területeken már alkalmazott rugalmas-képlékeny elmélet kipróbálása jelentette. Ebben elsősorban A. A. ILJUSIN [3] és I. A. BIRGER [2] általános jellegű munkái szolgáltak alapul. A jól kidolgozott rugalmasságtani eljárás és számítógépi program birtokában célszerűnek mutatkozott a rugalmas-kép-



lékeny problémát mint rugalmassági problémák sorozatának határértékét vizsgálni, felhasználva minden lépésben — mintegy magként — az eredeti programot. A rugalmas-képlékeny program az elmélet által megengedett kis rugalmas-képlékeny változásokat is tükrözi, és a talaj nem tökéletesen rugalmas jellegét a rugalmassági állandók ( $E, \nu$ ) szukcesszív megváltoztatásával követi.

A „kis rugalmas-képlékeny alakváltozások” elméletének alapfeltevései a következők:

(i) A térfogatváltozás arányos a közepes feszültséggel, az arányossági tényező ugyanaz, mint a rugalmassági határ alatt, azaz

$$\varepsilon_0 = \frac{1-2}{E} \cdot \sigma_0, \quad (1)$$

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_r + \varepsilon_z + \varepsilon_\theta,$$

$$\sigma_0 = \frac{1}{3} (\sigma_r + \sigma_z + \sigma_\theta)$$

(ii) A feszültségi és alakváltozási irántenszorok egybeesnek. Ez komponensekben kifejtve a következőket jelenti:

$$\begin{aligned} \varepsilon_r - \varepsilon_0 &= \frac{\Psi}{2G} (\sigma_r - \sigma_0), & \varepsilon_\theta - \varepsilon_0 &= \frac{\Psi}{2G} (\sigma_\theta - \sigma_0), \\ \varepsilon_z - \varepsilon_0 &= \frac{\Psi}{2G} (\sigma_z - \sigma_0), & \gamma_{rz} &= \frac{\Psi}{G} \tau_{rz}. \end{aligned} \quad (2)$$

Megjegyzendő, hogy (2)-ben  $\psi$  jelenléte adja az eltérést a Hooke-törvénytől (rugalmas esetben  $\psi = 1$ ).

Adott esetben  $\psi = G \varepsilon_i / \sigma_i$ , ahol  $\sigma_i$ , ill.  $\varepsilon_i$  a feszültségeknek, ill. a deformációknak a következő képletekkel definiált intenzitása:

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2 + (\sigma_z - \sigma_\theta)^2 + 6\tau_{rz}^2}, \\ \varepsilon_i &= \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{(\varepsilon_r - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_r - \varepsilon_\theta)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_\theta)^2 + \frac{3}{2} \gamma_{rz}^2}. \end{aligned}$$

(iii) A feszültség intenzitása teljesen meghatározott függvénye az alakváltozás intenzitásának, függetlenül a feszültségi állapot jellegétől.

A (2) képleteknél előbb (1) segítségével kiszöbölve ki  $\varepsilon_0$ -t és  $\sigma_0$ -t, majd

új együtthatókat bevezetve, a következő — a Hooke-törvénnyel formálisan megegyező — képletek adódnak:

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= \frac{1}{E^*} [\sigma_r - \nu^*(\sigma_z + \sigma_\theta)], & \varepsilon_\theta &= \frac{1}{E^*} [\sigma_\theta - \nu^*(\sigma_r + \sigma_z)], \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E^*} [\sigma_z - \nu^*(\sigma_r + \sigma_\theta)], & \gamma_{rz} &= \frac{1}{G^*} \tau_{rz},\end{aligned}\quad (3)$$

ahol

$$\begin{aligned}E^* &= E \frac{3}{2(1+\nu)\Psi + 1 - 2\nu}, & \nu^* &= \frac{1 - (1 - 2\nu)\Psi(1 + \nu)}{2 + (1 - 2\nu)\Psi(1 + \nu)}, \\ G^* &= \frac{G}{\Psi}, & G &= \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (\text{A torziómodulus})\end{aligned}\quad (4)$$

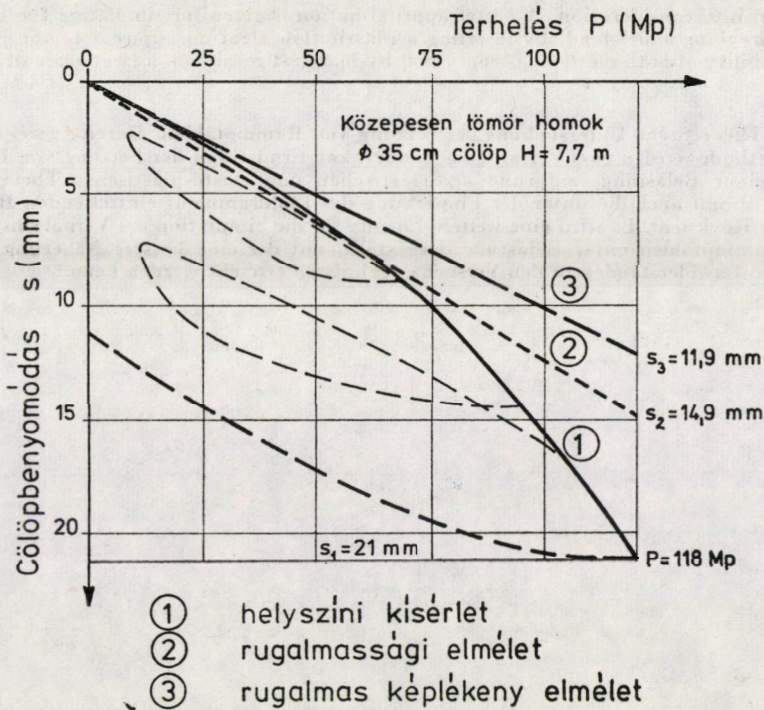
A rugalmas-képlékeny feladat megoldása iterációs eljárással a következő. Első lépésben  $\nu = 1$ -et helyettesítve és megoldva a rugalmassági feladatot, a  $\sigma_r^{(1)}$ , ill.  $\varepsilon_r^{(1)}$  mennyiségek adódnak a felosztás összes háromszögére vonatkozóan. Emlékeztetve arra, hogy az alapprogram a háromszögekre felosztott talajszelvényt 9 mezőre osztja, s bemenő adatként e mezőkön állandó rugalmassági együtthatókat kíván meg, az első lépés eredményeként az egy mezőn belüli háromszögekre kapott feszültségkomponensek saját háromszögük területével súlyozva a mezőre átlagolandók. Az így kapott feszültségekből számíthatók (3) segítségével a megfelelő deformációk, végül a

$$\psi^{(1)} = \frac{\varepsilon_i^{(1)}}{\sigma_i^{(1)}} \cdot G$$

mennyiségek.

Ezzel lehetővé vált a következő közelítés számára (4) szerint elkészítendő megváltozott rugalmassági együtthatók kiszámítása. Az új együtthatókkal ismét megoldva a rugalmassági feladatot, az eljárást addig folytattuk, ameddig két egymás utáni közelítés eltérése megfelelően kicsiny lesz. Ez többnyire 3÷4 lépés után bekövetkezett.

Kísérletek és a szemlélet is bizonyítják, hogy a valóságban a talaj deformációi gyorsabban válnak kicsivé, mint azt a rugalmasságtani elmélet adná. A rugalmas program alapján kapott cölöp süllyedési érték  $H = 7,7$  m hosszú és  $d = 35$  cm átmérőjű előregyártott vasbeton cölöp terhelés-süllyedési diagramjának arányossági szakaszával nagyon jó egyezést adott. A rugalmas-képlékeny program szemcsés talajban ennél kisebb süllyedést adott, minthogy a talaj deformációi kisebb tartományra terjednek ki, mint ahogy a rugal-



3. ábra.

mas program eredményei adják (3. ábra). Hasonló eredményt kapott Y. H. HUANG [4] is. Az előzőekben vázolt eljárással készült programunk alátámasztotta ezt.

## IRODALOM

1. ZIENKIEWICZ, O.: The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics. London 1967.
2. BIRGER, I. A.: Általános eljárások képlékenységtani feladatok megoldására (oroszul). *Prikladnaja matematika i mehanika X* (1951) 6. izd. AN. CCCP.
3. ILJUSIN, A. A.: Képlékeny és rugalmas — képlékeny alakváltozások (oroszul). Goszteizdat, Moszkva—Leningrád, 1948.
4. HUANG, Y.: Finite Element Analysis of Non-linear Soil Media. Application of Finite Element Methods in Civ. Engg., Nashville (1969), pp. 663—690.
5. PETRASOVITS, G.: Forming of Densified Zones around Piles Driven in Sand and its Effect on the Bearing Capacity. *Proc. 8th Int. Conf. on SMFE*, Moscow 1973, pp. 187—192.
6. PETRASOVITS, G.—SOLTÉSZ, P.: A kis rugalmas-képlékeny alakváltozások elméletének alkalmazása egyedi cölöp terhelés alatti süllyedésének meghatározására. *MTA Műszaki Mechanikai Munkaközösség Tudományos Ülésszaka*, Budapest 1974, pp. 249—256.

**Settlement Analysis of Driven Piles.** A procedure based on the method of finite elements will be presented for determining the settlement under load of vertical driven piles, according to the Theory of Elasticity and Elasto-plasticity. Also the soil compaction due to pile driving

is taken into consideration. A better approximation is given for simulating the mechanism of pile behaviour under load, by inserting a plastic flow stratum adjacent to the pile. Practical applicability of both methods is confirmed by load test results on a large-scale driven r. c. pile.

**Theoretische Untersuchung der Setzung von Ramppfählen.** Durch Anwendung der Mosaik Methode werden zwei Verfahren behandelt zur Ermittlung der Setzung von Ramppfählen unter einer Belastung, aufgrund der elastischen und elasto-plastischen Theorie. Das Verfahren nimmt auch die unter der Einwirkung des Pfahlrammens eintreffenden Bodenverdichtung in Rücksicht. Es wird eine weitere Lösung für die Simulation des Verhaltensmechanismus von Ramppfählen unter Belastung dargestellt, mit der eine bessere Näherung des Spitzen- und Mantelwiderstandes zu den Versuchsergebnissen erreicht werden kann.

# AZ ANYAG KÚSZÁSA NYÍRÓIGÉNYBEVÉTEL HATÁSÁRA

G. TER-STEPANIAN\*

[Beérkezett 1974. augusztus 21-én]

A nyírás során létrejövő új talajszerkezeteket és azok tönkremenetelét, az érintkező felületek kölcsönös elhelyezkedése és a bennük ható erők jellemzik. Az egyik szerkezetről a másikra való átmenet ugrásszerűen következik be. A kúszási folyamat két fázisból áll: elmozdulásból és törésből. Az elmozdulási fázisban a hosszváltozások az időben csökkennek, a törési fázisban nőnek. Az elmozdulási fázisban a kúszási görbék logaritmikus görbe szakaszokból állnak, a törési fázisban pedig paraboladarabokból. A talaj viselkedésére a következő négy tulajdonság jellemző: a kúszási határ, a statikus viszkozitás, az elmozdulási modulus és a stabilizálódási modulus; ezek a mennyiségek lineáris kapcsolatban vannak a normál feszültséggel. Az alakváltozási sebesség kis és közepes nyírófeszültség esetében a stabilizálódási határ értéke szerint csökken, míg nagy feszültségek esetében a folyamat töréssel fejeződik be. A szerző az agyagnak nyírás hatására bekövetkező kúszására vonatkozó elméletet állít fel, amelyet hosszú ideig tartó kísérletekkel igazol; felállítja a talaj reológiai modelljét és annak mechanikai viselkedésére jellemző egyenleteket vezet le.

## 1. A nyírás hatására bekövetkező talajkúszás elmélete

A nyíró feszültségek hatása alatt álló talaj kúszásának a következőkben leírt elmélete két elven alapul: 1. sok talajszerkezet, amelyet az érintkező felületek elrendeződése és a bennük keletkező erők jellemeznek, keletkezik és megy tönkre a nyírás folyamán; az egyik szerkezetből a másikba való átmenet ugrásszerűen következik be [8]; 2. az alakváltozás a folyási elemek kölcsönös elmozdulásából áll, ez akkor következik be, ha az energiaküszöböt túllépjük [3, 4].

### 1.1. A talajok dinamikai viszkozitásának változósága

Bármely anyag kúszását annak viszkozitása befolyásolja, ezért a talajok dinamikai viszkozitásának fogalmát gyakran használják fel a talajkúszás tanulmányozásában és reológiai modellekben. A dinamikus viszkozitás fogalma alkalmas a folyadékok mechanikai viselkedésének tanulmányozásában, mint-hogy ez az érték a folyadékok vonatkozásában független az időtől, csupán a hőmérséklettel változik.

\* Prof. Ter-Stepanian George, Geomechanikai laboratórium, Örmény Tudományos Akadémia, Jereván, Örményország, Szovjetunió.

Ennek a fogalomnak az alkalmazása a talajreológia területére sok nehézséggel jár, mert a dinamikus viszkozitás az időben jelentős változásokat szenvedhet. Az idő szerint változó dinamikus viszkozitás fogalmának bevezetésére vonatkozó próbálkozások csak abban az esetben vezethetnek eredményre, ha a dinamikus viszkozitás és az idő között fennálló összefüggést olyan alakban tudjuk megadni, amely lehetővé teszi azt, hogy ezt az összefüggést a talaj változatlan jellemzőjének tekintsük.

### 1.2. A talajfázisok alakváltozási tulajdonságai

A szilárd és a folyékony fázisok különböző módon viselkednek a feszültségállapot változásának hatására. Minden talajrészecskében bonyolult feszültségállapot alakul ki az érintkező felületekre ható, szemcsék közötti erők hatására. Minthogy a talajszemcsék keresztmetszete jóval nagyobb, mint a szomszédos szemcsék egymással közvetlenül érintkező felülete, feltételezhetjük, hogy magukban a talajrészecskében olyan kis feszültségek keletkeznek, amelyek csak rugalmas alakváltozást hoznak létre. A nagy feszültségek és az ezek által keltett maradó alakváltozások csak az érintkező felületek környékére korlátozódnak. Ebben a tartományban a plasztikus alakváltozás az egyensúlyi állapotok közötti energiahatárok túllépésekor következik be.

A talaj folyékony bázisa az érintkezési tartományokban az érintkező részecskék diffúz rétegeiben van jelen; ezekben a rétegekben a vízmolekulák mozgékonyságának mértéke a részecske felületétől számított távolsággal nő. Ezért ezeknek a rétegeknek a viszkozitása változó, nagyobb a talajszemcsék felületén és kisebb a réteg peremén. Az érintkező felületek közötti erő növekedésével a diffúz réteg kisebb erővel lekötött részei kinyomódnak az érintkezési felület környékétől, ezért ezután az érintkezési abszorbeált víz érintkezési felülete kiterjed. A vízmolekulák mozgékonytsága folytán, különösen a kisebb vonzásnak alávetett részekben az alakváltozás helyett a mozgás sebességét lehet tanulmányozni.

### 1.3. Az érintkezési pontokon ható erők

Az 1. ábra talajmintát mutat be. A talajmintára ható erők a következők:

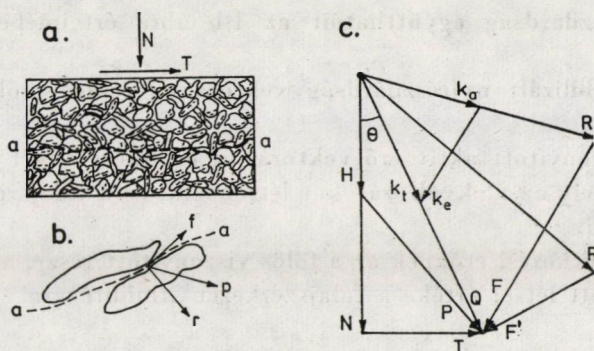
$N = \sigma A$  — (függőleges) normálerő,

$T = \tau A$  — (vízszintes) tangenciális erő és

$H = \sigma_0 A$  — (hidrosztatikus) belső kohéziós erő.

Itt  $A$  a talajminta keresztmetszeti területe és  $\sigma_0 = c' \cot \varphi'$ . Ha  $P$  a talajmintára ható külső erő, akkor  $P = N + T$  és  $Q$ , a teljes erő,  $Q = H + P$ . A mobilizált nyírószilárdság együtthatója:

$$\tan \Theta = \frac{T}{H + N} . \quad (1)$$



1. ábra. Az érintkezési pontokon ható erők; a) talajminta; b) erők az érintkezési pontokon; c) vektorpoligon

Válasszuk el a talaj egy részét egy olyan önkényesen felvett  $aa$  metszettel, amely a talajrészecskék érintkezési pontjain megy át, vagyis magukat a talajszemcséket nem metszi. A talajszemcsék érintkezési pontjain elemi erők hatnak; ezek az erők bármilyen irányúak lehetnek. Az erőknek csak azon  $p$  összetevőit vegyük figyelembe, amelyek a rajz síkjában működnek. Az elemi erő  $p$  összetevője egy tetszőleges érintkezési pontban felbontható egy  $r$  normális erőre és egy  $f$  tangenciális erőre. Az  $aa$  metszetben ható normális erők vektorösszegét  $R$ -rel jelölve:  $R = r_1 + r_2 + \dots$  és az érintőleges erők vektorösszegét:  $F = f_1 + f_2 + \dots$   $\bar{F}$ -fel jelölve, felírhatjuk, hogy

$$R + F = Q. \quad (2)$$

A talajszerkezet átalakulása folyamán a szemcsék közötti érintkezések száma és elrendeződése megváltozik. Az elemi normális és tangenciális erők új vektorösszege  $R'$ , illetve  $F'$  vektor lesz. A (2) egyenletet megszorozva  $\tan \theta / Q$ -val, a következőket kapjuk:

$$\frac{R}{Q} \tan \theta + \frac{F}{Q} \tan \theta = \tan \theta.$$

Ha bevezetjük a következő jelöléseket:

$$\frac{R}{Q} \tan \theta = k_a, \quad (3)$$

$$\frac{F}{Q} \tan \theta = k_e, \quad (4)$$

$$\tan \theta = k_t, \quad (5)$$

akkor az előbbi kifejezést a következő alakban írhatjuk fel [8]:

$$k_a + k_e = k_t,$$

ahol a nyírószilárdság együtthatóit az  $1/b$  ábra értelmében vektoroknak tekintjük:

$k_1$  a mobilizált nyírószilárdság vektora az összes erők  $Q$  eredőjének irányában;

$k_2$  a viszonyított aktív erő vektora, az érintkezéseknél fellépő erőknek az a része, amely az alakváltozásokat létrehozta; ez a talajszerkezet „merevségét” jellemzi;

$k_3$  az érintkezési erőknek az a fölös viszonyított része, amely alakváltozást nem hozott létre; értéke a talajszerkezet „fluiditására” jellemző.

#### 1.4. Az elemi erők hatása

Az elemi erők közvetlenül a talajszemcsék érintkező felületein működnek. Az adott érintkező felületen ható erő normális összetevőjétől függően ásványi—nem ásványi típusú érintkezések alakulnak ki [2]. Ásvány—ásvány típusú érintkezés akkor jön létre, ha a normális összetevő elég nagy ahhoz, hogy átlukassza az abszorbeált vízhártyát. Ilyen esetekben kis normális  $r$  erők koncentrált csúcshatásuk miatt nagyon nagy nyomást fejtenek ki; az ilyen pontokon szilárd és félszilárd ellenálláshidak alakulnak ki [10]. Ezek  $A_0$  területét, amely az egész  $A$  érintkező felületnek egy része, a ható  $r$  erők és az anyag  $R_c$  nyomószilárdsága közötti viszony alapján lehet kiszámítani:

$$A_0 = \frac{r}{R_c} . \quad (7)$$

Ezeket az érintkezési pontokon kialakult ellenálláshidakat *merev egységeknek* nevezzük.

Az érintkezési pontokon ható  $f$  kis tangenciális erők, kedvező körülmények között a talajszemcsék viszonylagos elmozdulását idézik elő, vagyis alakváltozást hoznak létre. Ezek *folyási egységeket* képeznek; ezekkel az időbeli folyamatok elmélete foglalkozik.

Az  $f_1$  átlagerő, amely az egyes folyási egységeket létrehozza, a következőképpen számítható:

$$f_1 = \frac{f}{n} , \quad (8)$$

ahol  $n$  a folyási elemek száma egy érintkező felületen. Feltételezzük, hogy ez a szám arányos az effektív érintkező felülettel, vagyis

$$n = \alpha A_0 , \quad (9)$$

ahol az  $\alpha$  együttható dimenziója  $L^{-2}$ .



A (7) és (9) egyenlet összevonásával kapjuk:

$$f_1 = \frac{f}{r} \cdot \frac{R_c}{\alpha} . \quad (10)$$

Az  $R_c/\alpha$  viszonyt első közelítésben minden anyagra vonatkozóan állandónak tekinthetjük.

Ha a  $p$  erő a kúszás folyamán irányváltozás nélkül változik, akkor az  $f/r$  viszony változatlan marad és a (10) szerint az  $f_1$  tangenciális erő, amely egy folyási elemre hat, minden adott talajszerkezetre vonatkozóan állandó. Ha a  $p$  erő megváltoztatja irányát, az  $f/r$  viszony megváltozik és a (10) szerint az  $f_1$  is megváltozik; ez az az eset, amikor a talajszerkezet átrendeződik.

A merev és a megfolyt egységek állhatnak ionokból, ionsoportokból, molekulákból, vagy molekulacsoportokból. Az érintkező részecskék alakjától függően egy vagy több merev és megfolyt egység jöhet létre. A kölcsönösen egymásra ható talajrészecskék megtartják a potenciális energia minimumának megfelelő helyzetüket; a részecskék egymáshoz viszonyított elmozdulását azok a merev kapcsolatok és energiaküszöbök korlátozzák, amelyek az egymásra következő egyensúlyi állapotokat a megfolyt egységekben elválasztják.

A normálerők a talajszerkezetet az alakváltozással szemben ellenállóbbá teszik, míg a tangenciális erők elősegítik az alakváltozást: az  $F/R$  viszony a talajszerkezet alakváltozás-képességére jellemző. Minél nagyobb ennek értéke, annál nagyobb elmozdulásokra képes tartósan a talajszerkezet. A talajszerkezet maximális tartósságának előidézéséhez egy bizonyos alakváltozásnak kell fellépnie; ennek nagysága növekszik a talajra ható feszültség nagyságával.

A merev és folyt egység olyan elszigetelt alakulatok, amelyeket az érintkező diffúz rétegekből alkotott viszkózus közeg (viszkózus egységek rétege) vesz körül. Ennek a közegnek a viszkozitása a perem felé haladva csökken. Egy részecske alakváltozási sebessége az érintkező felület mentén bekövetkező elmozdulása során arányos az ebben a közegben ható mechanikai erőter gradiensevel.

### 1.5. Az alakváltozási sebességet leíró egyenletek

Az Eyring-féle elmélet alapján, amely időben változó folyamatokra vonatkozik [3, 4], MITCHELL [5, 6, 7] levezette az alakváltozási sebesség egyenletét:

$$\dot{\gamma} = X \frac{kT}{h} \exp\left(\frac{-E}{R_0T}\right) \exp\left(\frac{f_1\lambda}{2kT}\right), \quad (11)$$

ahol  $X$  az alakváltozás irányába eső folyási egységek számának és egy energiaküszöb túllépése következtében fellépő, az ugyanabba az irányba eső átlagos elmozdulási összetevőnek a függvénye;  $k$  a Boltzmann-féle állandó;  $h$  a Planck-

féle állandó;  $T$  az abszolút hőmérséklet;  $R_0$  az egyetemes gázállandó;  $f_1$  az egyes folyási elemekre ható nyíróerők átlaga;  $\lambda$  az egymásra következő egyensúlyi állapotok közötti távolság,  $E$  az aktiválási szabad energia.

Vizsgáljuk meg ezt az egyenletet. A  $k$ ,  $R_0$  és a  $h$  értékek állandóak; az  $E$  és  $\lambda$  értékeket a talaj egy adott típusú ásványtani összetételére szintén állandóknak tekinthetjük. Az abszolút hőmérséklet ( $T$ ) a szokásos laboratóriumi viszonyok között gyakorlatilag állandó. A fentiekben kimutattuk, hogy egy adott talajszerkezet esetében az  $f_1$  tangenciális erő, amely az egyes folyási egységekre hat, állandó marad; ennél fogva a  $kT/h$  átlagos hőrezgési frekvencia és a (11) egyenletben mindkét exponenciális függvény szintén állandó. Ezzel szemben, az alakváltozási sebességnek több további tényezőtől kell függenie, mint pl. a talajszerkezet alakváltozási képességétől,  $F/R$ -tól, a  $\tau$  nyírás nagyságától és az érintkezési pontokban a kialakuló kötések  $L$  élettartamától [2].

A talaj viszkózus-plasztikus tulajdonságainak értelmezése alapján az  $X$  együttható értékét a következőképpen fejezhetjük ki:

$$X = K_1 F/R \frac{\tau - \tau_p}{\dot{\theta}} \frac{1}{L}, \quad (12)$$

ahol  $\tau_p$  az a tangenciális feszültség, amelynél még nem lép fel kúszás (kúszási határ),  $\zeta$  feszültség dimenziójú együttható és  $K_1$  arányossági együttható.

Természetes az a feltevés, hogy a kötések átlagos élettartama a talajszerkezet változásának irányától, valamint a feszültség tartamától függ. Ha a kúszási folyamat során a talajszerkezet rendezettebbé válik, vagyis bekövetkezik a talajrészecskék irányítottsága, a kötések átlagos  $L'$  élettartama növekszik. Feltételezve, hogy ez a növekedés egyenesen arányos a feszültség tartamával, írhatjuk, hogy

$$L' = K_2 t, \quad (13)$$

ahol  $K_2$  arányossági együttható.

Ha a kúszási folyamatban a talajszerkezet kevésbé rendezetté válik, vagyis a talajszemcsék elrendeződése megbomlik, akkor a kötések  $L''$  átlagos élettartama csökken. Feltételezzük, hogy ez az élettartam csökkenés szintén egyenesen arányos a feszültség tartamával:

$$L'' = K_2 \frac{t_0^2}{t}. \quad (14)$$

Itt  $t_0$  egy idő-dimenziójú együttható.

A fentiekben előadottak figyelembevételével, abban az esetben, ha a talajszerkezet rendezetté válik, a (11)-ben szereplő  $X$  együttható értéke

$$X = \frac{K_1 K_3}{K_2} \cdot \frac{F}{R} \cdot \frac{\tau - \tau_p}{\zeta t} \quad (15)$$

lesz, ahol  $K_3$  arányossági együttható.

Ha ezt az értéket behelyettesítjük (11)-be, akkor a talajszerkezet rendezettségére a következő egyenletet kapjuk:

$$\dot{\gamma} = \frac{K_1 K_3}{K_2} \cdot \frac{F}{R} \cdot \frac{\tau - \tau_p}{\zeta} \cdot \frac{kT}{h} \cdot \frac{1}{t} \exp\left(\frac{-E}{R_0 T}\right) \exp\left(\frac{f_1 \lambda}{2kT}\right), \quad (16)$$

vagy pedig egy, a talajszerkezet alakváltozási képességétől,  $F/R$ -től függő, dimenzió nélküli a szerkezeti együttható bevezetésével:

$$a = \frac{K_1 K_3}{K_2} \frac{F}{R} \frac{kT}{h} \exp\left(\frac{-E}{R_0 T}\right) \exp\left(\frac{f_1 \lambda}{2kT}\right), \quad (17)$$

A fenti kifejezést a következőképpen írhatjuk:

$$\dot{\gamma} = a \frac{\tau - \tau_p}{\zeta} \cdot \frac{1}{t}. \quad (18)$$

Hasonlóképpen arra az esetre, amikor a talajszerkezet rendezettsége csökken, a (11)-ben szereplő  $X$  együttható a következő lesz:

$$X = \frac{K_1 K_3}{K_2} \cdot \frac{F}{R} \cdot \frac{\tau - \tau_p}{\zeta t_0^2} t. \quad (19)$$

Ha ezt az értéket (11)-be behelyettesítjük, a talajszerkezet rendezettségének csökkenésekor a következő lesz érvényes:

$$\dot{\gamma} = a \frac{\tau - \tau_p}{\zeta} \cdot \frac{t}{t_0^2}. \quad (20)$$

A tapasztalat szerint a pikkelyszerű részecskék a kúzás kezdeti fázisában válnak irányítottá, és ezért ezt a fázist a (18) egyenlet írja le. Ezért az integrálás útján megkapjuk minden szerkezet kúzási alakváltozását a kezdeti fázisban:

$$\gamma = a \frac{\tau - \tau_p}{\zeta} \ln t + C.$$

A jobb matematikai értelmezés végett ezt az egyenletet a következő egyenlettel helyettesítjük:

$$\dot{\gamma} = a \frac{\tau - \tau_p}{\zeta} \ln \frac{t + \Delta t}{\Delta t} + C, \quad (21)$$

ahol  $\Delta t$  kis egységnyi időköz, például 1 mp.

A (21) egyenlet azt mutatja, hogy a folyamat kezdeti fázisában a logaritmikus törvénynek megfelelő csillapítás érvényesül, minthogy a kötések élet-tartama folyamatosan növekszik.

Mint minden anyagban, egy adott feszültséghez egy bizonyos alakváltozásnak kell tartoznia. Ha egy adott talajszerkezet, amely bizonyos csillapítás mellett alakváltozást szenved, nem tudja biztosítani az alakváltozás szükséges kifejlődését, meg nem felelővé válik. A  $k_e$  erőtöbblet-viszonyszám hatására a talajszerkezet ugrásszerűen rendeződik át. Ez az az erőtöbblet, amely az érintkezési felületen ható erőnek a tényleges alakváltozásra fel nem használt része (vagyis a  $k_a$  aktív erő rész). Mind az  $F/R$  viszony, mind az  $f_1$  erő megváltozott az új szerkezetben és ezzel együtt az  $a$  szerkezeti együttható szintén megváltozik (17).

A kialakult szerkezet tartóssági fokát a (21) egyenletben szereplő  $a$  együttható értékei alapján lehet megbecsülni; minél tartósabb a talajszerkezet, annál nagyobb az  $a$  együttható értéke. Ezért az idő és a fajlagos alakváltozás közötti összefüggés logaritmikus jellege az ez után következő szerkezetekben is megmarad, de az  $a$  együttható értéke változik és a szemilogaritmikus diagram grafikonja ( $\log t - T$ ) tört vonal kell legyen. Ez a görbe a kúszás kezdeti fázisát írja le, és ezzel fokozatosan mind tartósabb és tartósabb szerkezet fejlődik ki, és mind újabb szerkezetek keletkeznek a régebbiek helyén. A kúszásnak ezt a fázisát a *mobilizálódás fázisának* nevezzük.

E fázis során a talajszerkezet lényeges átalakuláson megy át; a hézagok mennyisége és nagysága csökken, a hézagok helyenként összenyomódnak és a nyírás irányában megnyúlnak; a talajszövet hiányosságai részben záródnak és a talaj szilárdabb lesz. Ennek a folyamatnak a végén, a részecskék újrendeződéseként, repedések fejlődnek ki, új hiányosságok keletkeznek, a mikroszerkezet dezintegrálódása folytatódik, a régebbi repedések megnövekednek és újak jelennek meg, a külön választott repedések egyesülnek és makro-repedéseket képeznek stb. [11]. Mindezek a jelenségek a folyamat végső fázisát jelzik, a *törési fázist*. Az átmenetet a törés folyamatára a *mobilizálás határának* nevezzük és  $M$ -mel jelöljük. Értékét a  $\gamma_m$  mobilizációs fajlagos alakváltozás határozza meg, amely viszont a nyírófeszültség nagyságától és bizonyos feszültségi tartamnak,  $t_m$  mobilizációs időnek felel meg. A törés folyamatában a szövet hiányosságai és a repedések növekednek, az irányított részecskék, amelyek a repedések közelében helyezkednek el, helyileg elmozdulnak, behullanak a repedésekbe, és elvesztik irányítottaságukat, és a részecskék közötti kötések élettartama csökken. A törés folyamatát a (20) egyenlet írja le.

Mint hogy az  $M$  mobilizálási határ értékére  $t = t_m$  esetre a (18) és (20) egyenletek ugyanazt az eredményt kell hogy adják, azért  $t_0 = t_m$ . Így tehát a (20) egyenletet a következő alakban írhatjuk fel:

$$\dot{\gamma} = a \frac{\tau - \tau_p}{\xi t_m^2} t. \quad (22)$$

A (22) egyenlet integrálásával megkapjuk az alakváltozás nagyságát a törési fázisban:

$$\gamma = a \frac{\tau - \tau_p}{2 \zeta t_m^2} t^2 + C. \quad (23)$$

A kúszásnak a (22) egyenlettel leírt gyorsulása nem felel meg a ható feszültségek és alakváltozások összeférőségének, ezért a talajszerkezetnek egy másik szerkezetbe kell átrendeződnie. Az idő és az alakváltozás közötti összefüggés továbbra is négyzetes marad, de az a együttható értéke megváltozik, és a diagram a  $(t^2 - \gamma)$  koordináta rendszerben törtvonal lesz.

## 2. Kísérleti eredmények

### 2.1. A kísérletekhez felhasznált talaj

Két, nagymértékben képlékeny, érzékeny, túlkonzolidált, zavartalan szerkezetű talajmintával, amelyeket sissiai pliocén kovaföld üledékből vettünk (Örményország, Sissia kerületében a Shamb vízierőmű alagútjából), kísérleteket hajtottunk végre. A talajmintákat 1969-ben vettük 200 méter távolságban az alagút kapuzatától (a felszíntől számított mélység  $z = 40$  m volt), továbbá 1970-ben, az alagút kapuzattól 1700 m távolságban (itt a talaj felszínétől számított mélység  $z = 76$  m volt). A talajjellemzők az *I. táblázatban* láthatók. A hidrosztatikus kohéziós nyomás értéke (feszültségi metszék)  $\sigma_0 = c' \cot \varphi'$  a táblázat utolsó oszlopában szerepel.

A kísérleteket egy egyszerű gyűrűs nyíróberendezéssel végeztük. Összesen 20 kísérletet hajtottunk végre (12–31. sz. kísérletek). A nyírófeszültség értéke  $0,2 \div 0,55$ -szöröse volt a normális feszültségnek. A kísérletek időtartama  $150 \div 1200$  nap volt; a kísérletek egy része ma is folyamatban van. Csak két kísérlet végződött töréssel a 23. sz. ( $\sigma = 100 \text{ kN/m}^2$ ,  $\tau = 55 \text{ kN/m}^2$ ), és a 28. ( $\sigma = 50 \text{ kN/m}^2$ ,  $\tau = 27,5 \text{ kN/m}^2$ ). A többi, kisebb feszültségi szinteken végzett kísérlet nem végződött töréssel.

### 2.2. Idő-fajlagos alakváltozás görbék

Kivétel nélkül minden végrehajtott kísérletet és leolvasott értéket diagramokban mutattunk be és vettünk részletes vizsgálat alá, minden külön kiválasztás nélkül. Az adatok között ellentmondás nem fordult elő; ez a levont következtetéseinket megerősítette.

A kísérlet eredményeit jelentő pontok a  $(t - \gamma)$  görbéken láthatók (2a. ábra). Minden egyes kísérlethez több grafikon tartozik az abszcisszákon

1.  
Talaj-

$z$ m	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	$\gamma_s$ g/cm <sup>3</sup>	$W$ %	$\gamma_d$ g/cm <sup>3</sup>	$n$ %	$e$	$S_r$
40	1,50	2,41	82,1	0,82	66,0	1,94	1,00
76	1,44	2,50	72,0	0,84	66,5	2,00	0,90

más és más skálával a skálaértékek és a megfelelő diagramok  $A-F$  betűkkel vannak jelölve. A  $(t - \gamma)$  diagramok pontjai nem képeznek folytonos görbéket.

A szemilogaritmikus grafikonon  $(\log t - \gamma)$  a kúszás kezdeti fázisában egyenes szakaszokból álló törtvonal (2b. ábra). Minden ilyen egyenes szakasznak egy adott talajszerkezet felel meg. Ennek a törtvonalnak az  $L_i$  csúcspontjai mutatják az átmenetet az egyik szerkezetből a másikba. A hirtelen átmenetek azt jelzik, hogy a talajszerkezetek átrendeződése ugrásszerű.

A törtvonal egymásra következő szakaszai növekvő meredekségűek (2b. ábra); ez arra mutat, hogy minden következő szerkezet nagyobb ellenállást tud kifejteni az alakváltozással szemben, mint az előző, vagyis tartósabb. Így a nyírószilárdság fokozatosan mobilizálódik.

Az  $L_i$  pontokat (2b. ábra) átvittük továbbá a  $(t - \gamma)$  grafikonokra és a logaritmikus görbeszakaszokat kísérleti pontokkal raktuk fel; fiktív görbék rövid szakaszait szaggatott vonalakkal tüntettük fel a megelőző időintervallumokra. Ezekből a grafikonokból kitűnik, hogy a mobilizációs fázisban a kúszási görbék logaritmikus görbe szakaszokból állnak; a folyamat az egyik lehetséges alakváltozási logaritmikus görbéből a következő átmetsző görbébe megy át.

A kúszási görbéken nincsenek egyenes szakaszok. Úgy tűnik, hogy csaknem minden görbének a végszakasza egyenesnek tekinthető; a rákövetkező szakaszon viszont ugyanaz a szakasz nyilvánvalóan görbe vonalú. Ebből azt a következtetést lehet levonni, hogy az egyenes szakaszok jellege (folyamatos kúszás állandó alakváltozási sebességgel) a lépték következménye; kísérleteinkben egyenes szakaszok sohasem jelentkeztek. A másodrendű, vagy állandó sebességű fázis hiányát már korábban BISHOP is jelezte [1].

A  $10^6$  és  $10^7$  másodperc időintervallumban a  $(\log t - \gamma)$  diagram határozottan felfelé fordul. Az átmeneti pont (vagyis az  $M$  mobilizációs határ) határozottan megállapítható. Ez utóbbit a  $\gamma_m$  mobilizációs fajlagos alakváltozás és a  $t_m$  mobilizációs idő jellemzi.

Az első alakváltozási leolvasás időpontja a nyírófeszültség alkalmazása után 5 másodperc volt; ismeretlen talajszerkezet alakult ki és szűnt meg ez alatt az időköz alatt. Ezért a talajszerkezeteket a mobilizációs fázisban egy megadott ponttól, mégpedig az  $M$  elmozdulási határtól fordított sorrendben számozzuk.

táblázat  
jellemzők

$w_L$	$w_P$	$I_P$	$<0.002 \text{ mm}$ %	Aktivitás	$\tan \varphi'$	$e'$ kN/m <sup>2</sup>	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>
117	58,5	58,5	-27,0	2,17	0,89	45	50
73,4	33,4	40,0	25,5	1,57	0,52	50	58

A kúszás teljes folyamatát a 3a. és 3b. ábra mutatja aritmetikus, illetőleg négyzetes léptékben. A  $(t^2 - \gamma)$  négyzetes ábrázolás a kúszás utolsó fázisában szintén törtvonalat ad, amely az egymásra következő talajszerkezetekre vonatkozó egyenes szakaszokból áll. A  $Q_i$  törtvonal-csúcspontokat átvittük a 3a. ábrára és közöttük a parabolaszakaszokat a kísérleti adatok pontjain át szerkesztettük meg; feltüntettük a megelőző intervallumokra vonatkozó kis fiktív görbe szakaszokat is. Ezekből a grafikonokból világosan látható, hogy a törési fázisban a kúszási görbék parabolaszakaszokból állnak; a kúszás folyamata a törési fázisban átmegy az egyik lehetséges parabolából a következő metsző parabolába.

Kísérleteinkből az is kiderült, hogy csak két kúszási fázis létezik (mobilizációs és a törési fázis) az általánosan elismert három fázis helyett; a vázlatokat tekintve az összes levezetett kúszási görbe alakja a 4. ábrán bemutatott alaknak felel meg.

### 2.3. Idő-alakváltozási sebesség görbék

Ha a 2b. ábra abszcisszáival szerkesztett szemilogaritmusos grafikonon a törtvonal egy szakaszának hajlásszögéhez tartozó érintőt  $b$ -vel jelöljük, akkor ennek a szakasznak az egyenletét a következőképpen írhatjuk fel:

$$\gamma = A_1 + b \log t = A_1 + 0,34 b \ln t, \quad (24)$$

ahol  $A_1$  állandó. Ezt az egyenletet differenciálva, megkapjuk az alakváltozási sebességet a mobilizációs fázisban:

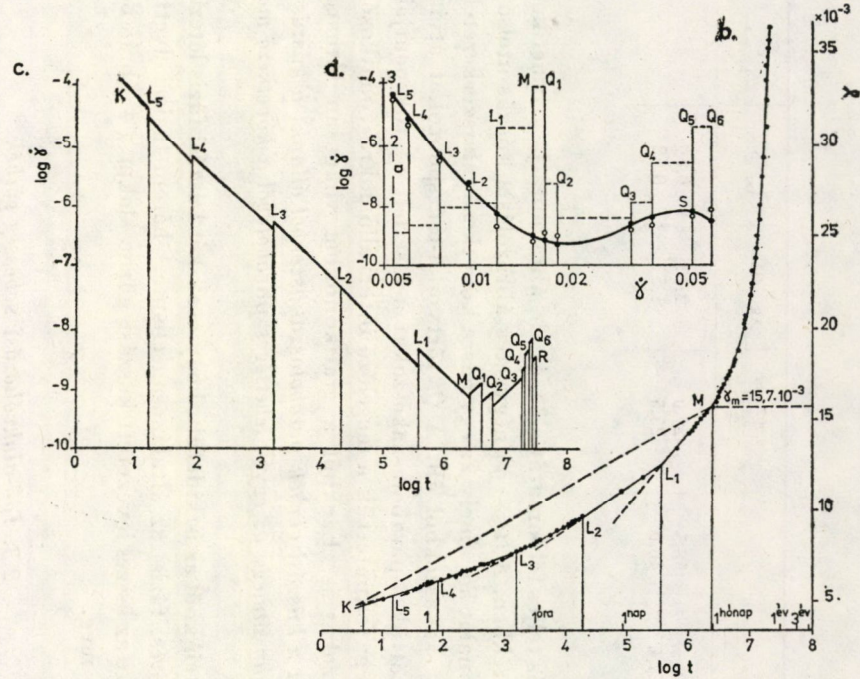
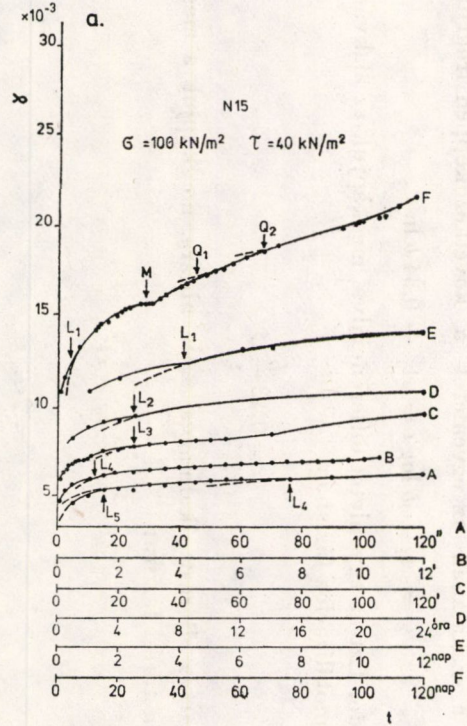
$$\dot{\gamma} = 0,43 \frac{b}{t}. \quad (25)$$

Ugyanezt az eljárást alkalmazva a 3b. ábrára, megkapjuk a megfelelő egyenleteket a törési fázisra:

$$\gamma = A_2 + ct^2 \quad (26)$$

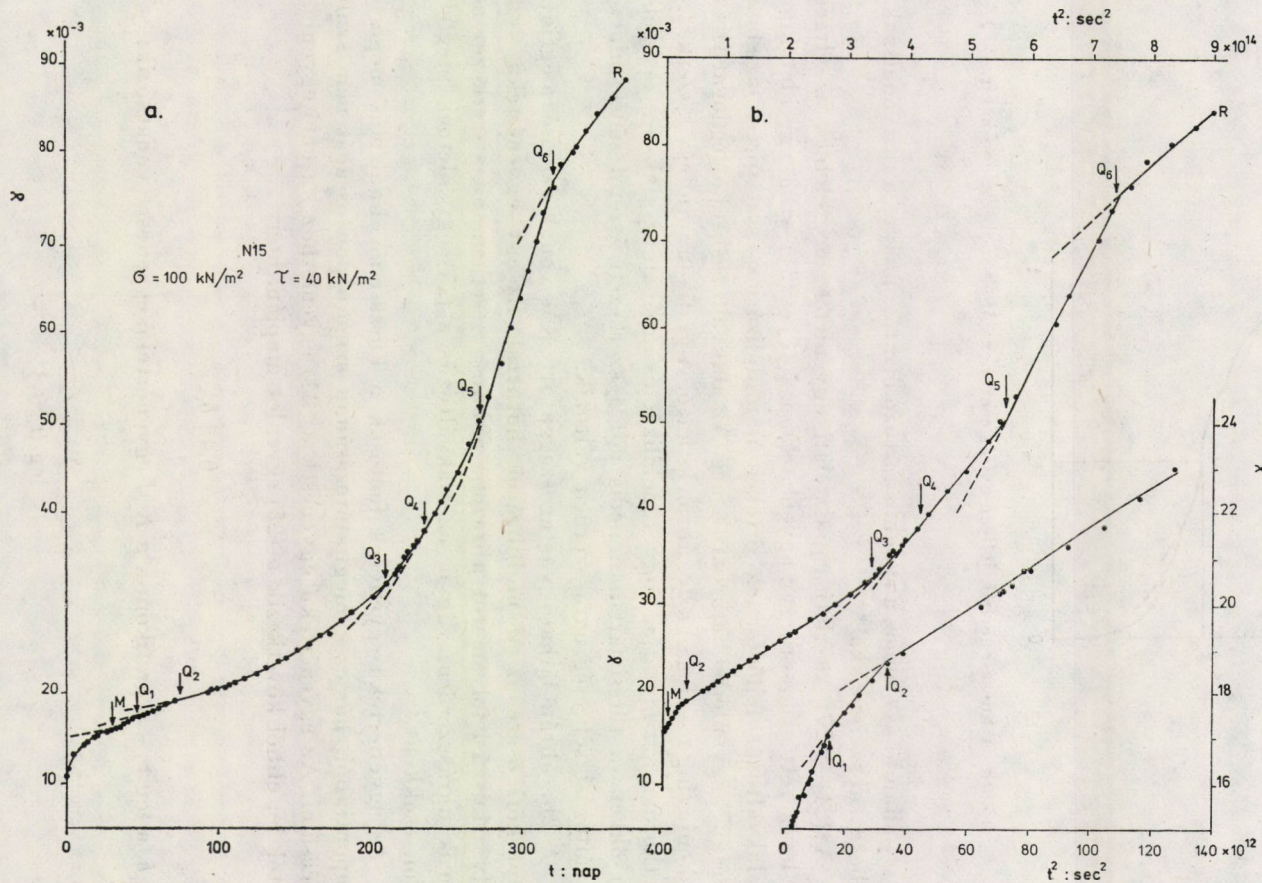
és

$$\dot{\gamma} = 2ct, \quad (27)$$

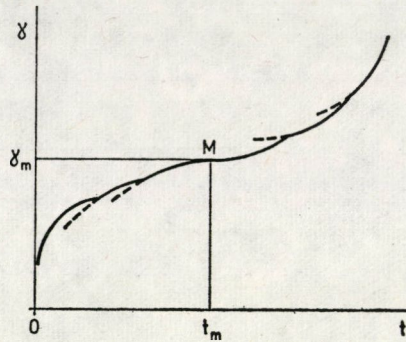


2. ábra. A 15. számú kúszási kísérlet: a) kúszási görbék a kúszás kezdeti állapotában aritmetikai léptékben; b) ugyanaz, szemilogaritmikus grafikonban; c) az alakváltozás nagysága az idő függvényében; d) a nyírás alakváltozás sebessége (folytonos vonal) és az a szerkezeti együttható változása (szaggatott vonal).





3. ábra. Kísérési görbék a 15. számú kísérlet teljes tartamára: a) aritmetikai grafikon; b) négyzetes grafikon.



4. ábra. A kúszási görbék jellege nyírás esetében;  $M$  — mobilizációs határ.

ahol  $A_2$  állandó és  $c$  ahhoz a szöghöz tartozó érintő, amelyet a törtvonalszakasz zár be az abszcisszákkal.

A (24)–(27) kísérleti tapasztalati egyenletek megfelelnek az elméleti úton levezetett azonos tárgyú egyenleteknek [(18) és (21)–(23) egyenleteknek]. Az alakváltozás fejlődésének értékeit a mobilizációs és a törési fázisban a (25) és (27) egyenlettel határoztuk meg. Az alakváltozási sebesség logaritmikus grafikonja ( $\log t - \log \dot{\gamma}$ ) a 2c. ábrán látható. A grafikon mindegyik szerkezetre vonatkozóan azt mutatja, hogy a mobilizációs fázisban az alakváltozási sebesség csökken, a törési fázisban pedig nő; a szerkezeti átrendeződés miatt az alakváltozási sebesség ugrásszerűen változik.

A 2b. ábrán látható vastag szaggatott KM vonal az első megfigyelt pontot köti össze az  $M$  mobilizációs határral. Ez egy egyenértékű vonal, amely a kúszási folyamatot ábrázolja abban az esetben, ha a szerkezet nem változik ugrásszerűen, vagyis az alakváltozás a (25) egyenletnek megfelelő módon csökkent.

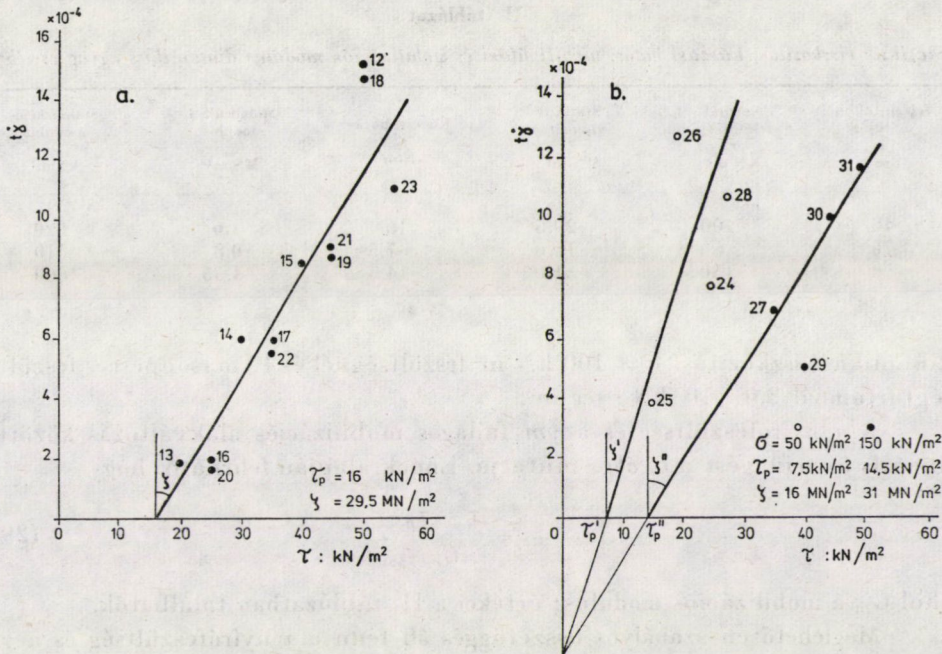
Az egyenértékű egyenesek fontosak a kúszási mechanizmus megértése szempontjából, bár ezek meghatározásának szigorú pontosságát nem szabad túlbecsülni. Az egyenértékű egyenesek a (24) egyenlethez hasonló egyenlettel írhatók le; ebből következik a (25) egyenlet alapján, hogy

$$t\dot{\gamma} = 0,43 b_e,$$

ahol  $b_e$  a  $\log t - \gamma$  grafikonon a KM egyenértékű egyenesre vonatkozik:

$$b_e = \frac{\gamma_m - \gamma_5}{\log (t_m/t_5)},$$

amelyben  $t_5$  és  $\gamma_5$  az első megfigyelt pont koordinátái (ekkor a feszültség tartama 5 másodperc).



5. ábra. Redukált reológiai görbék; a) talajminta 40 m mélységből,  $\sigma = 100 \text{ kN/m}^2$ ; b) talajminta 76 m mélységből,  $\sigma = 50$  és  $150 \text{ kN/m}^2$ .

A  $\tau$  feszültség és a  $t\dot{\gamma}$  közötti összefüggés minden egyes kísérletre vonatkozóan az 5. ábrán látható. Ezekből a diagramokból látható, hogy a  $(\tau - t\dot{\gamma})$  koordinátarendszerben a nyírás hatására bekövetkező kúszásra vonatkozó kísérletek eredményeit széles időhatárok között és nagy nyírófeszültségű intervallumban egyenes vonalakban ábrázoltuk. Ezek az ordinátákkal  $\psi$  szögeket zárnak be; reológiai görbéknek nevezhetők s a következő egyenlettel jellemezhetők:

$$\tau = \tau_p + \zeta t\dot{\gamma}. \tag{28}$$

Itt  $\tau_p$  az a nyírófeszültség, amelynél még kúszás nem lép fel (kúszási határ),  $\zeta$  pedig talajjellemző, melyet statikus viszkozitásnak nevezünk. Ez úgy definiálható, mint dinamikus viszkozitás és a feszültség tartama,  $t$  közötti viszony a mobilizációs fázisban. A statikus viszkozitás a nyírófeszültség viszonya, ahhoz a  $t$  időhöz, amely egységnyi sebességkülönbség fenntartásához szükséges két egymástól egységnyi távolságra levő párhuzamos talajréteg között. A stabilikus viszkozitás dimenziója  $FL^{-2}$ .

Egy talaj statikus viszkozitása adott normálfeszültség esetében állandó; a szóban levő talajra vonatkozó statikus viszkozitást, valamint a kúszási határt a II. táblázatban adtuk meg. A 40 méter mélységből vett talajminta

## II. táblázat

Statikus viszkozitás, kúszási határ, mobilizálási és stabilizációs modulus diatomikus agyag esetében

A felszíntől mért mélység $z$ m	Normál feszültség $\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	Statikus viszkozitás $\zeta$ MN/m <sup>2</sup>	Kúszási határ $\tau_p$ kN/m <sup>2</sup>	Mobilizálási modulus $G_m$ MN/m <sup>2</sup>	Stabilizációs modulus $G_s$ kN/m <sup>2</sup>
40	100	29,5	16	1,6	620
76	50	16,0	7,5	0,8	510
76	150	31,0	14,5	1,55	1000

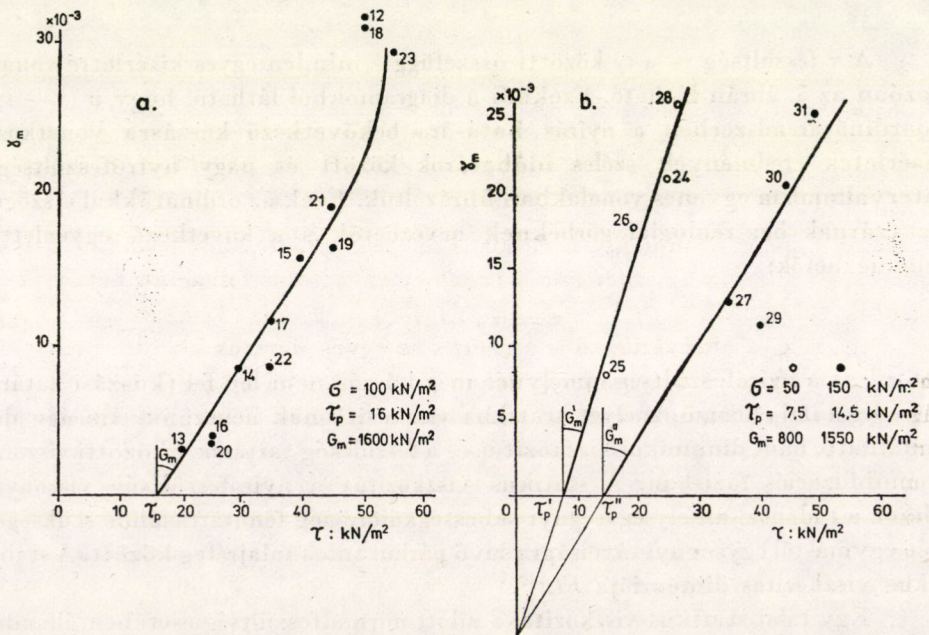
dinamikus viszkozitása  $\sigma = 100$  kN/m<sup>2</sup> feszültségnél és 10 másodperces feszültségtartamnál  $3,0 \cdot 10^5$  kN · sec/m<sup>2</sup>.

A  $\tau$  nyírófeszültség és a  $\gamma_m$  fajlagos mobilizációs alakváltozás közötti lineáris összefüggést a 6. ábra mutatja. Ennek alapján felírható, hogy

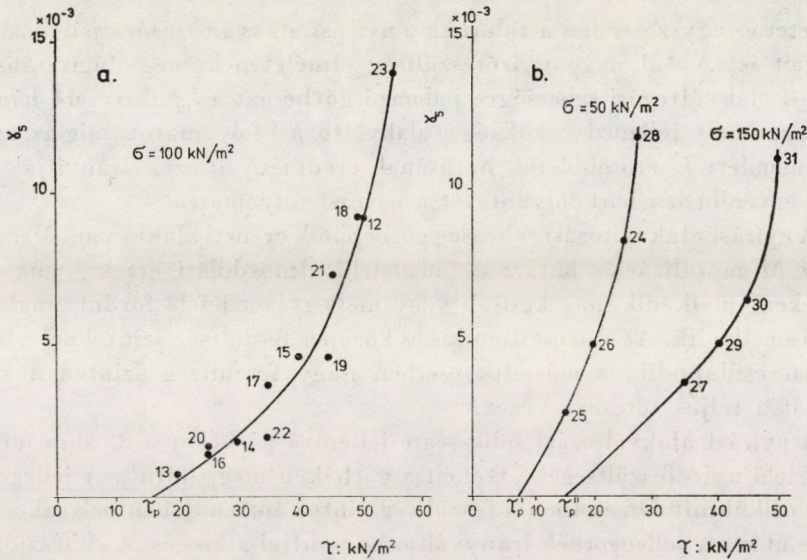
$$\gamma_m = \frac{\tau - \tau_p}{G_m}, \quad (29)$$

ahol  $G_m$  a mobilizációs modulus; értékei a II. táblázatban találhatóak.

Meglehetősen szabályos összefüggés áll fenn a  $\tau$  nyírófeszültség és a  $\gamma_m$  nyírási alakváltozás között a feszültség alá helyezés első 5 másodpercében (7. ábra).



6. ábra. A  $\gamma_m$  mobilizációs fajlagos alakváltozás, mint a  $\tau$  nyírófeszültség függvénye; a) talajminta 40 m mélységből,  $\sigma = 100$  kN/m<sup>2</sup> b) talajminta 76 m mélységből,  $\sigma = 50$  és  $150$  kN/m<sup>2</sup>.



7. ábra. A  $\gamma_p$  alakváltozás 5 másodpercig tartó feszültség után, mint a  $\tau$  nyírófeszültség függvénye; a) talajminta 40 m mélységből,  $\sigma = 100 \text{ kN/m}^2$ ; b) talajminta 76 m mélységből,  $\sigma = 50$  és  $150 \text{ kN/m}^2$ .

### 2.4. Jelleggörbék

A fajlagos alakváltozás és annak sebessége közötti összefüggést a 2d. ábra logaritmikus léptékű ábrája mutatja. Itt a függőleges egyenesek azoknak a fajlagos alakváltozásoknak az ordinátái, amelyek a szerkezet ugrásszerű átrendeződésének felelnek meg; az üres körök a fajlagos alakváltozási sebességet jelzik az ugrásszerű szerkezetváltozás előtt, a fekete körök pedig az utána következőket. A fekete körök jól láthatóan sima görbén vannak (vastag vonallal kihúzva), míg a fehér körök meglehetősen szabálytalanul helyezkednek el. Ennek nagy fontossága van az alakváltozás folyamán bekövetkező ugrások szerepében.

A fajlagos alakváltozási sebességek az egyes ugrások közötti intervallumokban egészen szabályosan változnak a (25) vagy (27) egyenlet értelmében. Az egyes intervallumok végén a fajlagos alakváltozási sebesség meghatározott értékű, az intervallum tartamától függően. Ezután egy ugrás következik, és ennek eredményeképpen a fajlagos alakváltozási sebesség vagy nő, vagy csökken. Minthogy csakis a fekete pontok fekszenek sima görbéken, nyilvánvaló, hogy a talajszerkezet ugrásszerű átrendeződésének célja az, hogy eltérítse a kúszási folyamatot attól, amelyet a (25) vagy (27) egyenlet ír le egy másik felé, amely az adott talajra vonatkozóan jellemző. Következésképpen a talajszerkezet ugrásszerű átalakulása nem véletlen, hanem eszköz a kúszási folyamatnak az alkalmazkodására. Ily képpen a folyamat kielégíti a (25) vagy (27)

egyenletet és egyszersmind a talajnak a nyírási alakváltozására jellemző tulajdonságait is. A túl nagy nyírófeszültség elméletének megvilágításában [8] a nyírási alakváltozási sebességre jellemző görbe azt a  $k_a$  aktív erő hányadot adja meg, amely jellemzi a szükséges alakváltozási folyamatot, míg az ugrások a felgyülemlett  $k_c$  erőttöbbletek hatásának eredményei; ezek irányítják a (25) és (27) egyenletben leírt folyamatot a nyírási folyamatra.

A nyírási alakváltozási sebesség görbéjének eredeti alakja van. Meredeken esik az  $M$  mobilizációs határnak megfelelő elmozdulási értékig, majd újra meredeken emelkedik, míg később vagy mégegyszer lefelé fordul, vagy pedig tovább emelkedik. Az első esetben kis és közepes feszültség szinteknél a kúszási folyamat csillapodik, a második esetben nagy feszültség szinten a kúszási folyamat a teljes töréshez vezet.

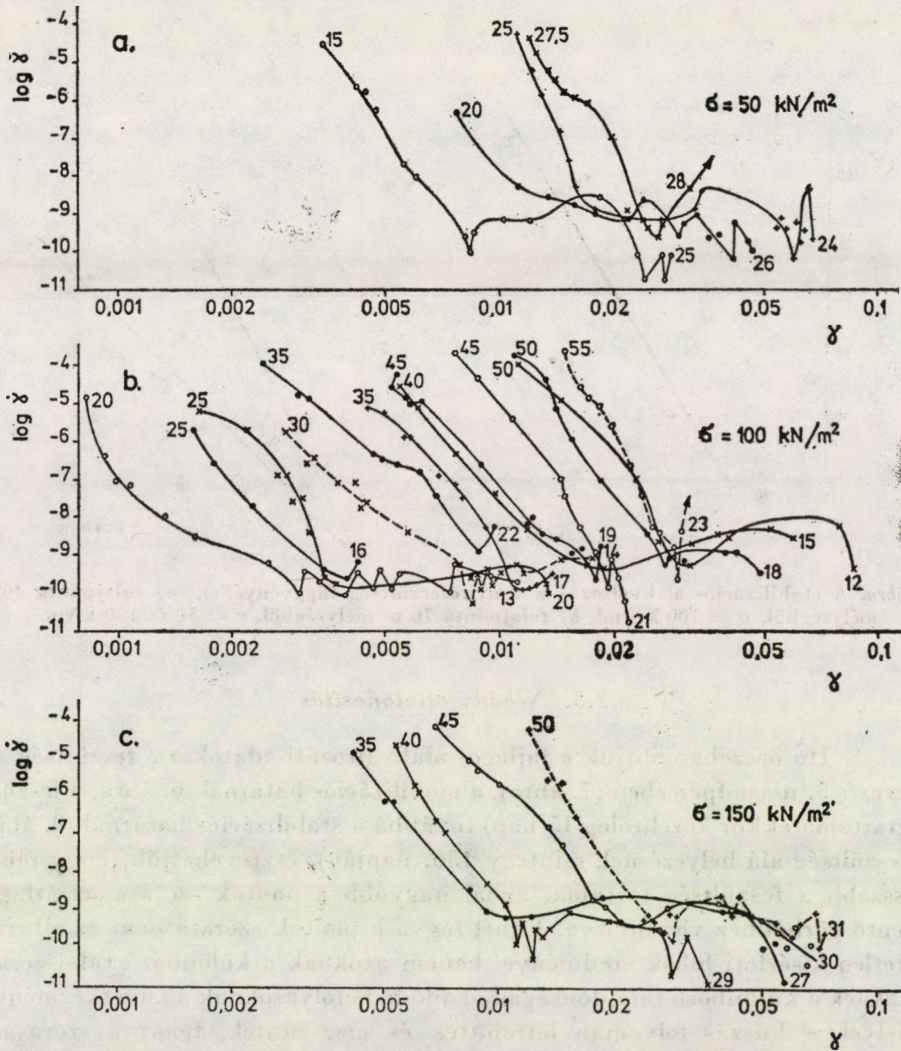
A nyírási alakváltozási sebességre jellemző görbéket a 8. ábra mutatja; a megfelelő nyírófeszültségek értékeit a görbéken megjelöltük. A jelleggörbék kivétel nélkül minden esetben a feszültség szintek sorrendjében helyezkednek el egymás után. A jelleggörbék irányváltozási pontjai a kis- és nagy feszültségek szintjén különös jelentőségűek: megmutatják a  $\gamma_s$  fajlagos alakváltozás nagyságát a törési fázisban, ahol a  $\dot{\gamma}$  fajlagos alakváltozási sebesség a maximális. E pont után a fajlagos alakváltozási sebesség gyorsan csökken és a kúszási folyamat csillapodik; ezt a pontot *stabilizációs határnak* nevezzük és  $S$ -sel jelöljük.

A  $\tau$  nyírófeszültség és a  $\gamma_s$  stabilizációs fajlagos alakváltozás közötti lineáris összefüggést a 9. ábra mutatja; ebből

$$\gamma_s = \frac{\tau - \tau_p}{G_s}, \quad (30)$$

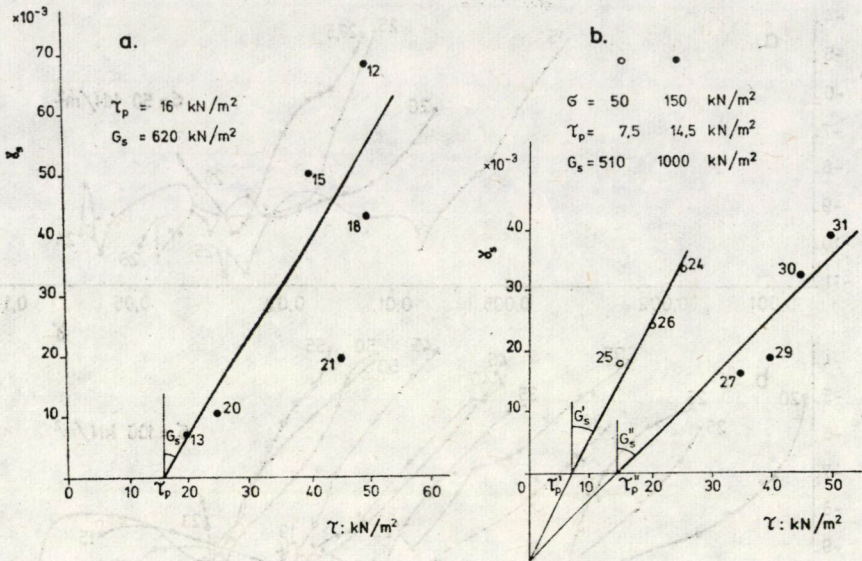
ahol  $G_s$  a stabilizációs modulus; értékeit a II. táblázat tünteti fel.

Alapvető különbség van a folyamat kezdetétől az  $S$  stabilizációs határig terjedő kúszási szakasz, valamint az ettől a határtól a folyamat befejeződéséig tartó kúszási szakasz között. Az első esetben a talajszerkezetek sora alakult ki; ezek mindegyikének határozott alakváltozási jellege van (csillapodó, vagy gyorsuló, lásd a (25) és (27) egyenletet); ugyanilyen jellegű a jelleggörbe is (a görbe vagy felfelé, vagy lefelé tart); ezért az ugrásokra csak ezeknek az elemeknek a kölcsönös simulása miatt van szükség. A második szakaszban az  $S$  stabilizációs határ után a fenti két elem ellenkező irányt vesz fel; a jelleggörbe lefelé tart (csillapításos szakasz), míg a fajlagos nyúlási sebesség mindegyik szerkezetre vonatkozóan (28) egyenlet szerint növekszik (gyorsulás esete). Ez az ellentmondás könnyen feloldható: az  $a$  szerkezeti együttható az újonnan kialakult szerkezetekre vonatkozóan kis és közepes feszültségek esetében kisebb, mint a nagy feszültségeknél kialakult talajszerkezeteknél.



8. ábra. Jelleggörbék az összes kísérletekre vonatkozóan; a) talajminta 76 m mélységből  $\sigma = 50 \text{ kN/m}^2$ ; b) talajminta 40 m mélységből,  $\sigma = 100 \text{ kN/m}^2$ ; c) talajminta 76 m mélységből,  $\sigma = 150 \text{ kN/m}^2$ . A görbék kezdőpontjánál szereplő számok nyírófeszültségek  $\text{kN/m}^2$  dimenzióban, a görbék végénél levő számok pedig a kísérletek számát jelentik.

Az *a* szerkezeti együttható nagy értékei a nagy feszültség szinteken arra mutatnak, hogy a kúszási folyamat jelentős mértékben meggyorsul a talaj teljes törése előtt. A fajlagos nyúlási sebesség némi csökkenés utáni növekedését először BISHOP és LOVENBURY [1] figyelte meg, és korlátozott instabilitásnak nevezte el. A stabilizációs határ fizikai természetét részletesebb tanulmányokat igényel, a fentiekben foglalt megjegyzéseknek csak tájékoztató jellegük van.



9. ábra. A stabilizációs alakváltozás a  $\tau$  nyírófeszítés függvényében; a) talajminta 40 m mélységből,  $\sigma = 100 \text{ kN/m}^2$ ; b) talajminta 76 m mélységből,  $\sigma = 50$  és  $150 \text{ kN/m}^2$ .

## 2.5. Néhány általánosítás

1. Ha összehasonlítjuk a fajlagos alakváltozási adatokat a feszültség alá helyezés 5. másodpercében (7. ábra), a mobilizációs határnál (6. ábra, a feszültségtartama ekkor közelítőleg 15 nap) továbbá a stabilizációs határnál (9. ábra, a feszültség alá helyezésnek mintegy 150. napján), észrevehetjük, hogy minél hosszabb a feszültség tartama, annál nagyobb a pontok szórása az átlagot jelentő görbékhez viszonyítva. Ennél fogva a pontok szórása nem az elkerülhetetlen kísérleti hibák eredménye, hanem azoknak a különböző talajszerkezeteknek a különböző tulajdonságaiból adódó befolyásoknak a következménye, amelyek a kúszás folyamán létrejöttek és megszűntek, tehát a szórásnak valószínűségi jellege van („a gyermekek mind hasonlóak, a felnőttek azonban különböznek egymástól attól függően, hogy milyen életmódot folytattak”).

2. A  $\zeta$  statikus viszkozitás, a  $\zeta_p$  kúszási határ, valamint a  $G_m$  mobilizációs és  $G_s$  stabilizációs modulus egyszerű összefüggésben vannak a  $\sigma$  normál feszültséggel, a következők szerint:

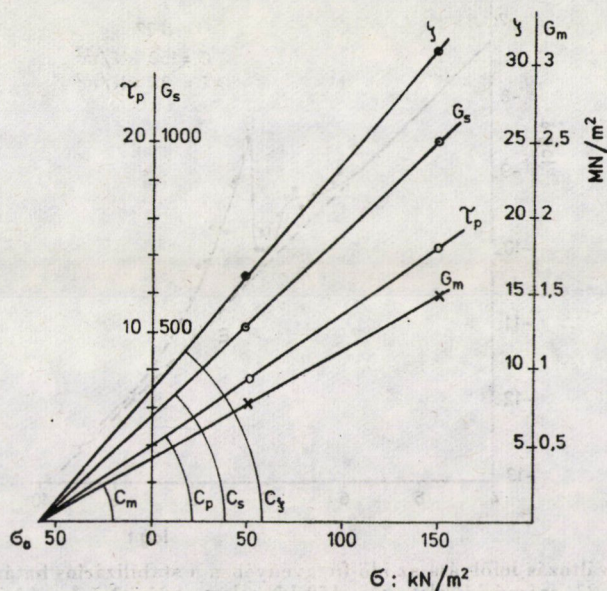
$$\zeta = C_s (\sigma + \sigma_0), \quad (31)$$

$$\tau_p = C_p (\sigma + \sigma_0), \quad (32)$$

$$G_m = C_m (\sigma + \sigma_0), \quad (33)$$

$$G_s = C_s (\sigma + \sigma_0). \quad (34)$$



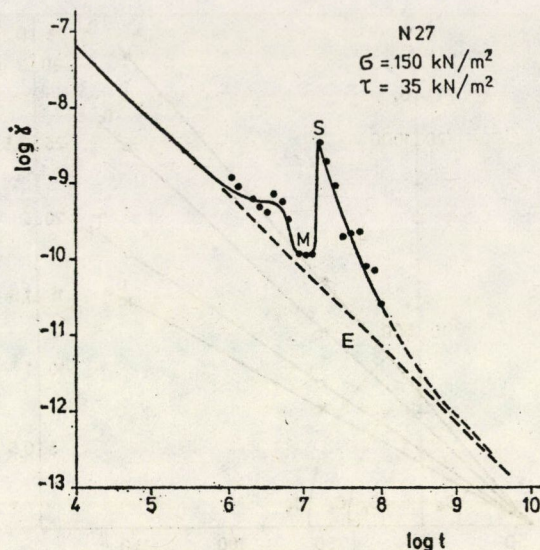


10. ábra.  $\zeta$  statikus viszkozitás,  $\tau_p$  kúszáshatár, továbbá  $G_m$  elmozdulási modulus és  $G_s$  stabilizációs modulus a  $\sigma$  normálfeszültség függvényében.

Ezeket az összefüggéseket a 10. ábrán mutatjuk be. Itt  $C_\zeta$ ,  $C_p$ ,  $C_m$  és  $C_s$  dimenzió nélküli együtthatók. Értékeiket a 76 méter mélységből kiemelt talajmintára határoztuk meg, melyekkel két kísérlet sorozatot végeztünk; itt  $\sigma_0 = c \cot \Phi = 58 \text{ kN/m}^2$  volt (I. táblázat). A (21)–(34) egyenlet együtthatóinak értékeire a következő számadatokat kaptuk:  $C_\zeta = 10$ ;  $C_p = 0,07$ ;  $C_m = 7,5$ ;  $C_s = 4,8$ .

3. Az alakváltozási sebesség folyamatos csökkenése a stabilizációs határ után kis és közepes nyírófeszültségek mellett következik be. Az alakváltozás sebességének rendkívül alacsony értéke folytán ( $10^{-10} \div 10^{-12} \text{ 1/sec}$ ), az átlagos kúszási sebességet számítottuk a  $\log t$  tengely egyenlő nagyságú szakaszaira, ahelyett, hogy a kialakuló szerkezetek paramétereit számítottuk volna. Egy ilyen hosszú időtartamú kísérlet (mely mintegy három évig tartott) eredményeit a 11. ábrán mutatjuk be. Ezek a huzamos ideig tartó kísérletek nem mutatták meg a kúszás befejeződését; a kísérleti adatok arra hívták fel a figyelmet, hogy az átlagos kúszási sebesség görbék a logaritmikus léptékű grafikonon ( $\log t - \log \dot{\gamma}$ ) aszimptotikusan tartanak az egyenértékű vonalak folytatásához.

A stabilizálódás előrehaladott állapotában a talajszövet hibái valószínűleg megszűnnek, és a folyamat követi az elmozdulási fázis viselkedését, amelyet a (18) és (21) egyenlet ír le. Ilyen formán egy nagyon hosszan tartó feszültségi



11. ábra. Az alakváltozás lefolyása az idő függvényében a stabilizációs határ után (talajminta 76 m mélységből, 27. számú kísérlet,  $\sigma = 150 \text{ kN/m}^2$ ;  $\sigma = 35 \text{ kN/m}^2$ , a kísérlet tartama 1160 nap); E – egyenértékű vonal.

állapot után (több mint  $10^9$  mp vagy esetleg még több, mint 30 év után) a nyírás okozta kúszás gyorsasága kis- és közepes nagyságú feszültség esetében az idővel fordított arányban csökken:

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau - \tau_p}{\zeta} \cdot \frac{1}{t} \quad (35)$$

így a dinamikus viszkozitás változásának szekuláris törvénye:

$$\eta = \zeta t. \quad (36)$$

Ezért a törési fázis kezdetén (mobilizációs és stabilizációs határok között) a kúszás gyorsulása által okozott eltérések elhanyagolhatók; feltételezhető, hogy a nyírás okozta alakváltozás követi a szekuláris kúszás logaritmikus törvényét:

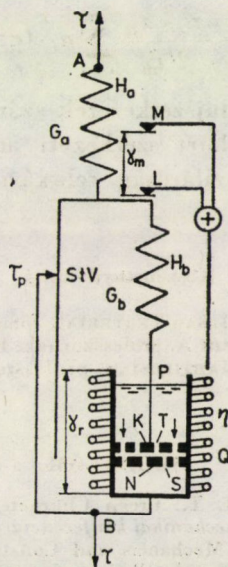
$$\gamma = \frac{\tau - \tau_p}{\zeta} \ln(t + 1) + C. \quad (37)$$

Az idő és a szekuláris kúszás közötti logaritmikus összefüggés hipotézise (37. egyenlet), valamint a lineáris összefüggés az idő és a dinamikus viszkozitás között (36. egyenlet) nagy geológiai jelentőségűek; ezek kísérleti igazolásához azonban több évtizedig tartó kísérletek végrehajtására lenne szükség.

## 3. Reológiai modell

Az anyag nyírás hatására bekövetkező viselkedésének leírására a következő reológiai modellt hozzuk javaslatba (12. ábra). A modell három részből áll. Felső része nyugalmas, a Hooke törvényt követő test  $H_a$ . A baloldali rész,  $StV$ , St. Venant-féle test. A jobb oldali rész rugalmas-képlékeny relaxáló, egy adott terhelésnél tönkremenő test, változó viszkozitással. Ez egy  $H_b$  rugóból áll, amely a végén össze van kötve egy  $S$  furatokkal ellátott  $N$  dugattyúval. A dugattyú  $P$  csillapító közegben mozog, amelyet  $Q$  csőkigyó vesz körül. Az  $N$  dugattyún  $T$  furatok vannak és egy szeleptárcsa,  $K$ , amely tengelye körül elforoghat. A  $K$  tárcsa elforgása ugrásszerűen következik be; minden alkalommal a  $K$  tárcsa  $T$  furatainak egy része egybe esik az  $N$  dugattyú  $S$  furatainak egy részével. Ilyen nyitott furatokat mutat be a 12. ábra, nyilakkal megjelölve. Az  $a$  szerkezeti együtthatót a nyílt furatok összes területe jellemzi; ez az érték adott program szerint változik. A  $K$  szeleptárcsa minden helyzete a talaj egy meghatározott szerkezetének felel meg. A  $P$  csillapító hossza megfelel a  $\gamma_r$  törési alakváltozásnak; amint a nyúlás eléri ezt az értéket, az  $N$  dugattyú kimozdul a csillapítóból és a test tönkremegy.

A reológiai test jobb oldali részén két érintkező van,  $L$  és  $M$ . Az  $L$  érintkezőt bekapcsoljuk e rész elmozdulása kezdetekor, a  $\tau = \tau_p$ -nél; ekkor a hűtő folyadék átfolyik a  $Q$  csőkigyón (elmozdulási fázis). Az  $M$  második érintkező akkor kapcsolódik be, ha fellép a  $\gamma_m$  elmozdulási alakváltozás és ekkor a melegítő folyadék áramlik át a  $Q$  csőkigyón (törési fázis).



12. ábra. Nyírásra igénybe vett anyag kúszásának reológiai modellje.

A javasolt reológiai test a Schwedoff-féle testtől a következő lényeges alkatrészekben tér el:

1. a  $Q$  csőökigyó a hűtő, vagy melegítő folyadékkal a változó viszkozitást szimulálja, amely az elmozdulási fázisban növekszik és a törési fázisban csökken;

2. az  $L$  és  $M$  érintkezők, amelyek a hűtő és melegítő folyadékot vezérlik, a csillapítóban képviselik a  $\tau_p$  kúszási határt illetőleg  $\tau_m$  elmozdulási határt;

3. a  $K$  szeleptárcsa a furatok programozott elrendezésével és beállításával modellezi a talajszerkezetet mechanikai tulajdonságainak valószínűségi jellegét, a  $\gamma_s$  stabilizációs határt a kis és közepes feszültség szinteken; valamint a kúszás gyorsulását a nagy feszültség szinten;

4. a  $\gamma_r$  véges csillapító hosszúság modellezi a talajminta teljes tönkremenetelét adott fajlagos alakváltozás elérése után.

A reológiai modell részletes leírása és a képletek levezetése egy másik közlemény tárgya [9]. Itt csak a végleges kifejezéseket közöljük. Az alakváltozás nagysága a mobilizációs fázisban:

$$\gamma = \frac{\tau_p}{G_1} + \frac{\tau - \tau_p}{G_2} + \frac{\tau - \tau_p}{\zeta} \sum_{i=1}^{n_1} a_i \ln \frac{t_i + \Delta t}{t_{i-1} + \Delta t}, \quad (38)$$

ahol  $t_0 = 0$ ;  $G_1$  és  $G_2$  a test rugalmassági modulusa a  $0 - \tau_p$  illetőleg a  $\tau_p - \tau$  feszültség intervallumban;  $\Delta t$  egy kis időintervallum, amely az egységgel, pl. 1 másodperccel egyenlő;  $n_1$  a talajszerkezetek száma az elmozdulási fázisban; a  $t = t_m$ ,  $\gamma = \gamma_m$  esetében.

Az alakváltozás a törési fázisban

$$\gamma = \gamma_m + \frac{\tau - \tau_p}{2\zeta t_m^2} \sum_{i=j}^{n_2} a_i \cdot (t_i^2 - t_{i-1}^2), \quad (39)$$

amelyben  $t_{j-1} = t_m$  és  $n_2$  a talajszerkezetek száma a törési fázisban.

Az anyag kúszásának leírt szerkezeti analitikus vizsgálati módszere bőséges teret biztosít a nyírószilárdság, relaxáció és tartós szilárdság további vizsgálataira.

#### Köszönetnyilvánítás

A Szerző háláját fejezi ki PAITSAR TERTERIAN főmérnöknek a kísérletek kiváló végrehajtásáért. Köszönettel tartozik KÉZDI Á. professzornak, BISHOP A. W. professzornak, YU. K. ZARETSKY professzornak és TER-MARTIROSIAN professzornak a tanulmány elkészítésében nyújtott értékes támogatásáikért.

#### IRODALOM

1. BISHOP A. W.—LOVENBURY H. T.: Creep Characteristics of Two Undisturbed Clays. *Jelentés a 7. nemzetközi talajmechanikai konferenciáról*, Mexico (1969), 1, 29—37.
2. BJERRUM, L.: Problem of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays (Összefoglaló jelentés). *A 8. nemzetközi talajmechanikai konferenciáról kiadott jelentés*, Moszkva (1973), 3, 111—159.

3. EYRING, H. (1936); Viscosity, Plasticity and Diffusion as Examples of Absolute Reaction Rates. *Jnl. Chem. Phys.* 4.
4. FLASSTONE, S.—LAIDER, K.—EYRING, H.: The Theory of Rate Processes. McGraw Hill, New York 1941.
5. MITCHELL, F. K.: Shearing Resistance of Soils as a Rate Process. *Jnl. Soil Mech. Fdns. Div. Am. Soc. Civ. Engrs.* 90 (1964) SM 1, 29—61.
6. MITCHELL, F. K.—CAMPANELLA, R. G.—SINGH, A.: Soil Creep as a Rate Process. *Jnl. Soil Mech. Fdns. Div. Am. Soc. Civ. Engrs.* 94 (1968) SM 6, 231—253.
7. SCOTT, R. F.—KO HOH-YIM (1969): Stress Deformation and Strength Characteristics. A 7. nemzetközi talajmechanikai konferenciáról kiadott jelentés. Mexico (1969). State-of-the-Art volume, 1—47.
8. TER-STEPANIAN, G. (1936): On The Influence of the Scale-like Shape of Clay Particles on the Process of Shear in Soils. *Trans Armenian Acad. Sci., Nat. and Tech. Sci.* (1948) 1, 2. sz. 167—185 (orosz nyelven).
9. TER-STEPANIAN, G.: A New Rheological Model of Creep of a Clay at Shear. *Problems of Geomechanics Yerevan*, 6 (1973), 108.
10. TERZAGHI, K.: Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage. F. Deuticke, Leipzig und Wien 1925.
11. VJALOV, S. S.—ZARECKI, JU. K.—MAKSZIMIAK, R. V.—PEKARSZKAJA, N. K.: Problems of the Structural Rheology of Clay. *Bull. Int. Ass. Ang. Geol.*, Paris, 5 (1972), 79—83.

**On Creep of Clay at Shear.** Many soil structures are originated and destroyed during shear; the structures are characterized by a mutual arrangement of contacts and by forces acting in them. Transition from one structure to the other proceeds in a jump-like way. The creep process consists of two phases — mobilization and rupture. In the mobilization phase the strain rate decreases directly with time, in the rupture phase it increases. Therefore the creep curves in the mobilization phase consist of portions of logarithmic curves, while in the rupture phase — those of parabolas. The following four features are characteristic of soil behaviour: creep limit, static viscosity and moduli of mobilization and stabilization; these quantities are linearly related to the normal pressure. The strain rate at low and middle shear stress levels, following the stabilization limit decreases, while at high stress levels the process ends in rupture. The theory of the creep of a clay at shear is suggested, which was proved by experiments of long duration; the rheological model of the soil is compiled and equations of the mechanical behaviour are derived.

**Über das Kriechen des Tons unter Schubbeanspruchung.** Im Verlauf des Kriechens des auf Schub beanspruchten Tons wird eine Folge von Bodenstrukturen zustande gebracht und zerstört; berechnend für die Bodenstrukturen sind die wechselseitige Anordnung der Kontaktflächen und die innerhalb des Tons auftretenden Kräfte. Der Übergang von einer Struktur in die andere erfolgt sprunghaft. Der Kriechvorgang besteht aus zwei Phasen: Mobilisierung und Bruch. In der Mobilisierungsphase nimmt die Größe der Verformung mit der Zeit geradlinig ab, während sie in der Bruchphase mit der Zeit zunimmt. Deshalb bestehen die Kriechkurven in der Mobilisierungsphase aus logarithmischen Kurvenabschnitten und in der Bruchphase aus Parabelabschnitten. Bezeichnend für das Verhalten des Bodens sind die folgenden Eigenschaften die Kriechgrenze, statische Viskosität sowie der Mobilisierungs- und Stabilisierungsmodul: diese Werte sind gerade proportional zum Normaldruck. Die Größe der Verformung nimmt mit dem Absinken der Stabilisierungsgrenze auf den niedrigen und mittleren Schubspannungsniveaus ab, während im Fall von hohen Schubspannungen der Vorgang im Bruch endet. Der Autor beschreibt seine Theorie bezüglich des Kriechens des auf Schub beanspruchten Tons, die durch Dauerbeanspruchungsversuche nachgewiesen wurde; gibt das rheologische Modell des Bodens bekannt und stellt die Gleichungen des mechanischen Verhaltens ab.



# CSILLAGHÉJAK TERVEZÉSE TOTÁLIS TEHERRE

CSONKA PÁL

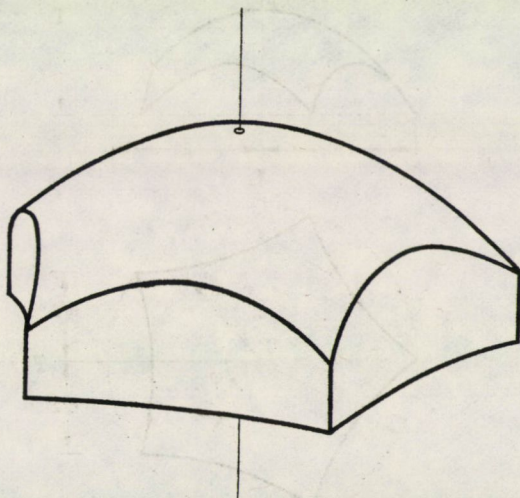
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett: 1975. január 28.]

A dolgozat forgásszimmetrikus megoszló totális teherrel (egyidejűleg működő önsúlyteherrel és hőteherrel) terhelt forgásparaboloid héjak tervezésével foglalkozik. A tárgyalt héjak alaprajzi idoma befelé ívelt oldalakkal bíró szabályos alakzat, ún. *csillagsokszög*. A dolgozat felteszi, hogy a szóban forgó héjaknak, az ún. *csillaghéjaknak* peremtartója teljes hosszában fallal van alátámasztva, miért is e tartók keresztmetszeteire csak központos derékerő — *kötélerő* — hat. Magának a csillagsokszögnek alakja akként van megállapítva, hogy a héj feszítőerői zárt képletekkel legyenek számíthatók. A javasolt számítóeljárás egyszerű voltát számpélda igazolja.

## 1. Bevezetés

*Csillagsokszögön* befelé ívelt oldalakkal bíró szabályos sokszögszerű síkidomot, *csillaghéjon* pedig csillagsokszög alaprajz fölé szerkesztett forgásparaboloid héjat értünk (1. ábra). Utóbbiról feltesszük, hogy szélét fallal alátámasztott peremtartó szegélyezi. Az ilyen peremtartó keresztmetszetein csak központos derékerők — *kötélerők* — keletkeznek [5].



1. ábra. Ötoldalú csillaghéj.

A héjra ható teherként forgásszimmetrikus megoszlású függőleges erőket (egyidejűleg működő önsúlyterhet és hőterhet) veszünk számításba.

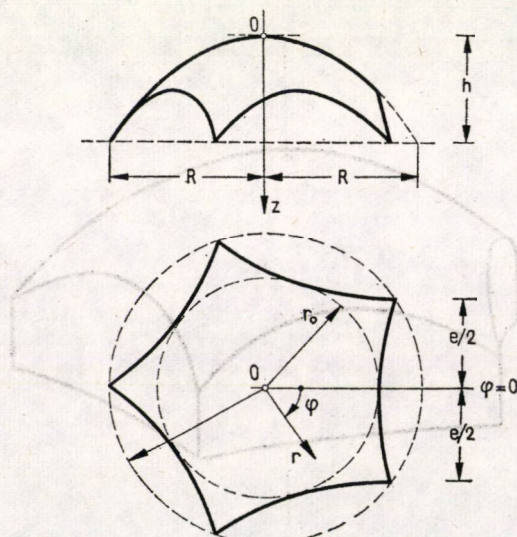
Vizsgálatainkat a membránelmélet szokásos feltevéseinek keretében végezzük. A héj és peremtartó egymástól eltérő alakváltozása folytán előálló hajlító- és csavaróerőket figyelmen kívül hagyjuk.

Magának a csillagsokszögnek az alakját a számításba veendő teherrendszertől függően úgy állapítjuk meg, hogy ezen teherrendszer (vagy vele arányos teherrendszerek) hatására a héjban keletkező feszítőerők zárt képletekkel legyenek számíthatók.

A csillaghéjak egy különleges egyszerű fajtájával, az alaprajz területén *egyenletesen megoszló* függőleges erőrendszerre tervezett csillaghéjak problémájával már két előző dolgozatunkban foglalkoztunk [3, 4]. Jelen tanulmányunk egy általánosabb feladatot tárgyal: a *forgásszimmetrikus megoszlású* függőleges erőrendszerre (önsúlyterherre és vele egyidejűleg működő hőterherre) tervezett csillaghéjak problémáját oldja meg.

## 2. Az alakfüggvény

Vizsgálatainkat a 2. ábrán feltüntetett  $O(r, \varphi, z)$  hengeres koordináta-rendszerben végezzük. Ennek  $O$  kezdőpontja a héj középfelületének tetőpontjában van,  $z$  tengelye a paraboloidhéj forgástengelyével esik egybe. A  $z$  tengely pozitív ága lefelé irányul, a  $\varphi = 0$  poláris sík pedig az alaprajzi idom egyik oldalát felezi.



2. ábra. Az  $O(r, \varphi, z)$  hengeres koordinátarendszer.



A csillagsokszög köré írt kör sugarát  $R$  betűvel, a beírt kör sugarát  $r_0$  betűvel, a csillaghéj magasságát  $h$  betűvel jelöljük.

Az  $n$ -oldalú csillagsokszög sarokpontjainak koordinátái:

$$r = R; \quad \varphi = \frac{\pi}{n}, \frac{3\pi}{n}, \frac{5\pi}{n}, \dots, \frac{(2n-1)\pi}{n}.$$

Az  $O(r, \varphi, z)$  koordináta rendszerben a csillaghéj alakját középfelületének egyenletével, vagyis a

$$z = \frac{h}{R^2} r^2$$

egyenlettel jellemezzük. Ezt az egyenletet a héj *alakfüggvényének* nevezzük.

### 3. A teherfüggvény

A héjra ható terheket az *alaprajz* területegységére vonatkoztatott fajlagos értékükkel, az ún. *redukált* teherértékekkel jellemezzük. A redukált teherértéket kifejező

$$\bar{p} = \bar{p}(r) \quad (1)$$

függvényt *teherfüggvénynek* nevezzük.

Az alábbiakban kétféle teherfüggvénnyel foglalkozunk.

#### 3.1. A pontos teherfüggvény

Így nevezzük az állandó falvastagságú héj önsúlyterhének és az alaprajz területén egyenletesen megoszló hőtehernek együttes értékét kifejező teherfüggvényt. Ha a héjfalnak a *középfelület* felszínegységére vonatkoztatott fajlagos súlya

$$p_0 = \text{konst.},$$

a héjra ható hőtehernek az *alaprajz* területegységére vonatkoztatott fajlagos értéke pedig

$$p_s = \text{konst.},$$

akkor a „pontos” teherfüggvény a

$$\bar{p} = p_0 \sqrt{1 + \left(\frac{dz}{dr}\right)^2} + p_s = p_0 \sqrt{1 + \frac{4k^2 r^2}{R^4}} + p_s \quad (2)$$

képlettel fejezhető ki. Ez a függvény az

$$a \equiv \frac{R^2}{2h} \quad (3)$$

egyszerűsítő jelöléssel

$$\bar{p} = \frac{P_0}{a} \sqrt{a^2 + r^2} + p_s \quad (4)$$

alakra hozható.

### 3.2. A közelítő teherfüggvény

Így nevezzük a teherfüggvényt, ha a héjra ható totális terhet (az önsúlyterhet és a vele egyidejűleg működő hőterhet) valamely

$$\bar{p} = A_0 + A_1 \frac{r^2}{R^2} + A_2 \frac{r^4}{R^4} + \dots + A_k \frac{r^{2k}}{R^{2k}} \quad (5)$$

alakú polinommal közelítjük meg.

Ilyen szerkezetű teherfüggvényt alkalmazhatunk közelítésként a 3.1. alatti „pontos” teherfüggvény helyett is. Ilyenkor közelítő polinomként a

$$\bar{p}^* = (p_0 + p_s) + \frac{9}{5} p_0 \gamma \frac{r^2}{R^2} - \frac{2}{3} p_0 \gamma^2 \frac{r^4}{R^4}. \quad (5^*)$$

kifejezés használható, ahol

$$\gamma = \frac{h^2}{R^2}.$$

### 4. A feszültségfüggvény

A függőleges megoszló  $\bar{p} = \bar{p}(r, \varphi)$  erőkkel terhelt forgáshéjak  $F = F(r, \varphi)$  feszültségfüggvénye, mint ismeretes [3], általában az alábbi differenciálegyenletnek tartozik megfelelni:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial r^2} \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{dz}{dr} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial F}{\partial r} \cdot \frac{d^2 z}{dr^2} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2} \cdot \frac{d^2 z}{dr^2} + \bar{p} = 0.$$

Forgásparaboloid esetében

$$\frac{dz}{dr} = \frac{2h}{R^2} r = \frac{r}{a}, \quad \frac{d^2 z}{dr^2} = \frac{2h}{R^2} = \frac{1}{a},$$

miért is a feszültségfüggvény által kielégítendő differenciálegyenlet így egyszerűsödik:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2} + a \bar{p} = 0. \quad (6)$$

Az alábbiakban a fenti differenciálegyenletnek olyan véges megoldását keressük, amely a héj peremén az

$$F = 0 \quad (7)$$

feltételnek, a héj sarokpontjaiban pedig ezen felül a

$$\frac{\partial F}{\partial r} = 0 \quad (8)$$

kikötésnek is eleget tesz.

A (7) peremfeltétel minden olyan héjra előírható, amelynek körbefutó peremtartója teljes hosszában fallal van alátámasztva [5]. A (8) kikötést viszont az indokolja, hogy a csillagsokszög peremvonalának  $r = R$  pontjai *kettőspontok* tartoznak lenni. A kettőspontok létezésének az a további feltétele, hogy az  $r = R$  pontokban az  $F$  második deriváltjai közül legalábbis az egyik zérustól eltérő legyen, esetünkben eleve teljesítve van, hiszen az  $r = R$  pontokban  $\bar{p} \neq 0$ .

#### 4.1. A pontos teherfüggvény esete

A (4) jelű „pontos” teherfüggvény esetében a (6) differenciálegyenlet így alakul:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2} + p_0 \sqrt{a^2 + r^2} + p_s a = 0. \quad (9)$$

A fenti differenciálegyenletnek megfelelő  $F$  függvényt két részből állítjuk elő: az *inhomogén* differenciálegyenletnek egy forgásszimmetrikus

$$F_i = F_i(r)$$

alakú megoldásából és a *homogén* differenciálegyenletnek egy

$$F_h = C_n r^n \cos n\varphi, \quad C_n = \text{konst.}$$

alakú megoldásából. Ezek szerint

$$F = F_i + F_h = F_i + C_n r^n \cos n\varphi. \quad (10)$$

Először az  $F_i$  függvényt határozzuk meg. Forgásszimmetrikus esetről lévén szó, a (9) jelű parciális differenciálegyenlet helyett az alábbi közönséges differenciálegyenletet írhatjuk:

$$\frac{d^2 F_i}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{dF_i}{dr} + p_0 \sqrt{a^2 + r^2} + p_s a = 0.$$

Ez a másodrendű differenciálegyenlet a

$$\frac{dF_i}{dr} = U(r) \quad (11)$$

helyettesítéssel a

$$\frac{dU}{dr} + \frac{1}{r} dU + p_0 \sqrt{a^2 + r^2} + p_s a = 0$$

elsőrendű differenciálegyenletté alakul, ennek általános megoldása pedig:

$$U = -\frac{p_0}{3} \left( \frac{\sqrt{(a^2 + r^2)^3}}{r} + \frac{C_0}{r} \right) - p_s \frac{ar}{2}.$$

Ezek szerint

$$\frac{dF_i}{dr} = -\frac{p_0}{3} \left[ \frac{\sqrt{(a^2 + r^2)^3}}{r} + \frac{C_0}{r} \right] = p_s \frac{ar}{2},$$

és innen integrálás után

$$F_i = -\frac{p_0}{3} \left[ \frac{4a^2 + r^2}{3} \sqrt{a^2 + r^2} - a^3 \ln(a + \sqrt{a^2 + r^2}) + a^3 \ln r + C_0 \ln r \right] - p_s \frac{ar^2}{4} + C_1. \quad (12)$$

A fenti kifejezés az  $r = 0$  helyen csak akkor lehet véges, ha

$$C_0 = -a^3.$$

Ezzel a helyettesítéssel az  $F_i$  függvény (12) képlete így alakul:

$$F_i = -\frac{p_0}{3} \left[ \frac{4a^2 + r^2}{3} \sqrt{a^2 + r^2} - a^3 \ln(a + \sqrt{a^2 + r^2}) \right] - p_s \frac{ar^2}{4} + C_1. \quad (13)$$

Ismervén az  $F$  függvény első részét képező  $F_i$  függvényt, magát az  $F$  függvényt a (10) alatti utasítás szerint úgy szerkeszthetjük meg, hogy ezt a függvényrészt a  $C_n r^n \cos n\varphi$  kifejezéssel kiegészítjük. Ezek szerint

$$F = -\frac{p_0}{3} \left[ \frac{4a^2 + r^2}{3} \sqrt{a^2 + r^2} - a^3 \ln(a + \sqrt{a^2 + r^2}) \right] - p_s \frac{ar^2}{4} + C_1 + C_n r^n \cos n\varphi.$$

A fenti képletben szereplő  $C_1$  és  $C_n$  határozatlan állandókat a (7) és (8) *peremfeltételek* figyelembevételével lehet és kell megállapítani.

Írjuk fel először a (8) feltételt, vagyis azt a követelményt, hogy az  $r = R$ ,  $\varphi = \pi/n$  pontban az  $R$  függvény  $r$  szerinti deriváltjának el kell tűnnie:

$$-\frac{p_0}{3} \left[ \frac{2a^2R + R^3}{\sqrt{a^2 + R^2}} - \frac{a^3R}{(a + \sqrt{a^2 + r^2})\sqrt{a^2 + R^2}} \right] - p_s \frac{aR}{2} - C_n n R^{n-1} = 0.$$

Innen

$$C_n = -\frac{p_0}{3} \left( a + \frac{a^2 + R^2}{a + \sqrt{a^2 + R^2}} \right) \frac{1}{nR^{n-2}} - p_s \frac{a}{2nR^{n-2}}. \quad (14a)$$

Ezt az értéket a (14a) képletbe behelyettesítve, azt találjuk, hogy

$$F = -\frac{p_0}{3} \left[ \frac{4a^2 + r^2}{3} \sqrt{a^2 + r^2} - a^3 \ln(a + \sqrt{a^2 + r^2}) + \left( a + \frac{a^2 + R^2}{a + \sqrt{a^2 + R^2}} \right) \frac{r^n \cos n\varphi}{nR^{n-2}} \right] - p_s a \left( \frac{r^2}{4} + \frac{r^n \cos n\varphi}{rnR^{n-2}} \right) + C_1. \quad (15)$$

Hátra van még a (7) feltétel teljesítése, vagyis annak biztosítása, hogy a csillaghéj peremvonala mentén az  $F$  függvény értéke mindenütt zérus legyen. Ezt a követelményt először csak az  $r = R$ ,  $\varphi = \pi/n$  sarokpontra írjuk fel:

$$-\frac{p_0}{3} \left[ \frac{4a^2 + R^2}{3} \sqrt{a^2 + R^2} - a^3 \ln(a + \sqrt{a^2 + R^2}) - \left( a + \frac{a^2 + R^2}{a + \sqrt{a^2 + R^2}} \right) \frac{R^2}{n} \right] - p_s a \left( \frac{R^2}{4} + \frac{R^2}{2n} \right) + C_1 = 0.$$

Ha ebből az egyenletből  $C_1$  értékét kifejezzük, és azt a (15) képletbe behelyettesítjük, feszültségfüggvényként az alábbi kifejezést kapjuk:

$$F = -\frac{p_0}{3} \left[ \frac{4a^2 + r^2}{3} \sqrt{a^2 + r^2} - \frac{4a^2 + R^2}{3} \sqrt{a^2 + R^2} - a^3 \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + r^2}}{a + \sqrt{a^2 + R^2}} + \left( a + \frac{a^2 + R^2}{a + \sqrt{a^2 + R^2}} \right) \frac{R^2 - r^2 \cos n\varphi}{nR^{n-2}} \right] + p_s a \left( \frac{R^2 - r^2}{4} - \frac{R^n + r^n \cos n\varphi}{2nR^{n-2}} \right). \quad (16)$$

Ámde a (7) feltételnek *nem csak a sarokpontokban*, hanem a *peremvonal teljes hosszában* is teljesülnie kell. Ezért az alaprajzi idom határvonalát nem vehetjük fel szabadon, azt úgy kell meghúznunk, hogy a szóban forgó vonal mentén mindenütt  $F = 0$  legyen, vagyis e vonal teljes hosszában teljessüljön

az alábbi feltétel:

$$\begin{aligned}
 -\frac{p_0}{3} \left[ \frac{4a^2 + r^2}{3} \sqrt{a^2 + r^2} - \frac{4a^2 + R^2}{3} \sqrt{a^2 + R^2} - a^3 \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + r^2}}{a + \sqrt{a^2 + R^2}} + \right. \\
 \left. + \left( a + \frac{a^2 + R^2}{a + \sqrt{a^2 + R^2}} \right) \frac{R^n - r^n \cos n\varphi}{nR^{n-2}} \right] + \\
 + p_3 a \left( \frac{R^2 - r^2}{4} - \frac{R^n + r^n \cos n\varphi}{2nR^{n-2}} \right) = 0. \quad (17)
 \end{aligned}$$

A (16) képlet a „pontos” terherre tervezett csillaghéj feszültségfüggvényének a képlete, a (17) egyenlet pedig e héj alaprajzi idomát határoló vonalának, a csillagszög peremvonalának az egyenlete.

#### 4.2. A közelítő teherfüggvény esete

Ha a héjra ható terhet az (5) polinom fejezi ki, a héj feszültségfüggvényére az

$$\begin{aligned}
 F = \frac{R^4}{8h} \left[ \frac{A_0}{1} \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) + \frac{A_1}{4} \left( 1 - \frac{r^4}{R^4} \right) + \frac{A_2}{9} \left( 1 + \frac{R^6}{r^6} \right) + \dots + \right. \\
 \left. + \frac{A_k}{(k+1)^2} \left( 1 - \frac{r^{2k+2}}{R^{2k+2}} \right) - \frac{2}{n} \left( \frac{A_0}{1} + \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{3} + \dots + \frac{A_k}{k+1} \right) \times \right. \\
 \left. \times \left( 1 + \frac{r^n}{R^n} \cos n\varphi \right) \right] \quad (18)
 \end{aligned}$$

képletet, a csillagszög peremvonalának képletéként pedig az

$$\begin{aligned}
 \frac{A_0}{1} \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) + \frac{A_1}{4} \left( 1 - \frac{r^4}{R^4} \right) + \frac{A_2}{9} \left( 1 - \frac{r^6}{R^6} \right) + \dots + \frac{A_k}{(k+1)^2} \left( 1 - \frac{r^{2k+2}}{R^{2k+2}} \right) - \\
 - \frac{2}{n} \left( \frac{A_0}{1} + \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{3} + \dots + \frac{A_k}{k+1} \right) \left( 1 + \frac{r^n}{R^n} \cos n\varphi \right) = 0 \quad (19)
 \end{aligned}$$

egyenletet kapjuk.

Ha a héjra ható terhet a (4) alatti pontos képlet helyett az (5\*) jelű közelítő képlet szerint vesszük számításba, akkor

$$\begin{aligned}
 A_0 &= p_0 + p_3, \\
 A_1 &= \frac{9}{5} p_0 \gamma, \\
 A_2 &= -\frac{2}{3} p_0 \gamma^2, \\
 A_3 &= A_4 = \dots = A_k = 0. \quad (20)
 \end{aligned}$$

Ilyenkor a közelítő feszültségfüggvény képlete

$$F = \frac{R^4}{8h} \left[ (p_0 + p_s) \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) + \frac{9}{20} p_0 \gamma \left( 1 - \frac{r^4}{R^4} \right) - \frac{2}{27} p_0 \gamma^2 \left( 1 - \frac{r^6}{R^6} \right) - \right. \\ \left. - \frac{2}{n} \left( p_0 + p_s + \frac{9}{10} p_0 \gamma - \frac{2}{9} p_0 \gamma^2 \right) \left( 1 + \frac{r^n}{R^n} \cos n\varphi \right) \right], \quad (18^*)$$

a csillagsokszög peremvonalának egyenlete pedig:

$$(p_0 + p_s) \left( 1 - \frac{r^2}{R^2} \right) + \frac{9}{20} p_0 \gamma \left( 1 - \frac{r^4}{R^4} \right) - \frac{2}{27} p_0 \gamma^2 \left( 1 - \frac{r^6}{R^6} \right) - \\ - \frac{2}{n} \left( p_0 + p_s + \frac{9}{10} p_0 \gamma - \frac{2}{9} p_0 \gamma^2 \right) \left( 1 + \frac{r^n}{R^n} \cos n\varphi \right) = 0. \quad (19^*)$$

A fenti képletekben

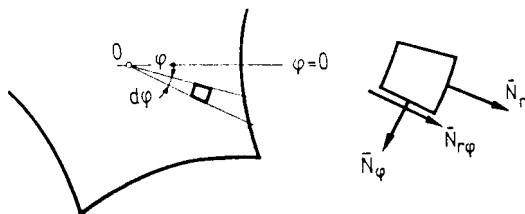
$$\gamma = \frac{h^2}{R^2}.$$

### 5. A feszítőerők

A csillaghéj redukált feszítőerői az alábbi ismert képletek szerint számíthatók [2]:

$$\bar{N}_r = \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2}, \\ \bar{N}_{r\varphi} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial F}{\partial \varphi} - \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial r \cdot \partial \varphi}, \\ \bar{N}_\varphi = \frac{\partial^2 F}{\partial r^2}. \quad (21)$$

Ezeknek a feszítőerőknek pozitív értelmét a 3. ábra tünteti fel.



3. ábra. Az  $\bar{N}_r$ ,  $\bar{N}_{r\varphi}$ ,  $\bar{N}_\varphi$  redukált feszítőerők.

### 5.1. A pontos teherfüggvény esete

Ha a (21) képleteket a (16) képlet szerinti pontos  $F$  függvényre alkalmazzuk, a redukált feszítőerőkre ezeket a képleteket kapjuk:

$$\begin{aligned}\bar{N}_r &= -\frac{P_0}{3} \frac{\sqrt{(a^2 + r^2)^3 - a^3}}{r^2} - P_s \frac{a}{2} - C_n n(-1)r^{n-2} \cos n\varphi, \\ \bar{N}_{r\varphi} &= C_n n(n-1) r^{n-2} \sin n\varphi, \\ \bar{N}_\varphi &= -\frac{P_0}{3} \cdot \frac{(2r^2 - a^2)\sqrt{a^2 + r^2} + a^3}{r^2} - P_s \frac{a}{2} + \\ &\quad + C_n n(n-1) r^{n-2} \cos n\varphi.\end{aligned}\tag{22}$$

A fenti képletekben  $C_n$  a (14) alatti jelentéssel bír.

### 5.2. A közelítő teherfüggvény esete

A (21) képleteket a (18) alatti közelítő feszültségfüggvényre alkalmazva, a redukált feszítőerőkre az alábbi képletek adódnak:

$$\begin{aligned}\bar{N}_r &= -\frac{R^2}{4h} \left[ A_0 + \frac{A_1}{2} \frac{r^2}{R^2} + \frac{A_2}{3} \frac{r^4}{R^4} + \dots + \frac{A_k}{k+1} \frac{r^{2k}}{R^{2k}} - \right. \\ &\quad \left. - \left( A_0 + \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{3} + \dots + \frac{A_k}{k+1} \right) \frac{(n-1)r^{n-2}}{R^{n-2}} \cos n\varphi \right], \\ \bar{N}_{r\varphi} &= -\frac{R^2}{4h} \left( A_0 + \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{3} + \dots + \frac{A_k}{k+1} \right) \frac{(n-1)r^{n-2}}{R^{n-2}} \sin n\varphi, \\ \bar{N}_\varphi &= -\frac{R^2}{4h} \left[ A_0 + \frac{3A_1}{2} \frac{r^2}{R^2} + \frac{5A_2}{3} \frac{r^4}{R^4} + \dots + \frac{(2k+1)A_k}{k+1} \frac{r^{2k}}{R^{2k}} + \right. \\ &\quad \left. + \left( A_0 + \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{3} + \dots + \frac{A_k}{k+1} \right) \frac{(n-1)r^{n-2}}{R^{n-2}} \cos n\varphi \right].\end{aligned}\tag{23}$$

Ha a héj totális terhét az (5\*) alatti közelítő polinommal vesszük számításba, akkor a redukált feszítőerők képletei így alakulnak:

$$\begin{aligned}\bar{N}_r^* &= -\frac{R^2}{4h} \left\{ \left( 1 + \frac{9}{10} \gamma \frac{r^2}{R^2} - \frac{2}{9} \gamma^2 \frac{r^4}{R^4} \right) P_0 + P_s - \right. \\ &\quad \left. - \left[ \left( 1 + \frac{9}{10} \gamma - \frac{2}{9} \gamma^2 \right) P_0 + P_s \right] (n-1) \frac{r^{n-2}}{R^{n-2}} \cos n\varphi \right\},\end{aligned}$$



$$\bar{N}_{r\varphi}^* = -\frac{R^2}{4h} \left[ \left( 1 + \frac{9}{10} \gamma - \frac{2}{9} \gamma^2 \right) p_0 + p_s \right] (n-1) \frac{r^{n-2}}{R^{n-2}} \sin n\varphi, \quad (23^*)$$

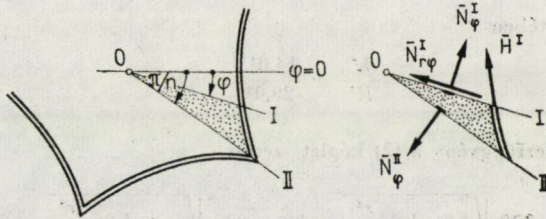
$$\begin{aligned} \bar{N}_{\varphi}^* = & -\frac{R^2}{4h} \left\{ \left( 1 + \frac{9}{5} \gamma \frac{r^2}{R^2} - \frac{5}{3} \gamma^2 \frac{r^4}{R^4} \right) p_0 + p_s + \right. \\ & \left. + \left[ \left( 1 + \frac{9}{10} \gamma - \frac{2}{9} \gamma^2 \right) p_0 + p_s \right] (n-1) \frac{r^{n-2}}{R^{n-2}} \cos n\varphi \right\}. \end{aligned}$$

## 6. A kötélérő

A csillaghéj peremtartójában csak axiális erők — *kötélérők* — keletkeznek. Ezek nagysága a peremtartó sarokpontjaiban zérus, maximális értékük a peremtartó  $\varphi = 0, 2\pi/n, 4\pi/n, \dots, (2n-2)\pi/n$  keresztmetszeteiben jön létre.

A csillaghéj  $\varphi < \pi/n$  keresztmetszetét *I* keresztmetszetnek, a  $\varphi = \pi/n$  keresztmetszetét *II* keresztmetszetnek nevezzük, és ennek megfelelően az *I*, illetve *II* keresztmetszethez tartozó erőket *I*, illetve *II* indexekkel látjuk el.

A peremtartó tetszőleges *I* keresztmetszetére ható  $H^I$  kötélérőnek az alaprajz síkjával párhuzamos  $\bar{H}^I$  alkotója a 4. ábra szerint kimetszett 0 *I* *II* héjcsikkely egyensúlyi vizsgálatával határozható meg. E héjcsikkely 0 *II* oldalára csak  $\bar{N}_{\varphi}^{II}$  erők hatnak, a peremtartó 0 *II* metszetén pedig a kötélérő zérus. Így  $\bar{H}^I$  könnyen meghatározható.



4. ábra. Az egyensúlyi vizsgálat céljaira kimetszett héjcsikkely.

## 7. Számpélda

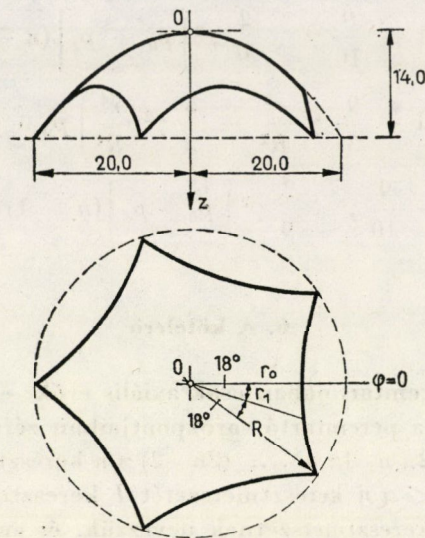
Alkalmazzuk a fentiekben ismertetett számítóeljárást az 5. ábrán feltüntetett  $n = 5$  oldalú csillagsokszög fölé szerkesztett állandó falvastagságú forgáspároloidhéjra.

A számítandó héj méretadatai

$$R = 20,0 \text{ m}, \quad h = 14,0 \text{ m},$$

terhei pedig

$$p_0 = 200 \text{ kp/m}^2$$



5. ábra. Számpélda.

intenzitású önsúlyteher és ezzel egyidejűleg működő

$$p_s = 80 \text{ kp/m}^2$$

intenzitású hőteher.

Feladatunk esetében

$$\gamma = \frac{h^2}{R^2} = \frac{14,0^2}{20,0^2} = 0,49,$$

és így a „pontos” teherfüggvény a (2) képlet szerint

$$\bar{p} = 200 \sqrt{1 + 4\gamma^2 \frac{r^2}{R^2}} + 80 = 200 \sqrt{1 + 1,96 \frac{r^2}{R^2}} + 80,$$

az (5\*) képlet szerinti közelítő teherfüggvény pedig:

$$\begin{aligned} \bar{p}^* &= 280 + \frac{9}{5} 200 \cdot 0,49 \frac{r^2}{R^2} - \frac{2}{3} 200 \cdot 0,49^2 \frac{r^4}{R^4} = \\ &= 280 + 176,4 \frac{r^2}{R^2} - 32,013 \frac{r^4}{R^4}. \end{aligned}$$

A pontos  $\bar{p}$  és a közelítő  $\bar{p}^*$  teherértékeket, valamint a pontos helyett a közelítő teherfüggvény alkalmazása révén elkövetett hiba viszonylagos értékét az I. táblázat tünteti fel. Mint látható, az említett kétféle teherértéknek egymástól való legnagyobb eltérése a pontos teherértéknek legfeljebb 0,006-szorosa, az eltérés abszolút értékének átlaga pedig mindössze 0,003-szoros, vagyis teljesen lényegtelen. Az elkövetett hiba jelentéktelen volta feljogosít arra, hogy a következőkben a (4) alatti pontos teherfüggvény helyett az (5\*) jelű közelítő teherfüggvénnyel dolgozzunk.

## I. táblázat

A  $\bar{p}$  pontos és  $\bar{p}^*$  közelítő teherértékek, valamint a közelítő teherfüggvény használata esetében elkövetett hiba viszonylagos értéke

r/R	$\bar{p}$ kp/m <sup>2</sup>	$\bar{p}^*$ kp/m <sup>2</sup>	$(\bar{p}^* - \bar{p})/\bar{p}$
0	280,0	280,0	0,00
0,1	282,0	281,8	- 0,001
0,2	287,7	287,0	- 0,002
0,3	296,9	295,6	- 0,004
0,4	309,2	307,4	- 0,006
0,5	324,1	322,1	- 0,006
0,6	341,2	339,4	- 0,005
0,7	360,0	358,7	- 0,003
0,8	380,3	379,8	- 0,001
0,9	401,7	401,9	+ 0,000
1,0	424,1	424,4	+ 0,001

A közelítő teherfüggvény esetében a csillaghéj feszültségfüggvénye a (18\*) képlet szerint

$$F^* = \frac{20^4}{8 \cdot 14,0} (200 + 80) \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) + \frac{9}{20} 200 \cdot 0,49 \left(1 - \frac{r^4}{R^4}\right) - \\ - \frac{2}{27} 200 \cdot 0,49^2 \left(1 - \frac{r^6}{R^6}\right) - \frac{2}{5} \left(200 + 80 + \frac{9}{10} 200 \cdot 0,49 - \right. \\ \left. - \frac{2}{9} 200 \cdot 0,49^2\right) \left(1 + \frac{r^5}{R^5} \cos 5\varphi\right),$$

a csillagsokszög peremvonalának egyenlete pedig a (19\*) képlet szerint

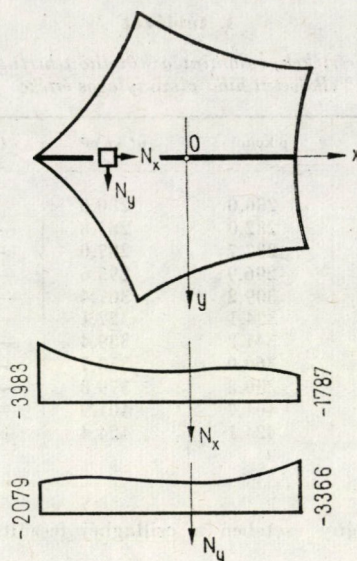
$$280 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) + 44,1 \left(1 - \frac{r^4}{R^4}\right) - 3,55703 \left(1 - \frac{r^6}{R^6}\right) - \\ - 143,0115 \left(1 + \frac{r^5}{R^5} \cos 5\varphi\right) = 0.$$

Ismerve a csillagsokszög peremvonalának egyenletét, a csillagsokszögbe írt kör  $r_0$  sugarát a

$$280 \left(1 - \frac{r_0^2}{R^2}\right) + 44,1 \left(1 - \frac{r_0^4}{R^4}\right) - 3,55703 \left(1 - \frac{r_0^6}{R^6}\right) - \\ - 143,0115 \left(1 + \frac{r_0^5}{R^5}\right) = 0$$

egyenletből határozhatjuk meg, a  $\varphi = \pi/10 = 18^\circ$  poláris szöghöz tartozó  $r_1$  rádiusz vektort pedig a

$$280 \left(1 - \frac{r_1^2}{R^2}\right) + 44,1 \left(1 - \frac{r_1^4}{R^4}\right) - 3,55703 \left(1 - \frac{r_1^6}{R^6}\right) - 143,0115 = 0$$



6. ábra. Az  $\bar{N}_x$ ,  $\bar{N}_y$  redukált feszítőerők megoszlása az  $y = 0$  metszet mentén.

egyenlet segítségével állapíthatjuk meg. A számítás eredménye:

$$\frac{r_0}{R} = 0,7097, \text{ tehát } r_0 = 14,194 \text{ m,}$$

$$\frac{r_1}{R} = 0,7636, \text{ tehát } r_1 = 15,272 \text{ m.}$$

Ezen adatok birtokában a csillagsokszög határoló vonala könnyűszerrel meghúzható.\*

A héjban keletkező redukált feszítőerők a (23\*) képlet szerint számíthatók. Értékük kp/m-ben kifejezve

$$\bar{N}_r^* = -2000 - 630 \frac{r^2}{R^2} + 76,2 \frac{r^4}{R^4} + 1430,115 \frac{r^3}{R^3} \cos 5\varphi,$$

$$\bar{N}_{r\varphi}^* = -1430,115 \frac{r^3}{R^3} \sin 5\varphi,$$

$$\bar{N}_\varphi^* = -2000 - 1890 \frac{r^2}{R^2} + 381,1 \frac{r^4}{R^4} - 1430,115 \frac{r^3}{R^3} \cos 5\varphi.$$

Az  $\bar{N}_r^*$  és  $\bar{N}_\varphi^*$  feszítőerők megoszlását az  $y = 0$  metszet mentén a 6. ábra szemlélteti.

\* Ha a csillaggörbét az  $r = 14,194$ ,  $\varphi = 0$  és  $r = 20,0$ ,  $\varphi = \pm 36^\circ$  pontokon átmenő  $\rho = 35,792$  m sugarú körívvel helyettesítendő, a  $\varphi = \pm 18^\circ$  helyen a peremvonal rádiuszvektora a pontos 15,272 m helyett 15,252 m-re adódnék. Itt tehát a két érték közti eltérés mindössze 2 cm.

Az  $\bar{N}_y$  erőeknek a 6. ábrán feltüntetett diagramja egyszerű lehetőséget nyújt a csillaghéj peremtartójában keletkező legnagyobb kötélterő meghatározására is. Ez az erő ui. — egyszerű egyensúlyi okokból — a szóban forgó diagram területtel egyenlő. Értéke az

$$S_{\max} = \int_{14,194}^{-20,0} -2000 - 630 \frac{r^2}{R^2} + 76,2 \frac{r^4}{R^4} + 1430,115 \frac{r^3}{R^3} dr.$$

képlettel határozható meg.

A kijelölt számítást elvégezve, a legnagyobb kötélterőre az

$$S_{\max} = 78\,356 \text{ kp}$$

érték adódik.

## IRODALOM

1. MENYHÁRD, I.: Héjszerkezetek elmélete, II. rész. *Mérnöki Továbbképző Intézet Kiadványai* 19 (1943), 48. füzet, 25.
2. GIRKMANN, K.: Flächen tragwerke. Einführung in die Elastostatik der Scheiben, Platten, Schalen und Faltwerke. Springer Verlag, Wien 1956, V. Aufl., 26 oldal.
3. CSONKA, P.: Csillagsokszög alaprajzú forgásparaboloid-héjak. *Műszaki Tudomány* 42 (1970), 243—256.
4. CSONKA, P.: Körszimmetrikusan terhelt csillagsokszög alaprajzú forgásparaboloid-héjak. *Műszaki Tudomány* 44 (1971), 149—165.
5. CSONKA, P.: Membrane Shells with Edge Beam Supported by a Wall. *Acta Techn. Hung.* 71 (1971), 149—159.

**Design of Star Shells Subjected to Full Loads.** Paper deals with paraboloid shells of revolution subjected to axi-symmetrically distributed full loads (dead load + snow load) acting in the vertical direction. The planform of the shells in question is a regular polygon-like plane-figure with inward curved sides, a so-called *star-polygon*. The shell itself — the so called *star-shell* — is bordered by an edge member, supported along its whole length by a wall. Therefore, only funicular forces — *string forces* — can come into being at its cross-sections. The shape of the star-polygon is determined by a procedure which assures, that the stress resultants of the shell, could be calculated with the aid of closed formulae. A numeric example proves the suggested method to be expedient.

**Berechnung von Sternschalen für Totalbelastung.** Der Aufsatz befaßt sich mit der Berechnung von Drehparaboloidschalen belastet durch eine drehsymmetrische verteilte vertikale Totlast (Eigengewicht und Schneelast). Die Grundrißfigur der behandelten Schalen ist ein regelmäßiges vieleckähnliches Gebilde mit nach innen gebogenen Seiten, die als *Sternvieleck* bezeichnet wird. Das Randglied der in Rede stehenden Schalen — *der Sternschalen* — ist in seiner ganzen Länge durch Mauerwerk gestützt, darum können in den Querschnitten des Randgliedes ausschließlich Normalkräfte, sogenannte *Seilkräfte* zustande kommen. Die Form der Sternschale selber ist mit Hilfe eines entsprechenden Rechenverfahrens so bestimmt, daß ihre Schnittkräfte mit geschlossenen Formeln berechnet werden können. Die Zweckmäßigkeit der vorgeschlagenen Berechnungsmethode wird anhand eines Zahlenbeispiels bewiesen.



# HATÉKONY SZÁMÍTÓGÉPES ELJÁRÁS GÁZHÁLÓZATOK OPTIMÁLIS ÜZEMI FELTÉTELEINEK MEGHATÁROZÁSÁRA

SINGER DÉNES\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

BOROSSAY JÓZSEFNÉ\*\* és KOLTAI TAMÁS\*\*\*

[Beérkezett: 1975. január 7-én]

A munka általános képet nyújt nemlineáris hálózatok optimalizálásának probléma köréről. Elméleti megalapozását adja városi gázhálózatok optimális üzemi feltételeinek számítására szolgáló módszernek, mely biztosítja, hogy valamennyi csomóponti nyomás adott nyomásintervallumon belül maradjon, és egyidejűleg a hálózat szivárgási veszteségei is minimális értéket vegyenek fel. Az eljárás figyelembe veszi a csomópontok geodetikus magasságkülönbségéből adódó hatásokat is. A tanulmány rövid leírását közli az üzemszerű felhasználásra (hálózatirányításra) kidolgozott programcsomagnak és ennek alkalmazását egy gyakorlati feladaton illusztrálja. Végül információt nyújt városi gázhálózatok optimális irányításával elérhető megtakarítások értékére vonatkozólag.

## 1. Bevezetés

Hasonlóan, mint villamos elosztó hálózatoknál, a gázhálózatok esetében is elsődleges cél az energiának a fogyasztóhoz történő lehetőleg veszteségmentes eljuttatása. A gázhálózatoknál lényegében kétfajta veszteség lép fel: szivárgási veszteség és a csősurlódásból eredő szállítási energiaveszteség. Mivel az előbbi forintban kifejezett értéke az utóbbinál általában lényegesen kisebb, a gázhálózat üzemi viszonyainak optimális megválasztásakor az utóbbi-tól el lehet tekinteni. A gázhálózat optimális üzemeltetésén a továbbiakban ezért olyan üzemmódot értünk, amelynél a hálózat szivárgási veszteségei minimálisak, amit oly módon kell biztosítani, hogy a nyomások sehol se eszenek bizonyos, a fogyasztói készülékek által igényelt, minimális értékek alá, ill. sehol se lépnek túl a biztonságos üzemhez szükséges maximális értékeket.

A hálózati nyomások ilyen megválasztása egy feltételekkel egybekötött nem-lineáris optimalizációs feladat megoldását jelenti. Nem-lineáris rendszerek optimalizálásának kérdésével elvi síkon nagyszámú munka foglalkozik [1], [2]. Sajnos ezek közül viszonylag kevés az olyan, mely nagyméretű feladatok megoldásakor gyakorlatilag számbajöhet. A módszerek hatékonyságával, speciálisan ezeknek a gázhálózatok optimalizálására való felhasználásával kapcsolatosan

\* Dr. Singer Dénes, 1021 Budapest, Nyéki u. 9.

\*\* Borossay Józsefné, 1073 Budapest, Akácfa u. 54.

\*\*\* Koltai Tamás, 1137 Budapest, Újpesti rkp. 8.

elsősorban a [3], [4] munkákat említjük. Az elvi megoldások közül a Lagrange-féle multiplikátorok módszere, ill. ennek Kuhn-Tucker-féle általánosított változata, a gradiensek módszere és a lineáris programozás szimplex módszerének közvetett alkalmazása jöhet tekintetbe.

Az alábbiakban leírt, általunk kidolgozott és számítógépre alkalmazott módszer a lineáris programozás közvetett alkalmazásán alapul. A változók nagy száma és az ebből adódó tetemes gépidő és memóriaigény csökkentésére a számítógépes eljárás speciális technikákat alkalmaz, mint pl. a hálózat fájának optimális kiválasztását, ritka mátrixtechnikát, stb. Az utóbbi azt a körülményt használja ki, hogy a gyakorlatban előforduló hálózatoknál az egyes csomópontokban összefutó ágak száma csupán tört része a csomópontok között elméletben lehetséges ágak számának és így a hálózati egyenletek mátrixai sok zérus elemet tartalmaznak [5] [6].

## 2. A feladat jellemzése

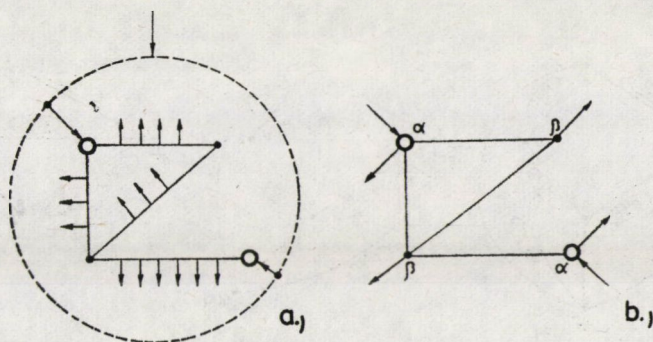
Egy kisméretű gázhálózat sémája az 1a. ábrán látható. Lényegében két egymás fölrendelt hálózatból áll: egy kisnyomású, a fogyasztók számára  $80 \div 300$  v. o. mm nyomású gázt szolgáltató hálózatból (kihúzott vonalak) és az ezt tápláló  $500 \div 3000$  mm. v. o.-t nyomású táphálózatból (szaggatott vonalak). A táphálózatból a gáz nyomásszabályzókon keresztül kerül a kisnyomású hálózatba, melyek a betáplálási pontokban — függetlenül a gázigénytől — állandó nyomást biztosítanak. A fogyasztók a kisnyomású hálózat ágaira vannak kapcsolva.

Az elméleti megfontolások egyszerűsítése céljából feltételezzük, hogy az egyes fogyasztók az ágakat egyenletesen terhelik. Ez a feltételezés általában megfelel a tényleges viszonyoknak, és a számítások egyszerűsítésére szolgál. Az ágterheléseket csomóponti terheléseknek foghatjuk fel, mégpedig úgy, hogy az ág összterhelését kettéosztjuk az ághoz tartozó két csomópontra. Az így adódó számítási hiba — mint az elméleti megfontolásokkal igazolható — a legtöbb esetben elhanyagolható. A megfelelő hálózati séma az 1b. ábrán látható.

A veszteségminimálás feladatának szempontjából lényeges jelentőségű a  $\Phi$  veszteségfüggvény alakja. Levezetéséhez a következő megfontolásokból indulhatunk ki [4]. A veszteségek lényegében a csökötéseknél előálló szivárgásokból származnak. Mivel a csökötések száma a csövek teljes hosszával arányos, ugyanez vonatkozik a veszteségekre is. A veszteségek másrészt arányosak a hálózati nyomások és a barometrikus nyomások különbségével.

Alacsony nyomásokról lévén szó, feltételezhető, hogy az összefüggések lineárisak. Feltehető továbbá, hogy az egyes ágak átlagos nyomása a végpontjaikon mért nyomások számtani középértékével egyenlő. A szivárgási





1. ábra

veszteségeket az egyes csomópontokra vonatkoztathatjuk. Az  $i$ -edik csomóponton előálló  $q_i$  veszteség

$$q_i = 0,5 \varepsilon \sum_{j=1}^{b_i} l_{ij} (p'_i - p_A) = M_i (p'_i - p_A). \quad (1)$$

E képletben  $l_{ij}$  az  $i$  és  $j$  csomópontok közötti ág hossza  $p'_i$ , ill.  $p_A$  az  $i$ -edik csomóponti, ill. atmoszférikus nyomás,  $\varepsilon$  a gázszivárgás állandója,  $b_i$  az  $i$ -edik csomópontba összefutó ágak száma;  $M_i$  állandó. Az (1)-ben szereplő 0,5 tényező onnan származik, hogy minden ág két csomóponthoz kapcsolódik és így az egy csomópontra eső veszteség középértékben éppen fele az ágveszteségnek.

A hálózat összvesztesége így:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n M_i p'_i - p_A, \quad (2)$$

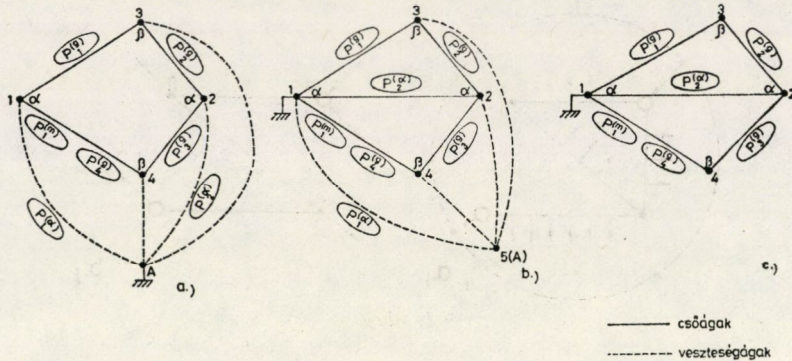
vagy vektoriális alakba írva:

$$\Phi = M'(p' - p_A), \quad (3)$$

ahol  $M$  az  $M_i$  állandókból képezett  $n$  dimenziós vektor. Látható, hogy a szivárgási veszteségek úgy jelentkeznek, mint a csomópontokhoz csatolt virtuális ágakban folyó áramok. Ezek figyelembevételével az 1b. ábrán szereplő hálózatból a 2. ábrán látható hálózat adódik, ahol a virtuális ágak (a „veszteségágak”) szaggatott vonallal vannak jelölve.

A hálózati veszteségek minimalizálásának feladata ezek után a következőképpen fogalmazható meg:

$$\begin{aligned} \Phi(p'_1, p'_2, \dots, p'_n) &\rightarrow \min & \text{a)} \\ G(P'_1, \dots, P'_m, Q'_{m+1} \dots Q'_n) &= 0 & \text{b)} \\ P_i^{(\min)} &\leq P'_i \leq P_i^{(\max)}; i = 1, 2, \dots, m & \text{c)} \\ P_j^{(\min)} &\leq p'_j; j = 1, 2, \dots, n-m & \text{d)} \end{aligned} \quad (4)$$



2. ábra

Itt  $\Phi$  a (3) által definiált veszteségfüggvényt,  $G = O$  a hálózati egyenleteket jelenti;  $P_i$  az  $i$  csomópont forrásnyomása,  $Q_j$  a  $j$  csomópontra redukált hasznos fogyasztás, melyet a nyomástól függetlennek tételezünk fel. Az  $1, 2, \dots, m$  csomópontok táppontok  $\alpha$ -típusúaknak nevezett, a többi  $(n-m)$   $\beta$ -típusúaknak nevezett csomópontok.\*

A 4c. szerint a  $P_i$  tápponti nyomásoknak adott  $P^{(\min)}$ , ill.  $P^{(\max)}$  értékek között kell maradniok. A  $\beta$ -típusú csomópontoknál elégséges a nyomásoknak alulról való behatárolása.

### 3. A veszteséges gázhálózat egyenleteinek hurokalakja

Mint a (4) kifejezésből látható, a nem-lineáris optimalizációs feladat megoldása a hálózat egyenleteinek olyan alakban való felírását igényli, amelyben a független változók szerepét a  $P_1 \dots P_m$  forrásnyomások (az  $\alpha$ -csomópontok nyomásai) és a  $Q_{m+1} \dots Q_n$  csomóponti terhelések játsszák, míg a függő változók a  $\beta$ -csomópontok nyomásai. Ezen követelménynek elsősorban a hálózati egyenletek csomóponti alakja felel meg. Másrészt a csomóponti alak alkalmazása számítástechnikai hátrányokkal jár, mivel a gázhálózat általában kevésbé hurkolt. Ebben az esetben célszerűbb a hálózati egyenlet hurokalakjának alkalmazása. A hurokalakot mindenesetre úgy kell átalakítani, hogy független változóként a (4b)-ben szereplőket tartalmazza.

A gázhálózat egyetlen ágának  $P$  ágforrásnyomása,  $p$  ágnyomása (nyomásesése) és  $q$  árama között a

$$p + P = V(q) \quad (5)$$

\* A csomóponti változók az ágváltozóktól való megkülönböztetés céljából vesszővel vannak jelölve.

összefüggés áll fenn;  $V(q)$  az ágellenállás függvénye. A hálózat valamennyi ágára vonatkozó (5) összefüggéseket egyetlen vektoregyenletbe egyesíthetjük

$$p + P = V(q). \quad (6)$$

Az előző fejezetben mondottak alapján a gázhálózat ágai két csoportba sorolhatók, csőágak, ill. veszteségágak csoportjába, amelyekhez különböző ágellenállásfüggvények tartoznak. Kis nyomáson, a gyakorlatilag számbajövő Reynolds tartományban a csőágaknál

$$V(q) = kq^2, \quad (7)$$

ahol  $k$  egy a csőátmérőtől, a csőhossztól, valamint a gáz sűrűségéből és viszkozitásától függő állandó. A veszteségágaknál az (1) alapján

$$V(q) = \frac{1}{M} q. \quad (8)$$

A (6) mindkét oldalát  $C'$ -vel szorozva a

$$C'[p + P] = C'Vq \quad (9)$$

kifejezés adódik;  $C$  a hálózat hurokmátrixa. A hálózatra érvényes két Kirchhoff-féle tétel figyelembevételével, melyeket itt a

$$q = Cq_L, \quad (8)$$

$$p = Ap' \quad (9)$$

alakba írunk, a hálózat konvencionális hurokegyenlete adódik;  $C'A = 0$ ,

$$C'V(Cq_L) - C'P = 0. \quad (10)$$

A fenti képletekben  $A$  az ágcsomópont mátrix;  $q_L$  a hurokáramok vektora. A  $Cq_L$  vektor a  $V$  vektor-függvény argumentuma.

Mivel a továbbiakban a gázhálózat független változóiként a  $P$  ágforrásnyomások mellett még a  $Q'$  csomóponti forrásáramok is szerepelnek független változókként, alakítsuk a (10)-et megfelelően át. Az ág és a csomóponti forrásáramok között a következő összefüggés áll fenn:

$$A'Q = Q'. \quad (11)$$

Mivel az 1. Kirchhoff-féle tétel szerint

$$A'q = 0, \quad (12)$$

a (11) helyett

$$A'[q + Q] = Q' \quad (13)$$

írható. A gázhálózatnál ágforrásáramok nem szerepelnek, így (13) helyett

$$\mathbf{A}'q = Q' \quad (14)$$

írható.

Bontsuk a  $q$  ágáram vektort a  $q_T$  fa, ill.  $q_L$  hidágkomponensekre. A (14) a következőképpen írható:

$$[\mathbf{A}'_T | \mathbf{A}'_L] \begin{bmatrix} q_T \\ q_L \end{bmatrix} = Q', \quad (15)$$

ahol  $\mathbf{A}_T, \mathbf{A}_L$  az  $\mathbf{A}$  mátrix megfelelő részmatrixai. Így

$$q_T = [\mathbf{A}'_T]^{-1} Q' - [\mathbf{A}'_T]^{-1} \mathbf{A}'_L q_L. \quad (16)$$

A

$$\mathbf{C}_T = -[\mathbf{A}'_T]^{-1} \mathbf{A}_L \quad (17)$$

topológiai összefüggés figyelembevételével a (16) helyett

$$q_T = [\mathbf{A}'_T]^{-1} Q' + \mathbf{C}_T q_L \quad (18)$$

írható. A teljes  $q$  áramvektor így

$$q = \begin{bmatrix} q_T \\ q_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [\mathbf{A}'_T]^{-1} Q' \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C}_T \\ \mathbf{U} \end{bmatrix} q_L. \quad (19)$$

Ezzel a  $q$  vektort két tag összegére bontottuk, melyek közül az első adott, a második tartalmazza az ismeretlen  $q_L$  hidágáramokat. Az első tagot  $Q^{(0)}$ -val jelölve, a (12) a következőképpen írható:

$$\mathbf{C}'[V(Q^{(0)} + \mathbf{C}q_L) - P] = 0, \quad (20)$$

ahol a gömbölyű zárójelben levő kifejezés a  $V$  függvény argumentumát jelenti.

A (20) egyenlet elég általános ahhoz, hogy segítségével a gázhálózati feladatok széles osztálya megoldható legyen. A (20) alkalmazásának feltétele, hogy az adott problémánál független változóként a  $Q'$  csomóponti forrásáramok, ill. a  $P$  ágforrásfeszültségek szerepeljenek. Amennyiben nem a  $Q$  és  $P$  volnának az adott mennyiségek, a feladat átfogalmazásával, ill. a hálózati séma más alakban való előállításával a feladatot erre az esetre lehet visszavezetni. Ez az eset áll fenn a továbbiakban tárgyalandó optimálási feladatnál.

Könnyen belátható, hogy esetünkben az  $\alpha$ -típusú csomópontokban előírt forrásnyomások felfoghatók mint a „vesztességágakban” helyet foglaló ágforrásnyomások: A 2a. ábrán, mely egy két  $\alpha$  és két  $\beta$  típusú csomóponttal bíró gázhálózat gráfját mutatja, különböző ágyomásforrások szerepelnek (az ágak mellé írt bekarikázott  $P$  betűkkel jelölve). Így  $P_1^{(\alpha)}$  és  $P_2^{(\alpha)}$  az 1., ill. 2  $\alpha$ -típusú csomópontok nyomását meghatározó, az 1—A, ill. 2—A ágakhoz tartozó forrásnyomások,  $P_1^{(\beta)}, P_2^{(\beta)}, P_3^{(\beta)}, P_4^{(\beta)}$  rendre az 1—3, 3—2, 2—4 és 4—1

csomópontpárok geodetikus magasságkülönbségéből származó ágforrásnyomások. A  $P_1^{(m)}$  forrásnyomás az 1—4 ágban szereplő kompresszor szállítónyomása. Az  $A$  pont, mely esetünkben a bázispont, a külső atmoszférát jelöli.

A 2a. ábrán szereplő séma nem az egyetlen lehetséges. A kérdéses veszteséges gázhálózat, az előbbivel egyenértékű, sémája a 2b. ábrán látható. A bázispont ebben az esetben az 1 csomópont, míg az atmoszférának az 5 csomópont felel meg.

A 2c. ábrán a 2b. séma egyszerűsített változata látható. A veszteségágakban folyó áramok a csőágakban folyó áramoknak általában  $1 \div 2\%$ -át sem teszik ki, így a csomóponti nyomások meghatározása szempontjából elhanyagolhatók, amiáltal a 2c. ábra adódik. Az ágak és a hurkok számának csökkenésével a (20) alkalmazásánál lényeges gépidő és memóriamegtakarítás érhető el. A veszteségek a 2c. ábra alapján számított csomóponti nyomások birtokában az (1) alapján nyerhetők. A továbbiakban tárgyalandó optimalizálási algoritmus a 2c. ábrának megfelelő hálózati sémát feltételezi.

A (20) egyenletben szereplő mátrixok és vektorok dimenzióját illetően a következőket jegyezzük meg. Amennyiben a csőágak számát  $b$ -vel, a csomópontok számát (a bázispont *nélkül*)  $n$ -el jelöljük, a 2a. ábrának megfelelő hálózati séma összes ágainak, ill. lineárisan független hurkainak száma  $(b + n)$ , ill.  $b$ . A 2b. ábrának megfelelő sémánál az ágak és hurkok száma  $(b + n + n_\alpha)$ , ill.  $(b + n_\alpha)$ ;  $n_\alpha$  az  $\alpha$ -típusú csomópontok száma. Ugyanez a 2c. sémánál  $(b + n_\alpha)$ , ill.  $(b - n + n_\alpha)$ .

A csomópontok geodetikus magasságkülönbségeiből származó felhajtóerőkre vonatkozólag a következőket jegyezzük meg. Amennyiben a csőág két végpontjának geodetikus magasságkülönbsége  $h$ , a felhajtó nyomás

$$P = h(\gamma_l - \gamma_{g\dot{z}}), \quad (21)$$

ahol  $\gamma_l$  és  $\gamma_{g\dot{z}}$  a levegő, ill. a gáz fajsúlya.  $(\gamma_l - \gamma_{g\dot{z}}) \simeq 0,5 \text{ kg } m^{-3}$  értékkel számolva 100  $m$ -es geodetikus magasságkülönbségnél a  $P$  nyomás 50  $mm$ . v.o., vagyis azonos nagyságrendű, mint a csősurlódás következtében előálló nyomásesés. A csomópontok geodetikus magasságkülönbségéből adódó felhajtóerők figyelembe nem vétele így illuzórikussá teszi egyes, a gázhálózatok optimalizálásával foglalkozó munkák eredményeit [3], [4].

A (20) kifejezésben szereplő  $P$  vektort három (azonos dimenziójú) tag összegére bonthatjuk

$$P = P^{(\alpha)} + P^{(m)} + P^{(g)},$$

ahol  $P^{(\alpha)}$  a betáplálás pontok,  $P^{(m)}$  az ágakba kapcsolt szállítószivattyúk,  $P^{(g)}$  a geodetikus magasságkülönbségből adódó ágforrásnyomások vektorait jelenti. A (20) helyébe így a

$$C(q_L) = C^t[V(Q^{(0)} + Cq_L) - P^{(\alpha)} - P^{(m)} - P^{(g)}] = 0 \quad (22)$$

egyenlet lép. Szükséges megjegyezni, hogy a hálózati veszteségek minimalása szempontjából a (22)-ben csupán a  $p^{(\alpha)}$  tekinthető független változónak.

A (22) egyenlet megoldására a Newton–Raphson módszert célszerű alkalmazni, mivel ennek konvergenciája még viszonylag rossz indulóértékek esetében is kielégítő; ennek alapján

$$p_L^{(r+1)} = q_L^{(r)} + \Delta q_L^{(r)},$$

$$\Delta q_L^{(r)} = - \left[ \frac{\partial G^{(r)}}{\partial q_L} \right]^{-1} G(r),$$

$r$  az iteráció sorszáma.

A (8) és (22) alapján a zárójelben szereplő Jacobi-mátrix a következőképpen írható:

$$\frac{\partial G}{\partial q_L} = \frac{\partial G}{\partial q} \frac{\partial q}{\partial q_L} = C' \frac{\partial V}{\partial q} C. \quad (24)$$

Mivel a Jacobi-mátrix esetünkben általában nagyobb számú nulla elemet tartalmaz, célszerű a (23)-ban szereplő inverzió végrehajtásához ritka-mátrix technikát használni. Itt előnyösnek bizonyult a ZOLLENKOPF által kidolgozott algoritmus alkalmazása [8].

A  $\partial G/\partial q_L$  mátrix nulla elemeinek száma a  $C'VC$  hurokimpedanciamátrix nulla elemeinek számával azonos [10].

Az alkalmazott Newton–Raphson módszer konvergenciája megfelelő fakiválasztással gyorsítható, ami különösen nagy hálózatok esetében lényeges körülmény. A hálózat fája úgy választandó meg, hogy ennek ágait a kisebb ellenállású ágak alkossák, így hidágakként a nagyobb ellenállású ágak fognak szerepelni. Ilyen fakiválasztásnál a  $q_L^{(r)} = q_L^{(0)}$  induló értékek jó közelítéssel nullának vehetők fel.

#### 4. A veszteségminimalizálás feladatának lineáris programozási feladatként való megfogalmazása

A (4) nemlineáris optimálási feladatot a lineáris programozás módszerével kívánjuk megoldani. Ehhez a  $\Phi$  célfüggvény helyett ennek  $\Delta\Phi$  kicsiny növekményével fogunk operálni. Ugyanígy a  $G = 0$  hálózati egyenlet és a (4) feltételrendszere helyett ezek növekményeit fogjuk használni. Az így adódó lineáris optimálási feladat a következőképpen fogalmazható meg

$$\begin{aligned} \Delta\Phi(P', p') &\rightarrow \min, & \text{a)} \\ \Delta G &= 0, & \text{b)} \\ \Delta P^{(\min)} &\leq \Delta P' \leq P^{(\max)}, & \text{c)} \\ \Delta P_{(\min)} &\leq \Delta p' & \text{d)} \end{aligned} \quad (25)$$

ahol az optimálás szemszögéből független és függő csomóponti nyomásokat  $P'$ -vel, ill.  $p'$ -vel jelöltük. A (25) kifejezésben szereplő növekményeket illetően lásd a továbbiakat. A  $\Delta\Phi$  skalár, ill. a  $\Delta G$ ,  $\Delta P^{(\min)}$ ,  $\Delta P_{(\max)}$ ,  $\Delta p^{(\min)}$  vektorok rendre a (29), (31) és (35) kifejezésekkel vannak definiálva.

A (25) lineáris programozási feladat megoldásaként adódó  $\Delta p^{(s)}$  vektor a kiinduló  $p^{(s)}$  vektorhoz hozzáadva egy

$$p^{(s+1)} = p^{(s)} + \Delta p^{(s)} \quad (26)$$

vektort szolgáltat, mely a (4) nem-lineáris optimálási feladat megoldásához általában közelebb van, mint a  $p^{(s)}$ ; a (25) megoldását a  $p^{(s+1)}$  értékkel ciklikusan ismételve a feladat megoldását nyerhetjük;  $s$  a lineáris programozási lépés sorszáma.

A  $\Delta\Phi$  és  $\Delta G$  kifejezései a  $\Phi$ , ill.  $G$  sorbafejtésével nyerhetők. A (3) alapján, ha a hálózati nyomásokat a külső atmoszférára vonatkoztatjuk,

$$\Phi = M^t p'. \quad (27)$$

A  $(p' + \Delta p')$  nyomásokon előálló hálózati veszteség így

$$p' + \Delta p' = M^t(p' + \Delta p') = M_\alpha^t P' + M_\beta^t p' + M_\alpha^t \Delta P + M_\beta^t \Delta p, \quad (28)$$

ahol  $\Phi$ -t az  $\alpha$ , ill.  $\beta$  csomópontok szerint felbontottuk. A  $\Delta\Phi$  számára így a

$$\Delta\Phi = M_\alpha^t \Delta P' + M_\beta^t \Delta p \quad (29)$$

kifejezés adódik.

A  $G = 0$  hálózati egyenlet baloldalát ugyancsak az  $\alpha$  és  $\beta$  csomópontok szerint felbontva sorbafejtéssel a következő kifejezés adódik:

$$G(p' + \Delta p') = G(P', p') + \frac{\partial G}{\partial P'} \Delta P' + \frac{\partial G}{\partial p'} \Delta p' + \dots = 0. \quad (30)$$

Mivel

$$\begin{aligned} G(P', p') &= 0, \\ \Delta G &= \frac{\partial G}{\partial P'} \Delta P' + \frac{\partial G}{\partial p'} \Delta p' = 0, \end{aligned} \quad (31)$$

ahol a magasabb rendű tagokat elhagytuk. Tekintve, hogy a  $\partial G/\partial p'$  mátrix általában nem szinguláris, a (30) lehetőséget nyújt a  $\Delta p$  növekményeknek a  $\Delta P$  alapján való kifejezésére:

$$\Delta p' = - \left[ \frac{\partial G}{\partial p'} \right]^{-1} \frac{\partial G}{\partial P'} \Delta P = -W \Delta P', \quad (32)$$

ahol

$$W = \left[ \frac{\partial G}{\partial p'} \right]^{-1} \frac{\partial G}{\partial P'}. \quad (32')$$

A  $W$  mátrixnak a  $G = O$  hálózati egyenlet segítségével való kifejezésétől itt eltekintünk, és csak a végeredményt írjuk fel; lásd ehhez még [10]

$$W = [A_\beta^t \tilde{Y} A_\beta]^{-1} [A_\beta^t Y A_\alpha], \quad (33)$$

ahol  $A_\alpha$  és  $A_\beta$  mátrix az  $\alpha$ , ill.  $\beta$  csomópontok szerint particionált  $A$  ágcsomópont mátrix megfelelő részmatrixai;  $A = [A_\alpha; A_\beta]$ .  $Y$  a hálózat primitív,  $\tilde{Y}$  a hálózat differenciálsi admittanciamátrixa.

A (32) figyelembevételével a (29) következőképpen írható

$$\Delta \Phi = [M_\alpha^t - M_\beta^t W] \Delta P'. \quad (34)$$

A (25) c) és d) kifejezésekben szereplő  $\Delta P^{(\min)}$ ,  $\Delta P^{(\max)}$ ,  $\Delta p^{(\min)}$  határértékek és az eredeti (4) feladatban szereplő  $P^{(\min)}$ ,  $P^{(\max)}$ ,  $p^{\min}$  korlátozó értékek között a következő összefüggések állanak fenn:

$$\begin{aligned} \Delta P^{(\min)} &= P^{(\min)} - P'^{(s)}, \\ \Delta P^{(\max)} &= P^{(\max)} - P'^{(s)}, \\ \Delta p^{(\min)} &= p^{(\min)} - p'^{(s)}. \end{aligned} \quad (35)$$

A (25) lineáris programozási feladat a (32), (34) és (35) alapján a következőképpen fogalmazható

$$\begin{aligned} [-M_\alpha^t + M_\beta^t W^{(s)}] \Delta P'^{(s)} &\rightarrow \max, & \text{a)} \\ \Delta P'^{(s)} &\leq [P^{(\max)} - P'^{(s)}], & \text{b)} \\ -\Delta P'^{(s)} &\leq [-P^{(\min)} + P'^{(s)}], & \text{c)} \\ W^{(s)} \Delta P'^{(s)} &\leq [-p^{(\min)} + p'^{(s)}]. & \text{d)} \end{aligned}$$

A (36) megoldása legcélszerűbben a szimplex módszerrel történhetik. A módszernek bőséges irodalma van és így megelégszünk az erre való hivatkozással [9], [1], [2].

A (36) kifejezés annyiban nem felel meg a lineáris optimálási feladatok standard alakjának, hogy nem biztosítja a megoldás pozitív definit voltát, vagyis a  $P'^{(s)} \leq O$  feltétel kielégítését. Mivel a szimplex módszer megoldása és a megfelelő számítógépes programok általában erre az esetre vonatkoznak, a (34)-en további transzformációt hajtunk végre. Vezessük be ehhez a  $\hat{P}$  változót, melyet a következőképpen definiálunk

$$\hat{P}^{(s)} = P'^{(s)} + \Delta P'^{(s)} - P^{(\min)}. \quad (37)$$

A  $\Delta P'^{(s)}$ -t a (37)-ből kifejezve,

$$\Delta P'^{(s)} = \hat{P}^{(s)} - P'^{(s)} + P^{(\min)}. \quad (38)$$



Helyettesítve ezt a (32)-be

$$[-M'_\alpha + M'_\beta \mathbf{W}^{(s)}] P^{(s)} - P'^{(s)} + P^{(\min)} \rightarrow \max \quad (39)$$

adódik. Mivel  $P'^{(s)}$  és  $P^{(\min)}$  a lineáris programozási feladat szemszögéből állandóknak tekinthetők, a (39)

$$[-M'_\alpha + M'_\beta \mathbf{W}^{(s)}] P^s \rightarrow \max \quad (40)$$

alakba írható.

A (38) alapján a (36 b) a következőképpen írható

$$\hat{P}^{(s)} - P'^{(s)} + P^{(\min)} \leq [P^{(\max)} - P'^{(s)}], \quad (41)$$

vagyis

$$\hat{P}^{(s)} + P^{(\min)} \leq P^{(\max)}. \quad (42)$$

Mivel  $P'^{(s)}$  feltétlenül pozitív és nagyobb mint  $P^{(\min)}$ , a (37) definíciós kifejezés alapján  $\hat{P}^{(s)} \geq 0$ , vagyis feltétlenül pozitív. Amennyiben tehát  $P'^{(s)}$ -et tekintjük a lineáris programozási feladat változójának, a feladat pozitív definit.

A (36), (38) és (40) alapján a lineáris programozási feladat a következőképpen fogalmazható meg:

$$[-M'_\alpha + M'_\beta \mathbf{W}^{(s)}] \hat{P}^{(s)} \rightarrow \max, \quad (43)$$

$$P^{(s)} \leq P^{(\max)}$$

$$\mathbf{W}^{(s)} \hat{P}^{(s)} \leq [P'^{(s)} - P^{(\min)} + \mathbf{W}^{(s)} P'^{(s)} - P^{(\min)}],$$

$$\hat{P}^{(s)} \geq 0.$$

Mint látható, a (43) feladat a

$$c^t x \rightarrow \max,$$

$$\mathbf{L}x \leq b, \quad (44)$$

$$x \geq 0$$

standard alakkal bír, ahol

$$c^t = -M'_\alpha + M'_\beta \mathbf{W}^{(s)}, \quad (44')$$

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} \mathbf{E} \\ \mathbf{W} \end{bmatrix},$$

$$b = \left[ \frac{P^{\max}}{\{P'^{(s)} - P^{(\min)} + \mathbf{W}[P' - P^{(\min)}]\}} \right], \quad (44')$$

$$x = \hat{P}^{(s)},$$

E az egységmátrix.

A (43) feladat megoldásával nyert  $\hat{P}^{(s)}$ , valamint a (22) hálózati egyenletből nyert  $P'^{(s)}$  alapján  $P'$  alapján  $P'^{(s)}$  a (38)-ból számítható. A  $p'^{(s)}$  és  $\Delta p'^{(s)}$  értékeit a (26) kifejezésbe helyettesítve, a (4) nemlineáris optimálási feladat  $(s + 1)$ -edik közelítő megoldása adódik.

### 5. A számítógépes program

A (43) kifejezés jobb oldala tartalmazza a  $P'^{(s)}$  és  $p'^{(s)}$  vektorokat, amelyek a lineáris programozási feladat szempontjából állandóknak számítanak; ezek meghatározása a nemlineáris hálózat egyenleteinek megoldásával történik. Mivel az utóbbihoz iterációs módszert használunk, szükségszerűen minden egyes lineáris programozási ciklusba ( $s$ -ciklusba) $_Q$  számú Newton—Raphson iteráció van beágyazva ( $r$  ciklus). Minden egyes  $s$ -ciklusban újra számíttódik a  $\mathbf{W}^{(s)}$  mátrix, a  $\Delta\Phi^{(s)}$  differenciális veszteség, valamint a (43) feltétel rendszerét reprezentáló  $\mathbf{L}^{(s)}$  mátrix. A megfelelő számítási folyamatábra a 3. ábrán látható [10].

Szükséges megjegyezni, hogy a tényleges programszerkezet több tekintetben eltér a 3. ábrán látható elvi skémától. Ez egyrészt programozástechnikai, másrészt gazdaságossági okokkal indokolható, mégpedig:

a) A számítási eljárásban szereplő mátrixműveleteket sokszor célszerű volt hatékonyabb heurisztikus megfontolások alapján nyert algoritmusokkal helyettesíteni. Ebbe a kategóriába tartozik a mátrixok ürességét kihasználó Zollenkopf-algoritmus is;

b) a programba több könyvtári rutin van beépítve. Az összekapcsolás a főprogrammal ezeknél bizonyos módosításokat, ill. illető programrészek beiktatását igényli;

c) nagyméretű feladatok megoldása külön igényeket támaszt a memóriával való gazdálkodással szemben. Az idevonatkozó eljárások szoros kapcsolatban állnak a már említett, a mátrixok ürességét kihasználó módszerekkel;

d) a programrendszer fontos részét képezik a beépített ellenőrző eljárások, melyek elengedhetetlenek ennek biztonságos működtetéséhez.

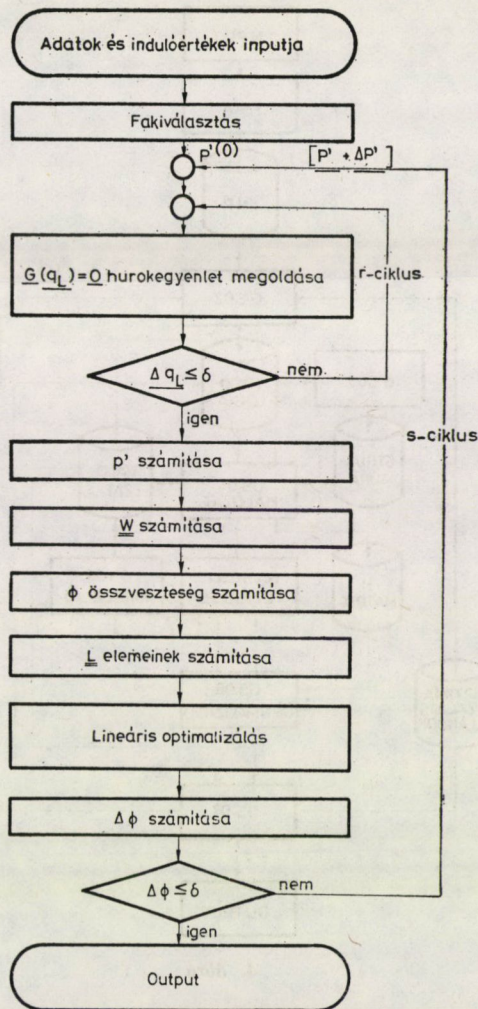
A program valóságos szerkezeti felépítését a 4. ábra szemlélteti. A CDC-3300 gépre készült FORTRAN program szerkezetét nagymértékben meghatározta a gép operációs rendszerének felépítése.

A program a következő részprogramokból áll:

a) Az elsődleges kártyabemenet fogadására, ellenőrzésére és háttértárolóra való írására szolgáló részprogramból (GS01);

b) előkészítő programból, mely az ágak és csomópontok sorszámozását a további igényeknek megfelelő módon adja meg (GS02);

c) egy részprogramból, amely a hálózati topológia alapján a szükséges strukturális információkat adja meg, melyek alapján a hálózatszámításban résztvevő mátrixok a ritka mátrixok technikájával kezelhetővé válnak (GS03);



3. ábra

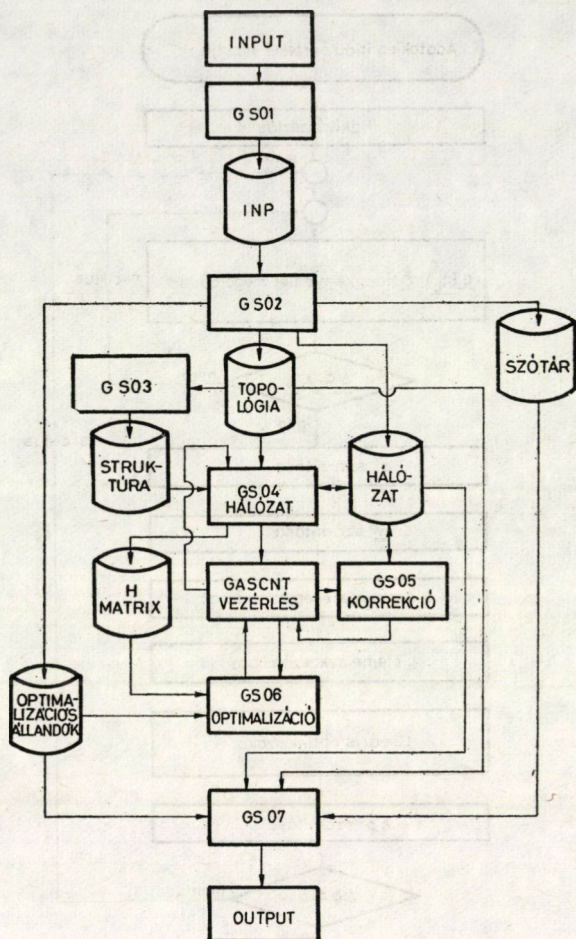
d) a hálózatszámítást végző és az optimalizálás mátrixának előállítását végző részprogramból (GS04);

e) a nemlineáris optimalizáláshoz szükséges ciklikus hálózatszámítási és lineáris optimációs műveletek vezérlését végző részből (GS05);

f) a ciklikusan ismétlődő lineáris programozási feladatoknak szimplex-módszer által való megoldására szolgáló könyvtári programból (GS06);

g) a d), e), f) feladatoknak a számítógép operációs rendszerével összhangban történő megszervezését biztosító rendezőprogramból (GASCNT);

h) kiíró programból, mely a számítások be- és kimenő adatait megfelelő formátumba rendezi (GS07);



4. ábra

i) az egész rendszer tesztelésére és az esetleges hibák felderítésére szolgáló programból, melynek segítségével a rendszer bármely adat-file-ja értelmezhető formában kiiratható (GASTST).

## 6. Alkalmazási példa

A program alkalmazását egy 79 csomóponttal bíró hálózaton szemléltetjük (Budapest XII. kerület Szabadsághegy). A hálózat összesen 4 nyomás-csökkentő szelepen keresztül van táplálva ( $\alpha$ -típusú csomópontok). A feladat annyiban is tanulságos, hogy a csomópontok geodetikus magasságkülönbségei viszonylag nagyok (max. 200 m). Az ebből adódó hajtóerők így egyenlő nagyságrendűek a betáplálási nyomásoktól származó hajtóerőkkel.

I. táblázat

Terhelési állapot	Terhelés (összfogyasztás) $m^3h^{-1}$	Veszteség konvencionális üzem $m^3h^{-1}$	Veszteség optimális üzem $m^3h^{-1}$	Relatív veszteség konvencionális üzem %	Relatív veszteség optimális üzem %	Relatív megtakarítás %
1	946	50,7	42,3	5,35	4,47	16,50
2	1884	49,3	40,9	2,62	2,17	17,04
3	2823	47,8	40,9	1,68	1,45	14,35
4	3731	45,2	40,1	1,21	1,08	11,11
5	4652	43,4	41,3	0,93	0,89	4,84

A hálózat üzemi viszonyai 5 terhelési állapotban kerültek meghatározásra, melyek globálisan az összefogyasztásokkal jellemezhetők. (Ld. az I. táblázatot.) Az egyes terhelési állapotoknak megfelelő fogyasztások kb. kétszeresei a sorrendben előtte állókénak. A hálózat ilyen széles határok között való vizsgálata azért indokolt, mivel az órai fogyasztások egyetlen nap alatt a különböző napszakokban 1:5 arányban változhatnak.

Mindegyik terhelési állapotban meghatározást nyertek a csomóponti nyomások, ágáramok, valamint a hálózati összveszteségek, mind optimális üzemmódnál (minimális veszteségeknél), mind konvencionális üzemmód esetében.

Az I. táblázat tartalmazza a számítások leglényegesebb eredményeit, az összveszteségeket konvencionális, ill. optimális üzemmódnál, az összfogyasztásra vonatkoztatott relatív veszteségeket ugyancsak mindkét üzemmódnál, valamint a százalékos gázmegetakarítást, amennyiben a konvencionális hálózatrányítást optimális irányítás váltja fel. Az utóbbi mutató jelentősége abban áll, hogy ellentétben a táblázatban szereplő többi számítási eredménnyel, független az  $\varepsilon$  szivárgási együtthatótól származó bizonytalansági tényezőtől. Mivel az  $\varepsilon$ -együtthatóra vonatkozólag nem álltak rendelkezésre közvetlen mérések alapján nyert adatok, a számításoknak egy irodalomból vett érték

$$\varepsilon = 4.1 \cdot 10^{-5} m^3 h^{-1} m^{-1} (mbar)^{-1}$$

szolgál alapul [5]. Mint a táblázatból látható, az optimális irányítással elérhető relatív megtakarítások  $17 \div 5\%$  között mozognak és növekvő terheléssel csökkennek.

#### IRODALOM

1. KREKÓ B.: Optimumszámítás. Nemlineáris programozás. Közg. Jogi Kiadó, Budapest 1972.
2. DUCK W.—BLIEFERNICH, M.: Operationsforschung. 3 Bd. VEB Deutscher Verlag der Wiss. Berlin 1972.
3. BRAMELLER A.—CHANCELLOR, V. E.—HAMAM, Y.—YALCINDAG, C.: Recent Advances in Mathematical Analysis for Gas Industry Applications. *I. C. E. Journal* (1971), 188—215.

4. DAVENPORT R.: Minimum Leakage from Gas Networks. Ph. D. Thesis, University of Manchester, 1972.
5. TINNEY W. F.: Some Examples of Sparse Matrix Methods for Power Network Problems. *Proc. 3th Power System Computation Conf.*, Rome 1969, Preprints.
6. SINGER D.: Nagy hálózatok megoldási módszereiről. *Műszaki Tudomány* 49 (1974), 9181—197.
7. SINGER D.—KOLTAI T.: Új algoritmus gázhálózatok számítására. *Műszaki Tudomány*, 47 (1973), 139—149.
8. ZOLLENKOPF K.: Bifactorization — Basic Computational Algorithm. *Conf. on Large Sparse Sets of Linear Equations*, Oxford 1970.
9. DANZIG G. B.: Maximization of a Linear Function Subject to Linear Inequalities, in Koopmann's: "Activity Analysis of Production and Allocation", J. Wiley and Sons Inc., New York 1951, pp. 339—347.
10. SINGER D.—BOROSSAY GY.—KOLTAI T.: Gázhálózatok optimális irányítása, különös tekintettel a Fővárosi Gázművek hálózataira. Az OPTPRESS programrendszer leírása. MTA SzTAKI, Intézeti Jelentés, Budapest 1974. szeptember.
11. SINGER D.—BOROSSAY GY.—CZOCH Á.: Budapest XII. ker. Szabadsághegy földgáz-hálózat optimális üzemeltetésének vizsgálata. MTA SzTAKI Intézeti Jelentés, Budapest, 1974. október.

**An Efficient Computer Method for Optimal Working Conditions of Gas Networks.** The paper deals with the optimization of nonlinear networks and explains the theoretical basis of a method for minimization of losses of gas networks with simultaneous stabilization of the node pressures in given tolerance limits. The method takes into account also the differences in geodetical heights of the individual nodes. The description of the appropriate program elaborated by the authors is given for practical purposes. The use of the program is shown on an illustrative example, enabling to estimate the economical consequences of optimal control of gas networks.

**Eine leistungsfähige Methode zur Bestimmung der optimalen Arbeitsverhältnisse von Gasnetzen.** Die Arbeit gibt eine allgemeine Übersicht über die Problematik der Optimierung von nicht-linearen Netzwerken. An Hand dieser wird die Theorie einer Methode eingehend behandelt, welche die Minimierung der Gasverluste des Gasnetzes bei vorgeschriebenen Toleranzen der Knotenpunktdrucke ermöglicht. Die Lösung zieht die Wirkung der Differenzen der geodetischen Höhen der Knotenpunkte in Betracht. Der Aufsatz beschreibt das entsprechende Programmsystem, dessen Leistungsfähigkeit anhand eines reellen Beispiels demonstriert wird. Aufgrund der hier gewonnenen Zahlenergebnisse werden Schlussfolgerungen über ökonomische Folgen der Optimalregelung von Gasversorgungsnetzen gezogen.

# ALGORITMUS A TRIPLET AUTOMATIKUS TERVEZÉSÉHEZ

KALLÓ PÉTER\*

[Beérkezett: 1974. november 20-án]

Összefoglalóan értékelve az optikai rendszerek eddig ismert automatikus tervezési eljárásainak alkalmazása során szerzett tapasztalatokat, a klasszikus triplet típusú objektív optimalizált, automatikus (és hagyományos) tervezésére alkalmas, kiindulásában és kezdeti szakaszaiban teljesen új algoritmus kerül ismertetésre. A dolgozat részletesen tárgyalja a teljesítménydetermináló paraméterek fogalmának definiálását, a tripletek alapegyenetének levezetését és az üveganyagok megválasztásának összefüggéseit; a hajlítások és a finomkorrekció ismert módszereire csak a legszükségesebb mértékben tér ki. A számítógépre jól programozható formájú, számos optimalizálási lehetőséget biztosító, új algoritmus jelentősége az, hogy a tripletek automatikus (és hagyományos) tervezéséhez kiindulásul csak az előzetesen megadott relatív nyílás, tárgyszög, valamint a felhasználható üvegek adatainak ismeretét igényli és több irányú általánosításra alkalmas (más típusú — ragasztott lencsékét is tartalmazó — optikai rendszerek, véges tárgytávolság, stb.).

## 1. Bevezetés

A klasszikus triplet [1] mintegy nyolc évtizedes tradícióra tekint vissza, a számítógépek alkalmazásának az optikai tervezésben negyedszázados múltja van. Ennek ellenére a legalaposabban megvizsgált optikai rendszer, a triplet elmélete (az ellenkező vélemények [2] dacára) nem tekinthető lezártnak [3], valamint a triplet automatikus tervezésében [4] vannak még továbbra is nyitott kérdések. Jelen közleményben megkíséreljük a triplet elméletét az eddigieknél [3] egzaktabb alapokra helyezni, oly módon, hogy az új összefüggéseket kifejező algoritmusok az automatikus (és a hagyományos [5]) tervezésben előnyösen alkalmazhatók legyenek.

## 2. Az optikai tervezés automatizálásának helyzete [6]

Az optikai rendszerek automatikus tervezési eljárásainak alkalmazása során szerzett tapasztalatokat az alábbiakban foglalhatjuk össze [7], [8]:

2.1. Tetszőleges típusú optikai rendszer automatikus tervezésére mind-  
eddig nem sikerült alkalmas eljárást megalkotni.

\* Dr. Kalló Péter, 1025 Budapest, Kapy u. 26/B.

2.2. Az előzetesen rögzített követelményeket jó közelítéssel kielégítő, adott típusú optikai rendszerek automatikus tervezésére többé-kevésbé megfelelő módszerek ismeretesek, de ezek gyakorlatilag csak a hagyományos tervezési módszerek összefüggései számítógépre alkalmazott változatainak tekinthetők, mert új algoritmusokat nem tartalmaznak (speciális eljárások).

2.3. Az optikai rendszerek (hagyományos és) automatikus tervezési módszereinek sikeressége a kiindulástól döntő mértékben függ.

2.4. A képalkotással szemben támasztott követelmények szempontjából az optikai rendszer viselkedését leíró sokváltozós függvény(-ek)nek több minimuma van. Az adott kiindulásból adott módszerrel meghatározott minimumról azonban nem lehet tudni azt, hogy az az összes lehetséges minimumok közül melyik, azaz a legkisebbek közül való-e?

2.5. Az előző, 2.3., 2.4. pontban foglalt bizonytalanságokra vezethető vissza többek között az adott típusú optikai rendszerek automatikus tervezésére használható speciális (és a csak finomkorrekcióra alkalmas) eljárások vezérlési elveinek (merit function), valamint matematikai módszereinek sokasága. Nem tekinthető alaptalannak az az állítás, hogy e területen sok esetben a matematikai módszerek és szimbólumok útvesztőit sajnálatos módon az optikai tervezés lényegének fizikai tartalma és célkitűzései sínylik meg.

A dolgozat címében foglalt célkitűzést részletezve és körülhatárolva, a továbbiakban a távoli tárgyra korrigált ( $s_1 = \infty$ ) triplet típusú objektív automatikus tervezése algoritmusának meghatározásánál első sorban a 2.3., 2.4., 2.5. pontokban foglalt bizonytalanságok kiküszöbölésére és az általánosíthatóság biztosítására (2.1.) törekszünk.

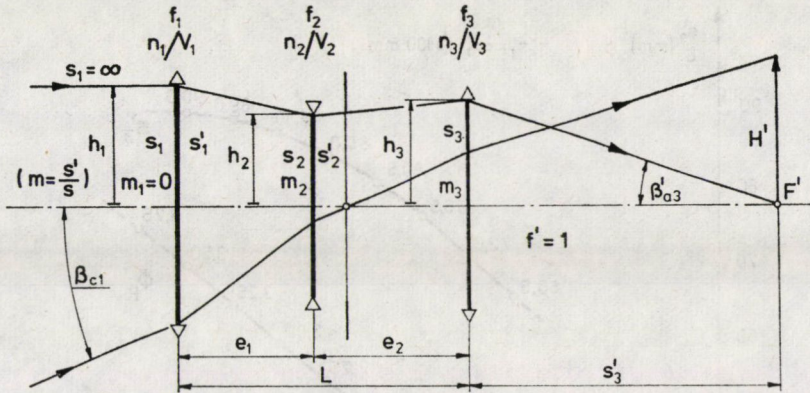
A triplet automatikus tervezéséhez ajánlott algoritmusnak olyannak kell lennie, hogy az azt alkalmazó program segítségével, a triplettel szemben támasztott relatív nyílás, tárgyszög, valamint a rendelkezésre álló üvegekészlet adatok megadása után a számítógép a korrigált rendszer szerkezeti jellemzőit (rádiuszok, légközők, vastagságok értékei, üvegek típusjelei) emberi beavatkozás nélkül számítsa ki, illetve válassza meg.

### 3. A teljesítménydetermináló paraméterek fogalmának bevezetése

A (hagyományos és automatikus) optikai tervezés nehézségeinek túlnyomó többsége a helyes kiindulás megválasztásában összpontosul (2.3.), illetve arra vezethető vissza.

Ezért látszik indokoltnak az, ha a kiindulásnál szereplő adatokat teljesítménydetermináló paramétereknek tekintjük. Az 1. ábrának megfelelően értelmezett jelölések alkalmazásával a triplet teljesítménydetermináló paramétereit két, jól elkülönülő csoportra oszthatjuk.





1. ábra. Jelölések.

A külső teljesítménydetermináló paraméterek a triplet egészére vonatkozó  $s_3'$  képtávolság és  $L$  szerkezeti hossz (rendszerjellemezők). A belső teljesítménydetermináló paraméterek a triplet komponenseinek  $f_1, f_2, f_3$  fókusz-távolságai, valamint az azokat egymástól elválasztó  $e_1, e_2$  légközők.

A teljesítménydetermináló paramétereken nyugvó szemléletmódnak az az előnye, hogy segítségével feloldhatók az optikai tervezés kezdeti szakaszának nehézségei, mert az összefüggések feltárása két lépésben történhetik:

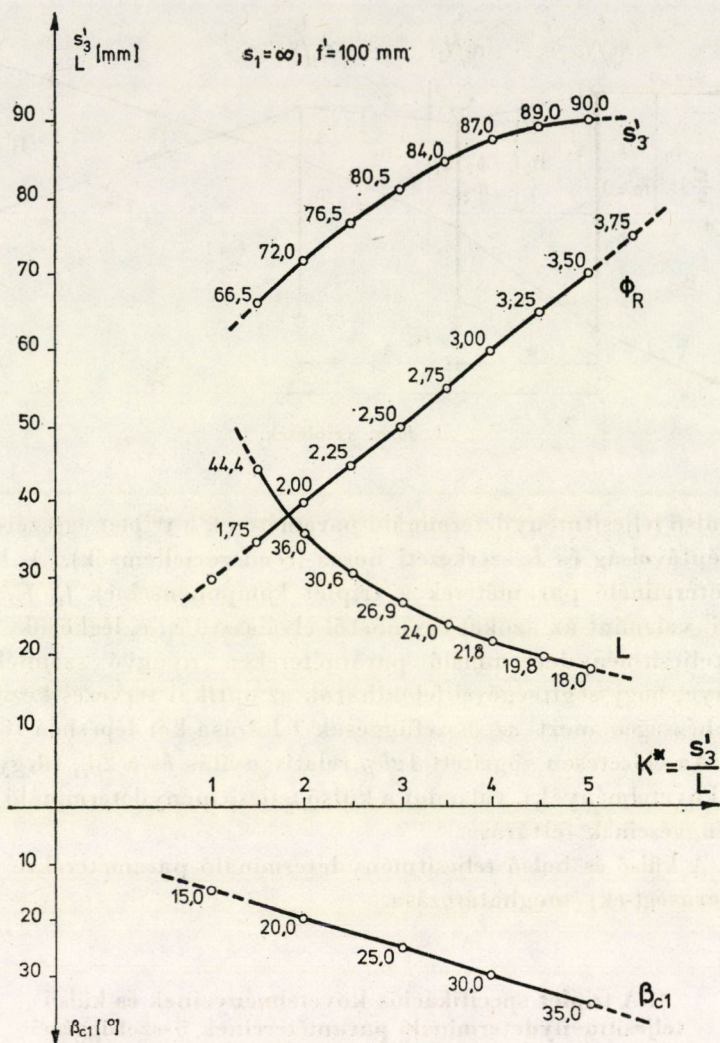
3.1. Az előzetesen rögzített  $1:\Phi_R$  relatív nyílás és a  $2\beta_{c1}$  tárgyyszög (specifikációs követelmények), valamint a külső teljesítménydetermináló paraméterek összefüggéseinek feltárása.

3.2. A külső és belső teljesítménydetermináló paraméterekre vonatkozó törvényszerűség(-ek) meghatározása.

#### 4. A triplet specifikációs követelményeinek és külső teljesítménydetermináló paramétereinek összefüggései

Mint hogy a szakirodalomból számos korrigált triplet összetartozó specifikációs adata és szerkezeti jellemzője ismeretes, a külső teljesítménydetermináló paramétereknek és a specifikációs követelményeknek az összefüggései empirikus úton jól megközelíthetők.

Az I. táblázatban feltüntetett forrásokból származó tizenöt tripletet vizsgáltunk meg. Meghatároztuk az egyes tripletvek vékony rendszerét, majd a megfelelő jellemzőket rendezve az összefüggéseket grafikusán ábrázoltuk (2. ábra). A grafikonok nem tartalmazzák már a tizenöt triplet vékony rendszerének individuális adatainak a szórását, mert azok a 2. ábrát áttekinthetetlenül zsúfolttá tették volna. Az  $s_3'$  képtávolságnak és az  $L$  szerkezeti hosszának a grafikonok által reprezentált összetartozó adatait a megvizsgált tizenöt triplet



2. ábra. A specifikációs adatok és a külső teljesítménydetermináló paraméterek összefüggései.

megfelelő adataitól legfeljebb 10%-kal térnek el. Ez a pontosság a külső teljesítménydetermináló paraméterek értékeinek a meghatározásánál — azzal az előnnyel, hogy az összefüggések grafikusán is áttekinthetők — a gyakorlat által támasztott igényeket jól kielégíti.

A specifikációs követelményeket és a tripletek külső teljesítménydetermináló paramétereinek összefüggéseit tükröző, a 2. ábrán megadott görbék azt mutatják, hogy az  $s'_3/L$  függvényében ábrázolt  $\Phi_R$  reciprok relatív nyílás és a  $\beta_{c1}$  fél tárgyszög grafikonja egyenes. A grafikonok alkalmazása a következő: a követelményként adott  $1 : \Phi_R$  relatív nyílás és  $\beta_{c1}$  fél tárgyszög érté-

I. táblázat

Sorszám	Forrás	Tervező
1	Brit. Pat 155640	H. W. LEE
2	USA Pat. 2,503,751	W. LITTEN
3	USA Pat. 2,731,884	T. BRENDEL
4	USA Pat. 2,818,777	L. HUDSON
5	E. P. 364994	R. RICHTER
6	USA Pat. 1,987,878	A. W. TRONNIER
7	USA Pat. 2,720,816	I. C. SANDBACK
8	Rozprawy VED	M. MALY
9	USA Pat. 2,270,234	A. WARMISHAM
10	JOSA, 1960. 3.	J. MEIRON
11	USA Pat. 2,298,090	A. WARMISHAM
12	Kép- és Hangtechn. (1970), I	KALLÓ P.

kekről megállapítjuk, hogy azok triplet típusú objektívvel kielégíthetők-e, azaz a  $\beta_{c1}$  fél tárgyszög értéknek a  $\Phi_R$  reciproknak relatív nyílás értékkel jó közelítéssel azonos ordinátán kell elhelyezkednie. Ha a  $\beta_{c1}$  fél tárgyszög értéke a grafikon által megengedettnél nagyobb, a követelmények triplettel nem elégíthetők ki; ha kisebb, akkor a triplet nincs kihasználva (vagy pl. a szokásosnál kedvezőbb mértékű vinnyettálást tűzünk célul) és lehetséges, hogy a követelmények esetleg tripletnél egyszerűbb rendszerrel is teljesíthetők. Ezután a  $\Phi_R$  reciproknak relatív nyílás értékhez tartozó  $s'_3$  képtávolság és  $L$  szerkezeti hossz adatot az adott  $\Phi_R$  értékhez tartozó ordináta mentén a megfelelő görbe segítségével leolvashatjuk.

### 5. A triplet külső és belső teljesítménydetermináló paramétereinek összefüggései. A tripletnek alapegyenlete

A 4. pontban ismertetett módon a specifikációs követelményeknek megfelelő külső teljesítménydetermináló paramétereket, az  $s'_3$  képtávolságot és az  $L$  szerkezeti hosszat grafikus formában határoztuk meg. A külső és a belső teljesítménydetermináló paraméterek összefüggéseinek levezetésénél az 1. ábrán feltüntetett jelöléseket alkalmazva ( $\Sigma f = 1$ ,  $s_1 = \infty$ ) az alábbi feltételi egyenletekből indultunk ki:

$$L = e_1 + e_2 \quad \longrightarrow \quad e_2 = L - e_1 \quad (1)$$

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{f_1}{f_1 - e_1} \quad \longrightarrow \quad h_2 = \frac{h_1(f_1 - e_1)}{f_1} \quad (2)$$

$$f_1 m_2 m_3 = 1 \quad \longrightarrow \quad m_2 = \frac{1}{f_1 m_3} \quad (3)$$

$$m_2 = \frac{\frac{s'_3}{f_3} + L - e_1}{f_1 - e_1} \quad (4)$$

$$m_3 + \frac{s'_3}{f_3} = 1 \quad \longrightarrow \quad m_3 = \frac{f_3 - s'_3}{f_3} \quad (5)$$

$$\frac{1}{m_2} = 1 + \frac{f_1 - e_1}{f_2} \quad \longrightarrow \quad e_1 = f_1 + f_2 - \frac{f_2}{m_2} \quad (6)$$

A fenti (1) – (6) egyenletrendszer  $s'_3$ ,  $L$  és  $\Phi_R(h_1)$  megadása esetén az alábbi nyolc ismeretlent tartalmazza:

$$\begin{array}{ccccc} f_1 & & f_2 & & f_3 \\ & e_1 & & e_2 & \\ & & m_2 & & m_3 \\ & & & h_2 & \end{array} \quad (7)$$

ugyanis a  $\Phi_R$  reciprok relatív nyílás nagyságának ismeretében a  $h_3$  értéke

$$h_3 = s'_3 h_1. \quad (8)$$

Behelyettesítve az (5) egyenletből az  $m_3$  értékét a (3)-ba, valamint az így kapott  $m_2$  értékét a (6)-ba, az

$$m_2 = \frac{f_3}{f_1(f_3 - s'_3)}, \quad (9)$$

illetve az

$$e_1 = f_1 + f_2 - \frac{f_1 f_2 (f_3 - s'_3)}{f_3} \quad (10)$$

egyenletekhez jutunk.

Miután a (4) és (9) egyenletek bal oldala azonos, jobb oldalainak egyenlőknek kell lenniök; behelyettesítve továbbá  $e_1$  kifejezését a (10)-ból, illetve az  $m_3$  értékét az (5)-ből, az alábbi egyenletet kapjuk:

$$\frac{f_3}{f_1(f_3 - s'_3)} = \frac{\frac{s'_3 f_3}{f_3 - s'_3} + L - f_1 - f_2 + \frac{f_1 f_2 (f_3 - s'_3)}{f_3}}{f_1 - f_1 - f_2 + \frac{f_1 f_2 (f_3 - s'_3)}{f_3}}, \quad (11)$$

amely jobb oldala számlálójának és nevezőjének utolsó két tagja azonos, s ezért az alábbi alakba írható át:

$$\frac{f_3}{f_1(f_3 - s'_3)} = \frac{(L - f_1)(f_3 - s'_3) + s'_3 f_3}{f_2[-f_3 + f_1(f_3 - s'_3)]} + 1. \quad (12)$$

Egyszerűsítés után:

$$\frac{f_2[f_3 - f_1(f_3 - s'_3)]}{f_1} = \frac{f_3[(L - f_1)(f_3 - s'_3) + s'_3 f_3]}{f_1(f_3 - s'_3) - f_3}. \quad (13)$$

Kifejezve a (13)-ból az  $f_2$  értékét, a tripletek alapegyenletét kapjuk:

$$f_2 = - \frac{f_1 f_3 [(L - f_1)(f_3 - s'_3) + s'_3 f_3]}{[f_1(f_3 - s'_3) - f_3]^2}. \quad (14)$$

Tekintettel az alapegyenlet egyszerűségére és arra, hogy a komponensek  $f_1, f_2, f_3$  fókusz távolságainak összes lehetséges értékei viszonylag szűk tartományban helyezkednek el,  $f_1$  és  $f_3$  megfelelő lépésközének megválasztása után a negatív lencse  $f_2$  fókusz távolságainak értékei meghatározhatók, és az optikális változatok szelektálhatók; a légközők, valamint — a relatív nyílás megadása után — az aperturasugár belépési magasságainak meghatározása a (10), (1), (2) és (8) egyenletek alkalmazásával már nem jelent nehézséget.

## 6. A rekesz helyének megválasztása és az alaktól független képalkotási hibák tűréseire vonatkozó megfontolások

A teljesítménydetermináló paraméterek közötti alapvető összefüggések, (2. ábra, (14) alapegyenlet) feltárása eredményeképpen az előzetesen megadott  $(\Phi_R, 2\beta_{cl})$  specifikációs követelményekből kiindulva meg tudjuk határozni a legkedvezőbb (pl. maximális abszolút értékekkel rendelkező)  $f_1, f_2, f_3$  fókusz távolsághármassal jellemzett vékony tripleteket, amelyeknek ismerjük az  $e_1, e_2$  légközeit és  $h_1, h_2, h_3$  aperturasugár belépő magasságait is. Az alaktól független képalkotási hibák közül a longitudinális színhiba, valamint a Petzvál-képmezőhajlás harmadrendben közelítő egyenletének felírásához a fenti adatok elegendők, a transzverzális színhiba esetében viszont szükséges ismerni a rekesz helyét is. A rekeszhely megválasztásával kapcsolatban a következő megfontolásokat tehetjük.

Ismeretes, hogy a harmadrendű képalkotási hibák közül a transzverzális színhiba, az asztigmatizmus és a torzítás függ a rekeszhelytől (a centrális koma — a szerkezeti hossz középső tartományában elhelyezett rekesz esetén — gyakorlatilag nem függ a rekeszhelytől). Ha a torzítással szemben támasztott

II. táblázat

Sor- szám	$\Phi_R$	$\beta'_{\alpha_3}$	$H'_3$ , mm	$\beta'_{\alpha_3}$	A tűrések értékei, mm		
					$T_1 = \frac{f\lambda}{2H'_3 \sin \beta'_{\alpha_3}}$	$T_2 = \frac{\lambda}{\sin^2 \beta'_{\alpha_3}}$	$T_3 = \frac{0,025}{\sin \beta'_{\alpha_3}}$
1	1,75	16,0	22,1	12,5	0,00452	0,00728	0,0910
2	2,00	14,1	26,7	15,0	0,00425	0,00933	0,103
3	2,25	12,6	31,5	17,5	0,00402	0,0116	0,115
4	2,50	11,3	36,3	20,0	0,00388	0,0143	0,128
5	2,75	10,3	41,3	22,5	0,00377	0,0172	0,140
6	3,00	9,50	46,5	25,0	0,00356	0,0202	0,152
7	3,25	8,80	51,8	27,5	0,00347	0,0235	0,163
8	3,50	8,20	57,7	30,0	0,00337	0,0273	0,176

követelmények nem rendkívül szigorúak, akkor a torzítás korrekcióját potenciónálisan a szerkezeti hossz felezőpontja környezetében elhelyezett rekesz biztosítja. Ebben az esetben általában asztigmatizmusnehézségek sem lépnek fel — tehát erre a rekeszhelyre vonatkozóan kell a transzverzális színhibát kiegyenlíteni.

A korábbiak alapján rendelkezésünkre álló vékony tripletek az  $e_1$ ,  $e_2$  légközők szempontjából tehát az alábbi feltételek teljesülése szerint szelektálhatók

$$|e_1 - e_2| < 0,06 \Sigma f, \quad \text{vagy} \quad \sim 0,1 \Sigma f > |e_1 - e_2| > 0,06 \Sigma f, \quad (15)$$

(amelyben  $\Sigma f$  a vékony triplet eredő fókusz távolsága).

Az első egyenlőtlenséget kielégítő nagyságú légközőkkel rendelkező vékony tripletek olyan objektívek kiindulásául alkalmasak, amelyekbe nem kívánunk változtatható átmérőjű rekeszt elhelyezni (a rekesz ez esetben a középső lencse foglalata). A második egyenlőtlenséget kielégítő nagyságú légközőkkel rendelkező tripletek azon objektívek kiindulásául alkalmasak, amelyekbe változtatható átmérőjű rekesz kell, hogy elhelyezhető legyen. Ekkor a rekesz helye a nagyobbik légközőben a középső lencse közvetlen közelében van.

Végül meg kívánjuk jegyezni, hogy a továbbiakban, az alaktól és a rekeszhelytől függő képalkotási hibák (első sorban az asztigmatizmus) korrekciója során esetenként szükséges a rekeszhely módosítása, ez azonban nem olyan mértékű, hogy a transzverzális színhiba korábbi korrigáltságának mértékét jelentősen befolyásolná.

A továbbiakban a tripletekkel szemben támasztható reális követelményeket alapul véve a 2. táblázatban a különböző  $1:\Phi_R$  relatív nyílásokhoz tartozó  $\beta'_{\alpha_3}$  kilépő apertúraszöveget és  $H'_3$  képmagasságot tüntettük fel, valamint meghatároztuk az ezekhez tartozó  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  képalkotási tűréseket a transzverzális és longitudinális színhiba, valamint a Petzvál-képmezőhajlás esetében.

Ismeretes, hogy a II. táblázatban feltüntetett relatív nyílás és képszög (képmagasság) követelmények mellett a tripletok — viszonylagos egyszerűségük miatt — nem biztosítják azt, hogy a harmadrendű maradék képalkotási hibák nagyságai ne haladják jelentősen meg a megfelelő tűrésekben foglalt értékeket. Ezért a 2. táblázat adatai alapján valamennyi szóbjövő triplet esetére önkényesen az alábbi tűrésértékeket választjuk ( $\Sigma f = 100$  mm):

$$T_1 = 4 \cdot 10^{-3} \quad T_2 = 5 T_1 \quad T_3 = 50 T_1 \quad [\text{mm}]. \quad (16)$$

### 7. Az alaktól független harmadrendű képalkotási hibák optimális kiegyenlítését biztosító üvegek összetartozó törésmutatóinak és Abbe-számainak meghatározása

Mint hogy a képalkotási tűrések számértékét értelemszerűen  $\pm$  előjellel vesszük figyelembe, elegendő, ha az alaktól független képalkotási hibák abszolút értékeire írjuk fel a harmadrendű egyenleteket, amelyek a Petzvál-képmezőhajlás, valamint a longitudinális és transzverzális színhiba sorrendjében az alábbiak [9]:

$$\frac{1}{2} H_3'^2 \left[ \frac{1}{f_1 n_1} + \frac{1}{f_2 n_2} + \frac{1}{f_3 n_3} \right] = p \cdot 50 T_1, \quad (17)$$

$$\frac{s_3'^2}{a_3^2} \left[ \frac{a_1^2}{f_1 V_1} + \frac{a_2^2}{f_2 V_2} + \frac{a_3^2}{f_3 V_3} \right] = p \cdot 5 T_1, \quad (18)$$

$$H_3' \left[ \frac{a_1 b_1}{f_1 V_1} + \frac{a_2 b_2}{f_2 V_2} + \frac{a_3 b_3}{f_3 V_3} \right] = p \cdot T_1. \quad (19)$$

A fenti képletekben az eddig elő nem fordult jelölések értelmezése az alábbi:

$p$  arányossági tényező, amely arra utal, hogy az üvegekészlet korlátozottsága miatt az alaktól független képalkotási maradék hibák csak megközelítik, de nem érik el a tűrésekben foglalt ideális értékeket (a gyakorlatban ezért  $p$  számértéke mindig nagyobb az egységénél), továbbá a három lencsére vonatkozóan  $a_1, a_2, a_3$  viszonyszámok, az apertúrasugár belépő magasságának és az apertúrarekesz átmérője felének hányadosai,  $b_1, b_2, b_3$  a rekeszfaktorok, a centrális fősugár belépő magasságának és azon szög tangensének hányadosa, amelyet a centrális fősugár az apertúrarekesz középpontján áthaladva az optikai tengellyel be zár 9].

Osszuk el a (17), (18), (19) feltételi egyenleteket a bal oldalukon szereplő együtthatókkal és vezessük be az alábbi jelöléseket:

$$c_1 = \frac{2 \cdot 50 T_1}{H_3'^2}, \quad c_2 = \frac{5 T_1 a_3^2}{s_3'^2}, \quad c_3 = \frac{T_1}{H_3'}, \quad (20)$$

amelyeket behelyettesítve a (17), (18), (19) feltételi egyenletbe az alábbiakat kapjuk:

$$\frac{1}{f_1 n_1} + \frac{1}{f_2 n_2} + \frac{1}{f_3 n_3} = c_1 p, \quad (21)$$

$$\frac{a_1}{V_1 f_1} + \frac{a_2}{V_2 f_2} + \frac{a_3}{V_3 f_3} = c_2 p, \quad (22)$$

$$\frac{a_1 b_1}{V_1 f_1} + \frac{a_2 b_2}{V_2 f_2} + \frac{a_3 b_3}{V_3 f_3} = c_3 p. \quad (23)$$

A fenti három egyenlet közül a továbbiakban foglalkozunk a (22) és (23) egyenlettel, célul tűzve az Abbe-számok közötti összefüggések feltárását. Fejezzük ki mindkét egyenletből az  $a_1/(V_1 f_1)$  értékét:

$$\frac{a_1}{V_1 f_1} = c_2 p - \frac{a_2}{V_2 f_2} - \frac{a_3}{V_3 f_3}, \quad (24)$$

$$\frac{a_1}{V_1 f_1} = \frac{c_3 p}{b_1} - \frac{a_2 b_2}{V_2 f_2 b_1} - \frac{a_3 b_3}{V_3 f_3 b_1}. \quad (25)$$

A (24) és (25) egyenletek bal oldalainak egyenlőségéből következik jobb oldaluk egyenlősége, azaz:

$$c_2 p - \frac{a_2}{V_2 f_2} - \frac{a_3}{V_3 f_3} = \frac{c_3 p}{b_1} - \frac{a_2 b_2}{V_2 f_2 b_1} - \frac{a_3 b_3}{V_3 f_3 b_1}. \quad (26)$$

Fejezzük ki  $V_3$ -t a  $V_2$  függvényében célszerűen az alábbi módon:

$$-\frac{a_3}{V_3 f_3} + \frac{a_3 b_3}{V_3 f_3 b_1} = \left( \frac{c_3}{b_1} - c_2 \right) p + \frac{a_2}{V_2 f_2} - \frac{a_2 b_2}{V_2 f_2 b_1}, \quad (27)$$

$$\frac{1}{V_3} \left[ \frac{a_3 b_3}{f_3 b_1} - \frac{a_3}{f_3} \right] = \frac{1}{V_2} \left[ -\frac{a_2 b_2}{f_2 b_1} + \frac{a_2}{f_2} \right] + p \left( \frac{c_3}{b_1} - c_2 \right), \quad (28)$$

$$\frac{1}{V_3} = \frac{1}{V_2} \left[ \frac{a_2 f_3 (b_1 - b_2)}{a_3 f_2 (b_3 - b_1)} \right] + \left[ \frac{f_3 (c_3 - c_2 b_1)}{a_3 (b_3 - b_1)} \right] p. \quad (29)$$

Végül, ha a (24) és (25) egyenlethez hasonlóan az  $a_1/(V_1 f_1)$  helyett az  $a_3/(V_3 f_3)$ -t fejezzük ki és elvégezzük a fentieknek megfelelő (26)–(28) levezetést, akkor az

$$\frac{1}{V_1} = \frac{1}{V_2} \left[ \frac{a_2 f_1 (b_3 - b_2)}{a_1 f_2 (b_1 - b_3)} \right] + \left[ \frac{f_1 (c_3 - c_2 b_3)}{a_1 (b_1 - b_3)} \right] p \quad (30)$$

összefüggést kapjuk.



A (29) és (30) algoritmusok a (21) feltételi egyenlettel együtt az alábbi módon alkalmazhatók a triplet alaktól független képalkotási hibáinak kiegyenlítését jó közelítéssel biztosító üvegek összetartozó Abbe-számainak és törésmutatóinak meghatározására.

Ismeretesnek tételezzük fel a rendelkezésre álló üvegekészlet összetartozó Abbe-szám és törésmutató adatait. A (29) és (30) algoritmusok segítségével generálhatók a  $V_1$  és  $V_3$  értékek a  $V_2$  függvényében, azaz rendelkezésünkre állnak a színhibákat jó közelítéssel kiegyenlítő  $V_1, V_2, V_3$  Abbe-szám hármasok, amelyeket felül kell vizsgálni abból a szempontból, hogy van-e a számított  $V_1$  és  $V_3$  Abbe-számokat kielégítően megközelítő Abbe-számú üveg a rendelkezésre álló készletben. Végül a reális  $V_1, V_2, V_3$  Abbe-számok célszerűen szűk (pl.  $\Delta V = \pm 3$ ) környezetéhez tartozó megfelelő törésmutatókat rendre a (21) egyenletbe helyettesítve törekszünk  $C_1 p$  értékének minél jobb megközelítésére. Amennyiben az optimális változat esetében a (21)-ből számítható  $p$  értéke lényegesen nagyobb a (29) és (30) algoritmusokban alkalmazott  $p$  értékénél, célszerű új, az eredetinelül megfelelően nagyobb  $p$  értékkel az egész eljárást megismételni mindhárom alaktól független képalkotási hibának a megfelelő tűréstől való „egyszilárd” eltérésének jó megközelítése érdekében (szukcesszív approximáció).

Végül meg szeretnénk említeni, hogy az ismertetett módszer alkalmazható akkor is, ha pl. különleges követelmények miatt egyes alaktól független képalkotási hibákat mások rovására előnyben kívánunk részesíteni. Szemléltessük ezt egy konkrét eset kapcsán. Nagy relatív nyílású és kis képszögű triplet tervezése esetén a longitudinális színhiba korrigálása elsődleges lehet a transzverzális színhibával és a Petzvál-képzőhajlással szemben. Ezért a (20) konstansok meghatározásakor a  $C_2$  értékét változatlanul hagyjuk, a  $C_1$  és  $C_3$  értékeket növeljük. Az így kapott új, a feladatnak inkább megfelelő, csillaggal jelölt konstansok értékei a (20) alapján például az alábbiak lehetnek:

$$C_1^* = 5C_1, \quad C_2^* = C_2, \quad C_3^* = 2C_1. \quad (31)$$

### 8. Az alaktól függő képalkotási hibák kiegyenlítése

Ha a torzítással szemben támasztott követelmény nem túlzottan szigorú (1 ... 3%), akkor a rekeszhely megválasztásakor (6) a torzítás alaktól független feltételének kielégítésével a torzítás kiegyenlítése a többi alaktól függő képalkotási hiba kompenzálásakor — azokkal együtt — bekövetkezik. A vékony rendszer hajlítását célszerűen a Coddington-Taylor egyenletek [9] alkalmazásával végezzük el, a részletekre nem térünk ki, a strukturális bemutatásra szorítkozunk csupán. A nyíláshiba, a centrális koma és az asztigmatizmus harmadrendű képhiba egyenletében szereplő mennyiségeket a III. táblázatban foglaljuk össze.

III. táblázat

A vékony triplet képalkotási hibája	függ										
	$n_i$	$f_i$	$\pi_i$	$a_i$	$b_i$	$b_i$	$\varrho$	$s'_i$	$H'_i$	$\sigma_i$	
Nyíláshiba, $\Delta S'$	x	x	x	x			x	x		x	
Centrális koma, $\Delta K'_c$	x	x	x			x		x		x	
Asztigmatizmus, $\Delta A'$	x	x	x	x	x				x	x	

Megjegyzés: 1.  $i = 1, 2, 3$

2. A képalkotási hibák az x-szel megjelölt mennyiségektől függenek.

A III. táblázatban az eddig elő nem fordult jelölésekre vonatkozóan:

$\varrho$  az apertúrarekesz sugara,

$\pi_i$  a komponensek helyzetfaktora,

$\sigma_i$  a komponensek alakfaktora.

Ismeretes, hogy az egyes lencsék nyíláshibája és asztigmatizmusa a megfelelő alakfaktornak másodfokú, a centrális koma pedig lineáris függvénye [9]. A triplet vékony rendszere egészének egyes képalkotási hibáit a komponensek egynemű képalkotási hibáinak összegzésével nyerhetjük. Jelen feladatunk azon alakfaktorhármas meghatározása, amelyek esetében a triplet:

1. fenti három alaktól függő képalkotási hibájának együttes értéke nulla,
2. nyíláshibája minimum és centrális komája, valamint asztigmatizmusa nulla.

Mint hogy három egyenletünk van három ismeretlennel, a  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  alakfaktorok értékei meghatározhatók. (Ha a torzítás értéke nem kielégítően alacsony, szukcesszív approximációt kell alkalmazni a torzítás egyenletének figyelembevételé miatt). A feladat megoldását megkönnyíti az a számítási gyakorlatból eredő tapasztalat, mely szerint tripletek esetében:

$$+ 0,5 < \sigma_1 < + 2,5 \text{ és } + 0,5 > \sigma_2, \text{ illetve } \sigma_3 > - 1,5.$$

Amennyiben a fent említett két eset közül a 2. eset áll fenn, azaz  $\Delta S' = \Delta S'_{\min}$  és  $\Delta K'_c = 0, \Delta A' = 0$  (ahol  $\Delta S'$  a nyíláshiba,  $\Delta K'_c$  a centrális koma,  $\Delta A'$  az asztigmatizmus), akkor  $\Delta S'_{\min} \geq 5$  mm esetén a triplet nem korrigálható (a változatot el kell vetni),  $\Delta S'_{\min} < 5$  mm esetében pedig a második lencse törésmutatójának növelésével (közel változatlan Abbe-szám mellett) a  $\Delta S'_{\min}$  értékét legalább  $1 \div 2$  mm-re kell mérsékelni. Ha ez elérhető, a rendszer nagy valószínűséggel korrigálható, ha nem, akkor a változattal tovább foglalkozni nem látszik célszerűnek ( $\Sigma f = 100$  mm).

### 9. Finomkorrekció

Az előző fejezetben részletezett módon kiszámított  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  és  $\sigma_3$  alakfaktorok ismeretében meghatározzuk a triplet három komponensének elülső görbületi sugarait. A három lencse  $d_1$ ,  $d_2$  és  $d_3$  vastagságait az  $1 : \Phi_R$  relatív nyílás függvényében a IV. táblázatban foglaljuk össze. (Megjegyezzük, hogy a IV. táblázatban feltüntetett lencsevastagságok értékeit biztonsággal adtuk meg, amelyek esetlegesen nagyobbak a szükségesnél, ezek azonban a finomkorrekció folyamán többnyire kedvezőbb kiindulást rögzítenek.) A három lencse második görbületi sugarait az  $f_1$ ,  $f_2$  és  $f_3$  fókusztávolságok változatlan nagyságának feltételéből kiindulva határozzuk meg. Végül a vékony rendszer  $e_1$ ,  $e_2$  légközeit és a rekesz elhelyezését a vastag lencsék fősíkjai elhelyezkedésének megfelelően módosítjuk. Az ily módon minden adatával jellemzett vastag triplet alaktól függő maradék képalkotási hibáinak nagyságai az eredő fókusztávolság  $1 \div 2\%$ -át és a torzítás esetében az  $1 \div 3\%$ -ot nem haladják meg.

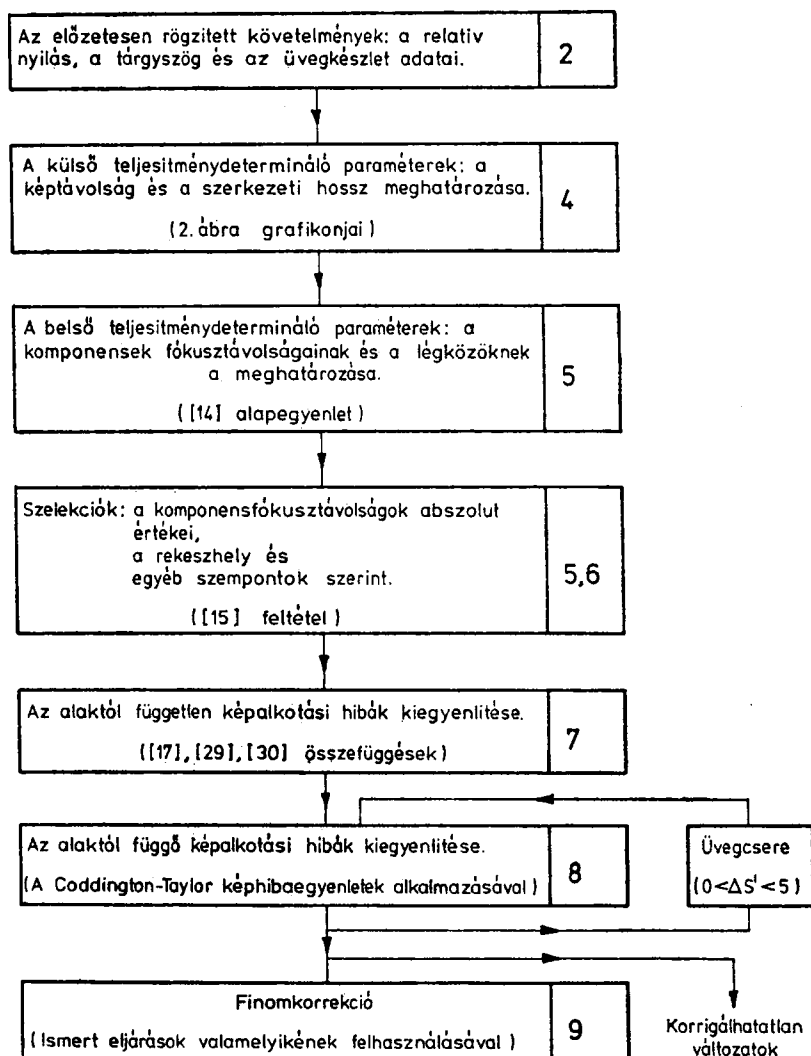
A triplet hátra levő korrigálásával nem kívánunk részletesen foglalkozni, mert az optikai tervezés végső, finomkorrekciós szakasza tekinthető az optikai számítások legeredményesebben gépesített, automatizált területének. Elegendőnek tartjuk e helyen hivatkozni az irodalomra [10], [11] (és hivatkozásait). Ezt az elhatározást a fentiekén kívül különösen indokolja még az a tény, hogy a korábbiakban megkülönböztetett gondossággal törekedtünk a teljesítménydetermináló paramétereik miatt optimális változatok meghatározására.

Az áttekinthetőség céljából a jelen cikkben foglaltakat összegezve, gondolatmenetünket a 3. ábrán megadott, a megfelelő fejezetszámokkal kiegészített blokkvázlattal szemléltetjük. Végül az eddigiekben ismertetett algoritmus helyességét és eredményes alkalmazhatóságát igazolják a [3], valamint az V. táblázatban feltüntetett adatokkal és a 4. ábrán megrajzolt teljesítménygörbékkel jellemzett, szélsőséges specifikációs követelményeket kielégítő, hagyományos eljárással (számítógép alkalmazása nélkül) tervezett tripletok [12].

IV. táblázat

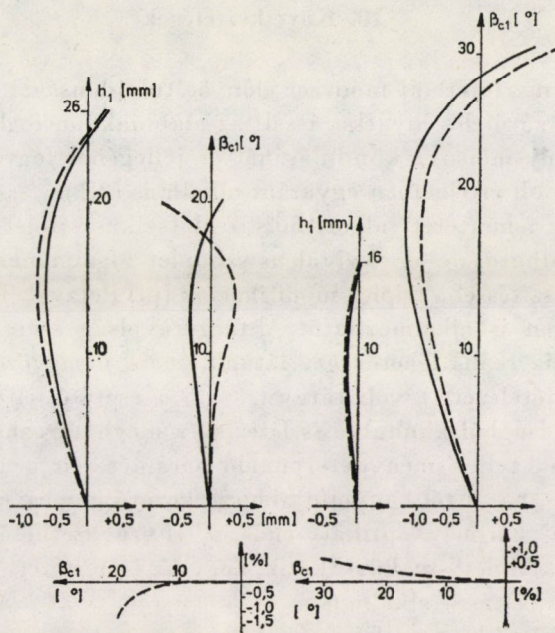
Relatív nyílás $1 = \Phi_R$								
	1:1,75	1:2,00	1:2,25	1:2,50	1:2,75	1:3,00	1:3,25	1:3,50
Lencsevastagság, mm								
$d_1$		10,0		8,0			6,0	
$d_2$		4,0		3,0			2,0	
$d_3$		8,0		7,0			6,0	

(A triplet eredő fókusztávolsága  $f' = 100$  mm).



3. ábra. A triplet automatikus tervezésének blokkvázlata.

A 3. ábra blokkvázlatában összefoglalt és részleteiben ismertett új algoritmus lehetővé teszi a triplet automatikus tervezését megvalósító program elkészítését. Érdeklődési körünk, beállítottságunk és lehetőségeink miatt a program elkészítése nem tartozik célkitűzéseink közé, mert e helyett inkább a jelenlegihez hasonló, további vizsgálatok végrehajtásával (pl. a 10.1 pontban foglaltak) kívánunk foglalkozni.



4. ábra. Az V. táblázatban feltüntetett adatokkal jellemzett tripletok teljesítménygörbéi

V. táblázat

Triplet,  $\Sigma f = 100$ ;  $1 : 1,9$ ;  $2 \times 20^\circ$

Lencse	Görbületi sugár, $r$ , mm	Vastagság, $d$ , mm	Léghöz, $e$ , mm	Törésmutató, $n_s$	Abbeszám, $v_s$
I.	+ 48,57	9,62	15,00	1,79219	50,24
	+ 217,1				
II.	- 111,6	12,22	10,10	1,62118	30,67
	+ 37,51				
III.	+ 82,72	5,77		1,79219	50,24
	- 96,18				

Triplet,  $\Sigma f = 100$ ;  $1 : 3,2$ ;  $2 \times 30^\circ$

I.	+ 62,69	7,84	8,59	1,88580	40,77
	+ 800,1				
II.	- 62,69	5,81	8,72	1,62118	30,67
	+ 64,21				
III.	$\infty$	5,56		1,88580	40,77
	- 57,76				

## 10. Következtetések

A most ismertetett új módszer előnyös tulajdonságai (a 2. pontban felsoroltakra való zárójeles hivatkozással) az alábbiakban foglalhatók össze:

10.1. Az új módszer kiindulásánál és jellegénél fogva általánosításra szűkebb és bővebb értelemben egyaránt alkalmas (2.1).

A jelenleg ismertetett algoritmus a klasszikus triplet automatikus tervezésére használható, de az ekvivalens szimplet fogalmának bevezetésével és minimális kiegészítéssel a triplet modifikációk (pl. Petzvál, Tessar, Heliar, stb. típusok) esetében is alkalmazható. A tárgytávolság szempontjából történő általánosításra is reális lehetőséget látunk, mert meggyőződésünk, hogy az eddigiekben feltételezett távoli tárgy ( $s_1 = \infty$ ) esetétől eltérően, tetszőleges, véges tárgytávolságból kiindulva is létezik és meghatározható egy, az összes lehetséges triplet teljesítménydetermináló paramétereit generáló, a jelenlegihez (14) hasonló, bár attól bonyolultabb szerkezetű alapegyszerlet. Végül, abból kiindulva, hogy bármely optikai rendszer visszavezethető három alapvető csoportból álló „triplet”-re, következik, hogy az ismertetett új módszer a legteljesebb általánosításra alkalmas.

10.2. Az új módszer grafikus és algebrai formában megadott új, (a klasszikus tervezésnél is előnyösen felhasználható) számítógépre kiválóan programozható algoritmusokon ((14), (29), (30), 2. ábra) alapul (2.2).

10.3. Az új módszer az alapvető specifikációs adatok (relatív nyílás, tárgyszög), valamint a teljesítménydetermináló paraméterek (képtávolság, szerkezeti hossz, fókusz távolságok és légközők) közötti összefüggések (2. ábra, (14)) feltárásával biztosítja az optimális kiindulási adatok (2.3.) meghatározását. Ily módon az automatikus (vagy hagyományos) tervezés eredményeképpen kapott triplet képalkotási hibáinak maradék értékei a kiindulás miatt predestinált módon a lehetséges minimumok (2.4.) legkedvezőbbjei közül valók.

10.4. Az új módszer kialakításakor az optikai tervezés és a geometriai optika alapvető összefüggéseiből, mint olyanból (2.5.) indultunk ki. Az új módszer további lényeges jellemzője, hogy — az eddigiektől gyökeresen eltérő módon — célkitűzéseiben és algoritmusában a tervezés kezdetén, a teljesítménydetermináló kiindulás körülhatárolása folyamán a legkorrektebb és legpontosabb; a továbbiakban alkalmazott közelítések rendje a feladat megoldásának előrehaladtával egyre csökken (harmadrend: üvegválasztás, a vékony rendszer hajlítása; elsőrend: lineáris finomkorrekció).

10.5. Az új módszer további előnye az, hogy az összes lehetséges kiindulási változat rendszeres vizsgálatát lehetővé teszi. Az ebből fakadó biztonságot tovább fokozza annak az objektív lehetőségnek a kihasználása, hogy automatikus tervezés esetén a viszonylag csekély számú, megjegyzést igénylő adat miatt kis memóriakapacitású számítógép alkalmazásakor is akár tíz változat futtatható lépésenként párhuzamosan, egyidejűleg.

Az optikai tervezés módszere és eszköze a számítógépek megjelenése óta nem alkot egyenszilárd rendszert. A számítógépek alkalmazásával a numerikus számítások elvégzésének gyorsasága nagyságrendekkel emelkedett, az optikai rendszerek tervezésének időtartama legfeljebb néhányad részére csökkent [7]. Ezt az egyre markánsabban jelentkező ellentmondást feloldani, valamint az optikai rendszerek automatikus tervezésének jobb megoldásai felé haladni csak új, termelékeny, sokoldalú általánosíthatóságra alkalmas algoritmusok megalkotásával lehet.

#### Köszönetnyilvánítás

Szerző köszönettel tartozik LACK Gábornak az elegáns algebrai levezetésekért és a problémák megoldásának matematikai biztosításában tanúsított önzetlen közreműködéséért.

#### IRODALOM

1. TAYLOR, H. D.: Lens. United States Patent Office, No. 568,052 (1896), 1—11
2. LITTEN, W. et. al.: Photographic Objectives of the Cooke Triplet Type. United States Patent Office, No. 2,503,751 (1950), 1—8
3. KALLÓ, P.: Critical Summary of the Design Methods of Form-Independent Thin Triplet Systems. *Acta Techn. Hung.* 73 (1974), 133—142
4. VOLKMAN, H.: Neue Dimensionen der photographischen Technologie. *Umschau* 72 (1972), 449—455
5. KALLÓ, P.: Some Fundamental Relations in the Design of Optical Systems. *Optica Applicata* 4 (1974), 3—7
6. KALLÓ, P.: The Present Situation of Optical Design Automation. *Kép- és Hangtechn.* 20 (1974), 69—70
7. SLIUSAREV, G. G.: Metody rascheta opticheskikh sistem. 2. izd. Izdatel'stvo „Mashinostroenie”, Leningrad, 1969
8. VOLOSOV, D. S.: Fotograficheskaja optika. 1. izd. Izdatel'stvo „Iskusstvo”, Moszkva 1971
9. EMSLEY, H. H.: Aberration of Thin Lenses. 1. Ed. Constable and Company LTD. London 1956
10. JAMIESON, T. H.: Optimization Techniques in Lens Design. 1. Ed. Adam Hilger, London 1978
11. FIALOVSKY L.: Differenciálmódszer és kiegyenlítő számítás alkalmazása az optikai rendszerek finomkorrigálásához. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 34 (1964), 410—434
12. KALLÓ, P.: Triplet Type Objective Lens. Hungarian Patent Office, No. 3260 (1974), 1—5

**Algorithm for Automatic Triplet Design.** After summing up the experiences collected through the application of the automatic design methods of optical systems known so far, an algorithm entirely new in its starting point and initial stages, suitable for the optimized automatic (and traditional) design of classical triplet type objectives is described. The paper explains in detail the definition of the notion of performance determinant parameters, the derivation of the basic triplet equations, and the relations of glass material selection; the well-known methods of bending and fine correction are covered only as much as needed. The important advantage of the new algorithm easy to program for a computer and providing for a number of optimization possibilities is that it requires as a starting point for automatic (and traditional) triplet design nothing but the knowledge of the relative aperture and field angle given in advance, and the data of the adaptable glass types, and that it is suitable for multilateral generalization (other optical system types containing cemented lenses as well, finite object distance, etc.).

**Ein Algorithmus für den automatischen Entwurf von Triplets.** Zusammenfassend werden die bei der Anwendung der bisher bekannten automatischen Berechnungsverfahren für optische Systeme gemachten Erfahrungen ausgewertet. Für den optimierten, automatischen (und traditionellen) Entwurf der klassischen Tripletobjektive wird ein, in seinem Ausgangspunkt und dem Anfangsabschnitt vollkommen neuer Algorithmus vorgestellt. Die Arbeit behandelt eingehend die Definition der leistungsbestimmenden Parameter, die Ableitung der Grundgleichungen für Triplets und die Zusammenhänge bei der Auswahl des Glaswerkstoffes; auf die bekannten Methoden der Durchbiegung und der Feinkorrektur wird nur im allernotwendigsten Ausmaß eingegangen. Die Bedeutung des neuen, gut programmierbaren und zahlreiche Optimierungsmöglichkeiten bietenden Algorithmus besteht darin, daß zur automatischen (und traditionellen) Berechnung der Triplets als Ausgang nur die vorausgegebene relative Öffnung, der Objektwinkel sowie die Angaben der verwendeten Gläser benötigt werden und daß er in mehreren Richtungen verallgemeinert werden kann (andere Typen von — auch gekittete Linsen enthaltenden — optischen Systemen, endliche Objektweite, usw.).



# SZÉNPORTÜZELÉS FLUIDIZÁCIÓS MÓDSZERREL

REMÉNYI KÁROLY\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

és

VÖRÖS LÁSZLÓ\*\*

[Beérkezett: 1974. október 15-én]

A tanulmány kísérleti berendezésben megvalósított, fluidizációs tüzelés kutatása során elért eredményekről számol be. A kísérlet igazolja, hogy rendkívül magas hőátadási tényező érhető el a tüzelési mód során, de támpontot ad a további vizsgálatok célkitűzéseire is. Értékelése alapján a további részletesebb kutatások új kazánkonstrukciók megvalósítását lehetővé tehetik, továbbá környezetvédelem szempontjából kedvező eredmények érhetők el.

## 1. Bevezetés

A fluidizációs tüzeléssel üzemelő berendezések alkalmazása világviszonylatban egyre inkább előtérbe kerül. Számos kísérlet már igazolja, hogy a fluidizációs tüzeléssel milyen kiváló eredmények érhetők el, különösen a hőátadási tényező vonatkozásában. Ez a berendezések méreteinek lényeges csökkenését eredményezi. E hőtechnikai előnyei mellett utóbbi időben egyre több közlemény foglalkozik a fluidizációs tüzelésnek a környezetvédelem szempontjából való kedvező tulajdonságaival. A fluidágyban égő tüzelőanyagnál a visszamaradó pernye jelentős kénmennyiség lekötését teszi lehetővé, így a környezet szennyezés mértéke csökken.

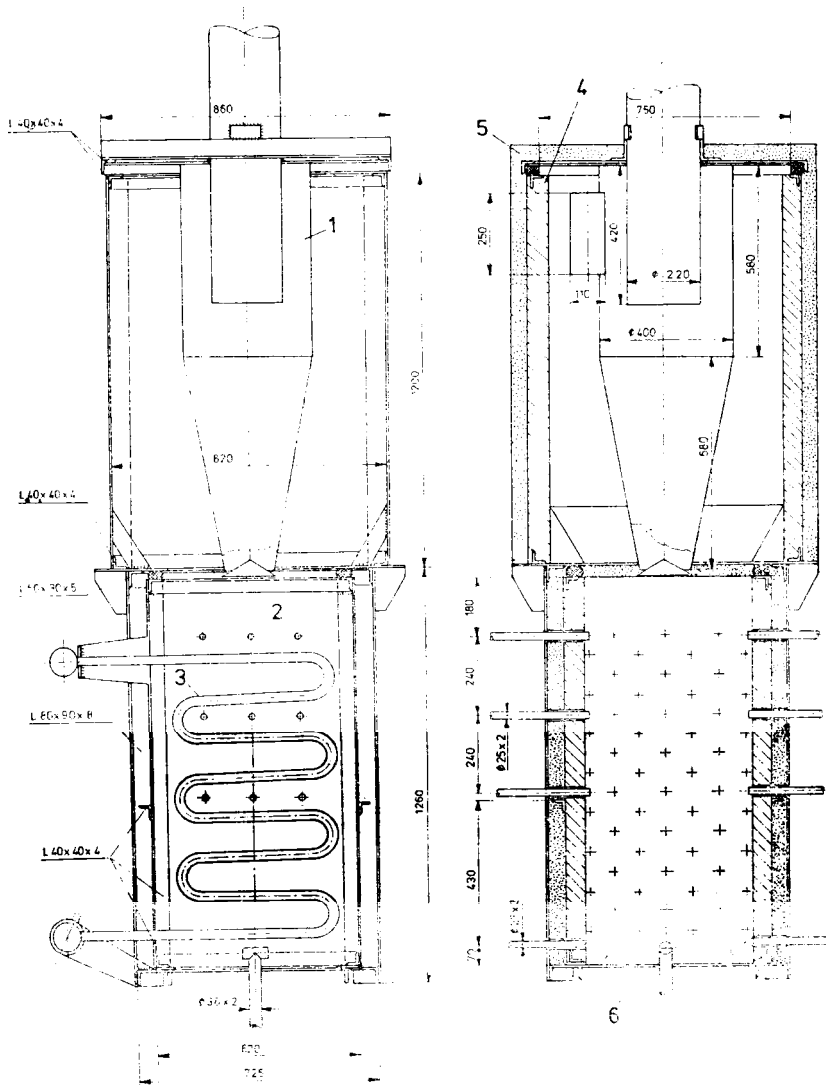
Ezen ismeretek és a (10) hazai szabadalomban kifejtett gondolat alapján a Magyar Villamos Művek Tröszt és a Tatabányai Szénbányászati Tröszt megbízása alapján a konkrét kutatások hazai szennelkkel is történtek.

## 2. A kísérletek leírása

A szénpornak a fluidizációs folyamatban való viselkedésével kapcsolatos intézeti (Villamosenergiaipari Kutató Intézet) izotermikus körülmények között végzett kutatások eredményeinek [1], [2], továbbá az irodalomban közöltek

\* Dr. Reményi Károly 1014 Budapest, Uri u. 38

\*\* Vörös László 1141 Budapest, Paskál malom u. 7



1. ábra. Fluidizált állapotban történő szénportüzelés kísérleti berendezése.

1 — tüztérkilépésnél elhelyezett ciklon; 2 — fluidizációs tüztér; 3 — hűtőcsövek; 4 — hőálló falazat; 5 — szigetelés (üvegyapot); 6 — porózus levegőelosztó helye.

[3—10] alapján fluidizált állapotban történő szénportüzelés kísérleti berendezésen való vizsgálatát végeztük el. A kísérleti tüzelőberendezés megtervezését az izotermikus vizsgálatoknál nyert eredmények tették lehetővé. A berendezés két fősíkjában elhelyezkedő metszetét az 1. ábra mutatja (az 1. ábra baloldalán a metszet falazat nélkül látható).

A berendezés méretezéséhez figyelembe vett legfontosabb tervezési adatok:

Tatabányai szén	0 ÷ 6 mm szemnagyság
Fűtőérték	5 044 kcal/kg
Hamu	12,16%
Nedvesség	12,61%
Elméleti levegőmennyiség	5,58 Nm <sup>3</sup> /kg
Elméleti füstgázmennyiség	6,05 Nm <sup>3</sup> /kg
Rostély felület	0,25 m <sup>2</sup>
Levegősebesség	0,8 m/s
Levegőmennyiség	720 m <sup>3</sup> /h
Szénmennyiség	109 kg/h
Felszabadított hőmennyiség	
20% veszteség levonásával	440 000 kcal/h
Fluidágy feletti füstgázhőmérséklet	600 °C
Fluidágyban elvonandó hőmennyiség	294 000 kcal/h
Hűtőcsövekre irányuló hőáram	140 000 kcal/m <sup>2</sup> h
Hűtőcsövek felülete	2,1 m <sup>2</sup>
Hűtőcső középátmérője	23 mm
Hűtővíz mennyisége 30 °C-ól 80 °C-ra való felmelegedés mellett	5,6 t/h
Perneleválasztó ciklon	Van-Tongerent

A berendezésben az anyagáramok útja és a működési elv a következő.

*A szén útja.* A szén adagolására mechanikus adagoló szolgál. A széntartályból a cellás adagolón és egy ferde beejtőcsövön keresztül juthat a szén a tüztérbe, amelynek mennyisége egy cellás adagoló fordulatszámmodosításával változtatható. A szénadagolás pneumatikus módon is történhetik, ez azonban a kísérletek időpontjában még nem üzemelt. E berendezésnél a szén egy 200 kg/h teljesítőképességű lapátos adagolón keresztül jut a pneumatikus szállítócsatornába. A szén mennyiségét az adagoló fordulatszám módosításával lehet változtatni. A pneumatikus szállítócsatorna levegőszükségletét környezeti hőmérsékletű levegőt szállító ventilátor biztosítja. A szállítócsatorna az égési levegőelosztó lemezén áthaladva két irányban ágazik el. Az elágazás után — mely az egyenletesebb szénelosztást kívánja biztosítani — a levegőszénkeverékek a fluidágy alján a tüztérbe jutnak.

*A levegő útja.* Az égési levegőt szállító ventilátor pontosan mérhető mennyiségű környezeti hőmérsékletű levegőt szív. Az égési levegő az elosztó lapon (rostélyon) keresztül alul lép be a tüztérbe.

*Tüztér.* A tüztér hűtetlen hőálló- és hőszigetelő falazattal készült. A fluidágy hűtését 7 db párhuzamosan kapcsolt csőkégyóban áramló tápvíz biztosítja. A salak eltávolítása történhetik a fluidágy tetejéről és aljáról egyaránt. Az alsó eltávolító csöveken a nagyobb méretű szemcsék kisebb mennyiségben szakaszosan, míg a felsőn a szívóventilátor által beállított enyhe túlnyomás hatására folyamatosan kiszállíthatók. A felső szintű salakeltávolítócsövek három szinten vannak elhelyezve, az egyes szintek nyílásával a fluidágy magassága is beállítható, tehát egyszerű szintszabályozás történik. A tüztér kiépítéshez egy leválasztó ciklont építettünk be. A leválasztott szálló hamut a tartózkodási idő növelése érdekében, a fluidumba visszairányítottuk.

**Mért jellemzők és jelölésük.** A kísérletek lefolytatásánál a következő jellemzők mérése történt meg.

**Hőmérséklet mérés.**

- $t_1$  — fluidágyban 150 mm-rel a levegő elosztó felett
- $t_2$  — fluidágyban 300 mm-rel a levegő elosztó felett
- $t_3$  — fluidágyban 450 mm-rel a levegő elosztó felett
- $t_4$  — ciklonba való belépés előtt
- $t_5$  — ciklonból való kilépés után

**Nyomás mérés.**

- $P_0$  — az aláfúvó ventilátor által szállított levegő mennyisége
- $\Delta P_1$  — ciklonba való belépés előtt
- $\Delta P_2$  — 500 mm-rel az elosztólemez felett
- $\Delta P_3$  — levegőelosztó-lemez alatt

**Mennyiség mérés.**

Hűtővíz.  
Eltüzelte szén

**Füstgáz összetétel mérés.**

CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> és CO mérés füstgázelemzés a ciklon után.  
Porkoncentráció mérés.

Ciklon után a távozó füstgázból vett gázmintában levő porkoncentrációt határoztuk meg.

**Hőárammérés.**

Fluidumba e célra készített hűtött szondával történt.

### 3. A lefolytatott mérések és azok értékelése

Alapvetően kettős célt tűztünk ki:

a) Adott levegőelosztó felületen az időegységben különböző szénmennyiség eltüzelésekor kialakult viszonyok vizsgálata és a tüzelési veszteségek figyelemmel kísérése.

b) Fluidum-oldali hőátadási tényező, ill. hőáram meghatározása.

A tüzelési veszteségek kiszámítása helyett célszerűbb az egyes veszteséget okozó komponenseket figyelemmel kíséreni, mivel összehasonlításokat kívánunk végezni egyes üzemállapotok között.

Ezek a fontos veszteségtényezők:

- CO % a füstgázban
- Porkihordás mértéke g/m<sup>3</sup>
- Kihordott por éghetőtartalma %
- A fluidágy szintszabályozásával távozó szemcsék éghetőtartalma %
- A fluidágy aljáról eltávolított nagyobb szemcsék éghetőtartalma %

I. táblázat

A mért jellemző	Dimenzió	A kísérletek száma				
		1	2	3	4	5
Szénmennyiség	kg/h	117,5	100	90	83	60
Levegőmennyiség	m <sup>3</sup> /h	736	742	596	565	427
Levegősebesség C	m/s	0,82	0,83	0,66	0,63	0,475
Légfeleslegtényező m	—	1,13	—	1,19	1,22	1,28
O <sub>2</sub> Orsat	%	2,3	2,5	1,6	1,3	2,5
CO	%	0,3	0,3	0	0	0
Hőáram q	kcal/m <sup>2</sup> , h	—	—	64464	—	47640
t <sub>1</sub>	°C	543	841	849	768	763
t <sub>2</sub>	°C	786	707	794	659	643
t <sub>3</sub>	°C	771	729	779	731	586
t <sub>4</sub>	°C	1235	964	950	883	674
t <sub>5</sub>	°C	1170	948	890	903	664
ΔP <sub>1</sub>	mm v. o.	+ 8	+ 23	+ 2	+ 12	0
ΔP <sub>2</sub>	mm v. o.	12	25	16	12	0
ΔP <sub>3</sub>	mm v. o.	143	121	66	87	21
Porkoncentráció a ciklon után	g/m <sup>3</sup>	1,1	—	7,2	4,0	2,2
Éghetőtartalom a fluidágy alján S <sub>eu</sub>	%	17,6	11,9	—	—	15,0
Éghetőtartalom a fluidágy felső részén S <sub>e0</sub>	%	78,0	67,6	—	76,6	56,3
A kihordott szénpor éghetőtartalma (a fluidágyból) S <sub>c</sub>	%	38,7	32,7	34,1	64,6	49,3

Különböző beadagolt szénmennyiségek mellett lefolytatott mérések eredményeit az I. táblázatban foglaltuk össze. A táblázattal kapcsolatban meg kell jegyeznünk, hogy a 2. sorszámú mérés (kb. 100 kg/ó) alkalmával a szénadagolást adagoló problémák miatt csak egyenetlenül tudtuk megvalósítani. Több mérés alkalmával sikerült a mechanikus szénadagolóval egyenletes szénadagolást elérni.

Az  $m$  légfeleslegtényező értékét a bevitt szénmennyiség, a számított elméleti levegőmennyiség és az aláfúvott tényleges levegőmennyiségből számítottuk ki.

A  $q$  (kcal/m<sup>2</sup>h) hőárammérőn a hűtőcsövek átlagos fajlagos hőterhelésének értékét mértük. A fluidumszinttől függően a hűtőcsövek nagyobb vagy kisebb részben voltak a fluidumba merülve, a többi részükre sugárzás és konvektív hőátadás hatott. Ezért adódnak az alacsonyabb értékek.

A hőmérsékleteloszlásnál érdekes jelenség mutatkozik. Az I. táblázat alapján látható, hogy a fluidágy átlaghőmérséklete és a fluidágy felső szintjének a hőmérséklete alacsonyabb, mint a  $t_4$ , ciklon előtti füstgázhőmérséklet. Ebből arra lehet következtetni, hogy a fluidágy felett további égés van. Ez az égés a fluidágyból származó gáz- és kokségés, de adódik abból is, hogy a mechanikus szénadagolás során a szénbeejtő ferdecső és a fluidágy között

kb. 200 mm távolság van, így a behulló szénből a legfinomabb frakciókat a fölfelé áramló gáz magával ragadja. Az utóbbi hatást leválasztani a füstgázból eredő gáz- és koksztól csak a pneumatikus szénadagolással lehetett volna. (A pneumatikus szénadagoló a fluidágy aljára vezeti be a szenet.) A pneumatikus szénadagolásnál azonban szállítócső eldugulása miatt még nem lehetett folyamatos üzemet biztosítani.

Az előbbiekkal teljesen összhangban van a kihordott por és a fluidszintről elvezetett salak jelentős éghetőtartalma.

A salakéghetők vonatkozásában a szénterhelés függvényében lényeges változások nem mutatkoznak. Viszont lényeges különbség van a fluidszintről és a fluid aljáról vett salakminta éghetőtartalmában. Ebből arra lehet következtetni, hogy a fluidszintről történő lesalakolás nem kedvező. A lesalakolás helyének megállapítására további kísérletek elvégzése szükséges.

Éghető gázt csak a nagy szénterheléseknél lehetett kimutatni, a füstgázban a ciklon után.

A fluidumban az alkalmazott hűtőcsövekkel viszonylag egyenletes hőmérsékleteloszlást lehetett biztosítani, mely még a maximális terhelések tartományában sem lépte át a 850 °C hőmérsékletet.

A tűz stabilitása jó. Szándékolt szénkimaradás esetén néhány perc után is biztos gyulladás és égés következett. A szénkimaradást a hőmérsékletek csökkenése és az O<sub>2</sub> növekedése követte természetesen. A szénadagolás megindítása után ezek az értékek az előző stacioner állapothoz álltak be.

A fluidágy begyújtása olajjégővel történt. Az olajjégő lángja lefelé irányult és elérte a kis levegőmennyiséggel fluidizált ágy szintjét. E helyen egy tűzgóc alakult ki, mely egyre terjedt, majd az egész réteg égéséhez vezetett, melyet a hőmérsékletek növekedése mutatott. Ezután lehetett kezdeni a szénadagolást és a szénmennyiségnek megfelelően a levegő mennyiségének növelését.

A fluidum-oldali hőátadási tényező, ill. hőáram megállapítására e célra készült vízzel hűtött szondával végeztünk méréseket. E mérések alatt a szénterhelés 90 kg/ó volt (I. I. táblázat szerint a 3. sorszámú mérés). A vízzel hűtött szondát a fluidágyba átlósan különböző benyúlási mélységekre állítottuk be. Ezen a módon egy jó átlagértéket lehetett megmérni. A benyúlási hossz növelésével a hőáram integrált értékeit kaptuk meg. E mérésekből kézenfekvően adódik egy lehetőség, a zárt térben történő fluidtüzelés alkalmával a fluidum szintjének meghatározására. (A fluidumban mért hőáram értéke lényegesen, kétszer-háromszorta nagyobb mint ugyanolyan hőmérsékleten a füstgáz által sugárzásból és konvekcióból kapható hőáram.)

A fluidumban mért hőáram érték:

$$q = 110\,000 \div 140\,000 \text{ kcal/m}^2\text{h}$$

A hőáram értékére feltehetően hatással van a szemcseméret és a hézagterfogat. Ezeket a hatásokat ebben a mérésorozatban nem vizsgáltuk.

Összegezve, a tüzelési kísérleteket tatabányai  $0 \div 6$  mm szemcsenyag-ságú szénrel ( $H_i = 5044$  kcal/kg;  $h = 12,16\%$ ;  $n = 12,61\%$ ) különböző szén-terhelések mellett folytattunk le.

A mechanikus szénadagolás és a szénnek a fluidum tetejére történő beejtése nem kedvező. A fluidum felett további égés van, mely részben a fluidumból eredő koks- és gázégésből, részben pedig a mechanikus adagolással beejtett és elragadott finom szénpor frakciókból adódik. Ezt a jelenséget a hőmérsékleteloszlás és a salakéghetők alakulása bizonyítja. Célszerűbbnek látszik a pneumatikus szénadagolás.

Éghető gázt a távozó füstgázban csak nagy szénterheléseknél lehetett kimutatni.

A fluid szintjéről végzett lesalakolás nagy salakéghetőt eredményez, a lesalakolás helyének megállapítására ezért további kísérletek elvégzése szükséges.

A tűz stabilitása jó, a fluidumban mért hőmérsékleteloszlás viszonylag egyenletes és a kísérletek alatt nem lépte túl a  $850^\circ\text{C}$  hőmérsékletet.

A fluidumban mért hőáram értéke:  $q = 110\ 000 \div 140\ 000$  kcal/m<sup>2</sup>, h.

#### 4. További tennivalók

A kísérletek eredményeit értékelve megállapítható, hogy hazai szénfajtáink közül a tatabányai szénrel fluidágyas égésfolyamat kedvezően valósítható meg. Célszerű a kísérleteket más magyar szénfajtákkal is folytatni. A fluidizált állapotban égő közegben rendkívül nagy hőátadási tényező valósítható meg, de számos egyéb kérdés még további kutatást igényel. Gondolunk itt a különböző szénjellemzők, kémiai és fizikai tulajdonságok, szemcseméret és méreteloszlás stb. befolyásának vizsgálatára.

#### IRODALOM

1. Vörös L.: Szénpor őrlmények fajtázása fluidizációval vagy pneumatikus pulzációval. *VEIKI Jelentés Sz 47/1969*, Budapest
2. Vörös L.: Fluidizációs tüzelési kísérletek. *VEIKI Jelentés T 65/1970* Budapest
3. Pilot-scale combustion studies. *BCURA Annual Report (1967)*, 31—33
4. Fluid bed combustion of coal. *BCURA Annual Report (1968)*, 8—15
5. ROBERTS: The combustion of coal in fluidized beds under pressure. *BCURA Gazette (1968)*, 8
6. WRIGHT—KETLEY—HICKMAN: The Combustion of Coal in Fluidized Beds for Firing Shell Boilers. *Journal of the Institute of Fuel (1969)*, 6
7. The Development of Fluid Bed Combustion 1—2. *The Steam and Heating Engineer (1969)*, 4—5
8. Fluidized Bed Combustion. *J. Fuel and Heat Technology (1969)*, 3
9. A Coal-burning Fluidized-bed Combustion System *J. Fuel and Heat Technology (1968)* 5
10. BENEDEK L.: Szénporelőkészítő és tüzelőberendezések. *OTH 147.759*. 1958. aug. 27. Budapest

**Pulverized Coal Firing with Fluidization.** The paper presents results of fluidization firing investigation in an experimental plant. The experiment confirms that an extraordinarily high heat transfer coefficient can be obtained with this firing method and it also presents a basis for research objectives. It is considered that further detailed research will make possible the realization of new boiler designs and that favourable results might be obtained in environmental protection.

**Kohlenstaubfeuerung nach dem Wirbelschicht-Verfahren.** Im vorliegenden Aufsatz berichten die Verfasser über die bei der Erforschung der Wirbelschicht-Feuerung in einer Versuchsanlage erzielten Ergebnisse, wobei der Beweis dafür erbracht wurde, daß bei dieser Feuerung eine äußerst hohe Wärmeübergangszahl erreicht werden kann. Außerdem lieferte der Versuch auch Anhaltspunkte für die Zielsetzungen weiterer Untersuchungen. Aufgrund der Auswertung der erhaltenen Resultate können weitere eingehendere Untersuchungen zur Verwirklichung neuer Kesselkonstruktionen führen und auch hinsichtlich des Umgebungsschutzes günstige Ergebnisse erzielt werden.



# SZÁMÍTÁSTECHNIKA A TELEPÜLÉSTUDOMÁNYBAN

## HELYZETKÉP\*

JÁNDY GÉZA\*\*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

A Településtudományi Bizottság az 1973. évi alakuló ülésén napirendre tűzte a „Számítástechnika a településtudományban” c. helyzetkép kidolgozását. A Bizottság a helyzetképet már az 1973. decemberi ülésén elfogadta, majd az 1974. októberi ülésén e témakörrel kapcsolatban — felterjesztés céljából — ajánlásokat fogadott el. Különösen fontosnak tartotta a Bizottság a mérnökképzéssel kapcsolatos ajánlást, mivel egyetértett abban, hogy a számítógépes információrendszerek, valamint az elemzés és a döntéshozatal kvantitatív módszerei által nyújtott lehetőségek csak úgy használhatók ki, ha azok fogadására, alkalmazására a mérnököket már az egyetemen felkészítjük.

A számítástechnikát igénylő, felhasználó településtudományi munkákat az alábbi főbb csoportokba sorolhatjuk:

1. *regionális fejlesztés és városrendezés*: optimális települési és regionális nagyságok, optimális területi elhatárolás, növekedési pólusok és központok közötti kölcsönhatások;

2. *telepítés*: településfejlesztés, kommunális beruházások területi tervezése, munkalehetőségek területi fejlesztése, iparági kapacitásfejlesztés térbeli és időbeli tervezése;

3. *a településtervezés és -irányítás információrendszere*: területgazdálkodási adatbank, tervezési, közigazgatási adatbankok, szimuláció-bázisú (következtető) információrendszerek;

4. *a települési folyamatok és a környezeti átalakulások kölcsönhatásának szimulációja*.

*ad 1.* A regionális határok kijelölésének problémájával, a régió-, alrégió- és falukörzet-beosztás optimalálásának modellezésével és számításával a 60-as évek első felében elég sokat foglalkoztunk. Kísérleti számítások készültek pl. a debreceni és a borsodi régióra vonatkozóan a különféle kulturális, szociális és szállítási tevékenységekkel kapcsolatban. E számítások segítségével a régió településeinek vonzáskörzetét a különböző regionális funkciók (pl. közoktatás, kórházi ellátás stb.) szerint vizsgálhattuk.

\* E helyzetkép kidolgozásában a szerzőn, mint a munkacsoport vezetőjén kívül, részt vett GERLE György, a műszaki tudományok doktora és CsÁKI Norbert, a közgazdaságtudományok kandidátusa.

\*\* Prof. Dr. Jándy Géza, 1111 Budapest, Lágymányosi u. 28

Itt említhetők meg az alföldi településhálózatra vonatkozó próbaszámítások is, amelyek célja a mezővárosi településhálózat optimalítása volt, a szociális és kulturális intézmények beruházási és fenntartási költségeinek, továbbá az ingázás költségeinek együttes minimalásával.

A számítástechnika városrendezési alkalmazásaival kapcsolatban a következő munkákra hivatkozhatunk: általános városrendezési tervek optimális kialakításának módszere a GRAVITY- és a FRATAR-modellek felhasználásával, amely először Pécs, majd több más város rendezéstervezésével kapcsolatban került kipróbálásra; általános városrendezési tervek optimális realizálási ütemtervének megállapítása hálódigramos módszerekkel; részletes rendezési tervek optimális végrehajtásának ütemezése hálódigramos módszerekkel.

*ad 2.* Az alkalmazások eddigi leggazdagabb területe a „telepítés” volt. Ezek a munkák elsősorban az iparfejlesztés, iparirányítás körébe tartoznak.

A társadalmi-gazdasági rendszerek tevékenységének távlati területi tervezése és operatív irányítása során — a gazdaságirányítás különböző szféráiban — gyakran jelentkezik olyan döntési szükséglet, hogy hol, mikor, milyen irányú és mértékű átcsoportosítást, fejlesztést vagy likvidálást fogantatosítsunk, milyen kapacitású objektumot létesítsünk, illetve egy központi telepet, depóniát, vagy egy termelő berendezést hol helyezünk el. A felhasználható (a regionális rendezési terv szerint igénybe vehető és a létesítmény ill. a termelőerő területi elhelyezésére alkalmas) telephelyek számának és oszthatatlan műszaki-gazdasági egységek telepítése esetében a típus-nagyságok számának növekedésével a lehetséges telepítési döntések száma exponenciálisan növekszik. A telepítési probléma alapvető elemeinek ismeretében azonban még a bonyolultabb esetekben is megszerkeszthetjük a döntési modellt, amelyben a különböző döntések hatásait elemezhetjük, ill. az optimális (a leghatékonyabb) döntést megközelíthetjük.

*A forgalmi struktúra nélküli problémák* általában közelebbi és több oldalú vizsgálódást tesznek lehetővé. Ennek legegyszerűbb és tipikus példája az egyetlen termelő (ellátási) körzet esete, amelynek modelljében szokták például a már klasszikusnak tűnő *optimális üzemenagyság* problémáját megfogalmazni. Ilyen megfogalmazásban számos olyan részkérdésre kaphatunk választ, mint például mi a hatása az igények becslési hibájának, téves árak, torz értékarányok használatának, vagy az új kapacitást jelentő objektum létesítése helyett az igények meglévő (ill. elérhető) forrásokból történő költségesebb kielégítésének. *Több termelő körzet* esetében mindez már jóval bonyolultabbá válik, különösen, ha a forgalmi struktúrát is figyelembe vesszük, aminek hatása ilyenkor már alig hanyagolható el.

Az általános esetben a döntés meghozatalánál mind a termelés, mind a szállítás és az értékesítés egyszeri és folyamatos ráfordításait figyelembe kell vennünk. Lehetséges, hogy az ágazat irányításával (a termelés fejlesztésével)

kapcsolatos döntés a gazdaságosság kritériumán túl alá van vetve valamilyen politikai, honvédelmi vagy egyéb követelménynek is. Így a döntési modellben szerepelhetnek olyan objektumok, amelyeket feltétlenül fent kell tartani, vagy amelyeket likvidálni kell és olyan lehetséges telephelyek, ahol feltétlenül létesíteni kell új objektumot. Korlátozhatja a döntést a közlekedési hálózat egyes keresztmetszeteinek átbocsátóképessége is. Természetesen mindig célszerű megvizsgálni az ilyen követelmények és korlátozások gazdasági hatását, ami a döntési modellben részleteiben elemezhető.

A területi tervezés objektuma lehet az újonnan elhelyezendő, szakosítandó, egyes helyeken bővítendő vagy felszámolandó termelőerő, de lehet bármilyen, kisebb és nagyobb kulturális, kereskedelmi vagy szolgáltató bázis, sőt feltárandó vagy fejlesztendő nyersanyaglelőhely is. Az építő- és építőanyagipar bázisainak területi fejlesztése, vándorüzemeinek és kisebb mozgó termelőeszközeinek területi irányítása szüntelenül veti fel a telepítési döntési problémák egész sokaságát és ugyanakkor a legkülönbözőbb telepítési döntések nagy részét mint építőipari produktumok realizálódnak.

Konkrét feladatokként megemlíthetjük az új műtrágyagyárak telepítésének problémáját (1960-ban és 63-ban); a zúzottkőtermelés területi fejlesztésére vonatkozó számításokat (1963—64); a többtermékes betonelemgyártó ipar telepítésoptimalásának számításait és az ország területi termékforgalmának optimális áramoltatásával, tárolásával, valamint az országos raktárhálózat telepítési tervével kapcsolatos számításokat; a magyar építőipar optimális területi fejlesztésére, az építőelemgyárak, forgalmazó intézmények, valamint az építőipari vállalatok központi telepeinek optimális helyére és kiszolgálási területére vonatkozó kutatásokat; a IV. és V. ötéves tervben megépülő lakótelepek optimális telepítési helyének, beépítési módjának és megvalósításuk ütemezésének programozását a beruházási ráfordítások minimalásával. Az építőipar ipari háttérének kapacitás-tervezése témakörökben érdekes és hasznos kutatás volt a téglaiipar valóságos kapacitástervezési problémáinak feltárása, modellezése és próbaszámítások végzése. Azonban a legtöbb tanulság ezekből a kutatásokból az volt, hogy a telepítési (kapacitásfejlesztési stb.) döntések előkészítésében az operációkutatás és a számítástechnika tényleges alkalmazásának előfeltétele a különböző vezetési szintű információrendszerek kialakítása és a vezetés színvonalának olymértvű emelése, hogy a vezető támaszkodni tudjon (az ő kiszolgálására szervezett) információrendszerre (valamint az abban szervesen beépített döntési modellekre).

*ad 3.* A vezetési információrendszer olyan kölcsönös kapcsolatban álló alrendszerek, programrészek és adattárak gyűjteménye, amelynek felhasználásával a vezetési tevékenységek (tervezés, szervezés, igazgatás, irányítás) információkövetelményei teljesíthetők. Egyszerű szavakkal a vezetési információrendszerektől azt várjuk, hogy a döntéshozatali funkciót a szükséges információk idejében való előállításával, vagyis az adatfeldolgozással hangolja

össze. Részletesebben információrendszeren meghatározott célból az adatok gyűjtését, kódolását, dekódolását és felhasználását végző embereknek, anyagi eszközöknek, ügyviteli előírásoknak és adatfeldolgozási programoknak rendezett — újabban inkább építőelemekből, modulokból összeállított — együttesét értik. Legegyszerűbb formája az adattár vagy adatbank (másnéven adatbázisú információrendszer), amely a döntési folyamat tevékenységei közül az ellenőrzést, tájékozódást segíti, ezekkel áll közvetlen kapcsolatban. De ennek kialakításánál is az elsődleges szempont a cél, a vezetés, tervezés igénye, a felhasználás módja, vagyis az adatkezelés és az információhasznosítás összhangja.

Az ilyen vonatkozású eredmények és a folyamatban levő munkák között megemlíthetjük a budapesti agglomeráció területi-ágazati mérlegeit, az iparfejlesztési területek adattárát, a lakás- és kommunális gazdálkodás adattárát, kartografikus adatok elektronikus tárolását, a területi életkörülmények, valamint a mezőgazdasági szövetkezetek készülő adatbankját, és a jelenleg kimunkálás alatt álló „területi információrendszer megvalósítási és üzemeltetési koncepcióját” is.

A területfejlesztés, -rendezés politikája bonyolult tevékenységi rendszerek útján realizálódik. E területfejlesztő, -rendező tevékenységek *információhiánnyal* küzdenek. Felmerül a kérdés: e szerteágazó tevékenységnek lehet-e egységes területi információrendszere?

A területfejlesztés, -rendezés célkitűzéseinek érvényre juttatása — az állam cselekvési programjaként — a népgazdasági, illetve a területi tervezés (ebben a tanácsi területi tervezés) rendszereiben történik. Így a területfejlesztés, -rendezés irányítási, tervezési, ellenőrzési, megvalósítási stb. tevékenységeinek információrendszerét nyilvánvalóan a területi tervezés információigényének bázisán lehet egységesíteni, erre az igényre célszerű felépíteni.

A területi tervezés szempontjából a rendszer információbázisa a következő *részrendszerekből* alakítható:

— a *nyers, feldolgozatlan adatok* rendszere, a tervezés megalapozása stádiumában hasznosítható számszerű adatokkal;

— a *feldolgozott adatok* rendszere (területi mutatók, stb.), amely magában foglalja a szelektáló, aggregáló, rutinszerű adatfeldolgozást végző, valamint táblázó programok és eljárások rendszerét;

— a társadalmi fejlődést, illetve a gazdasági növekedést megalapozó *előrejelzések* rendszere, a hozzátartozó tervezési függvények, hatásösszefüggések vizsgálatára alkalmas modellek (regresszió és faktoranalízis) stb. rendszereivel;

— a komplex fejlődési folyamatok vizsgálatára szolgáló információk rendszere, amely magában foglalja a folyamatok és jelenségek analizálására, tervvázlatok és koncepciók kidolgozására, ellenőrzésére és optimálására szolgáló módszerek rendszerét is.

Mind a területfejlesztési célok és végrehajtásukhoz szükséges eszközök mozgása, változása, mind a jelenségek területi vonatkozásainak sokrétűsége alapján, a területi információrendszert *nyílt, továbbfejleszhető* rendszerként indokolt felépíteni a fokozatosság messzemenő figyelembevételével. Operatív egységét területi adatbanknak kell képeznie, amely ugyancsak részrendszerekből, fokozatosan alakítható ki.

Az információk körének *tér, idő és tulajdonság* dimenzióit figyelembe véve az országos, illetve körzeti (regionális) típusú tervek esetében a vonatkoztatási egység a település lehet, míg a településtervezés esetében a *telekre*, illetve a vonalas létesítmények azonos műszaki paraméterű *szakaszaira* vonatkozó műszaki tárolása a követelmény.

A külső adatforrásokból a rendszerbe beáramló, valamint onnan a felhasználók felé áramló információk, és a területi tervezés hierarchikus rendszerében keletkező információhasznosítási, áramlási folyamatok vizsgálata nyújthat eligazítást a kiépítés ütemére, szervezeti követelményeire, az információk gyakoriságára, a matematikai módszerek alkalmazási lehetőségeire stb.

*ad 4.* Települési rendszerek és környezetük vizsgálatánál, elemzésénél a rendszer-szimuláció megteremti a kísérletezés lehetőségét. Figyelmet érdemel ebben a vonatkozásban az embert, társadalmi rendszereit, technikáját és természeti környezetét felölelő rendszerek („world dynamics”) szimulációja. Ennek alapján készült az a tanulmány, amely „A növekedés határai” címet viseli és amelyről a múlt évben a magyar sajtó is hírt adott. Ez a munka öt tényezőnek: a népesség nagyságának, az iparosodottság fokának, az élelmiszerellátottság, a természeti erőforrások és a szennyeződés mértékének kölcsönhatásait vizsgálja. Az akadémián először GVISIANYI szovjet akadémikus figyelemztetett arra, hogy természetes fenntartásokkal ugyan, de fel kell figyelniünk ezekre a munkákra.

Hazai munkaként ilyen vonatkozásban néhány érdekesebb korrelációelemzésre hivatkozhatunk. Így vizsgálták például a különböző területek és településfajták fejlettségi szintjét jellemző paraméterek alakulásának összefüggését az egy főre eső nemzeti jövedelem alakulásával.

A helyzetképszerűen megemlített munkákat főleg a Városépítési Tudományos és Tervező Intézet, valamint az Építésügyi Számítástechnikai és Ügyvitelgépítési Vállalat, egyes témákkal kapcsolatban pedig az Építés-gazdasági és Szervezési Intézet részben külön, részben együttműködve végezték és végzik. Egy-két esetben kapott ilyen megbízást a BME Közlekedés- és Építőipari Gazdaságtani Tanszéke is. E kutatásokat az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium tartja kézben.

Megállapíthatjuk, hogy a számítástechnikának és azzal összefüggésben a rendszerelemzésnek, operációkutatásnak, adatfeldolgozási rendszerszervezésnek a település-tudományban fontos szerepe van. De hogy ezeket a lehetőségeket kihasználhassuk, ahhoz mindenképp a településtudomány műve-

lőit, a városépítőket és regionális tervezőket kell felkészítenünk e technikák fogadására, alkalmazására. Mivel az MKKE ilyen vonatkozásban jóval előbbre van, itt elsősorban a BME feladatára kell rámutatnunk. Ha a mérnökképzésben, legalábbis bizonyos ágazatokban, szakirányokban lehetőségünk lesz e diszciplínák oktatására, akkor is évek múlva várható csak az eredmény. Nyilvánvaló, hogy a számítógép-ellátásnak is van ebben szerepe, de az önmagában mindig csak „befezetlen beruházás” marad.

**Computer Techniques in Settlement Science.** At its renewal meeting in 1973 the Settlement Science Commission required the elaboration of a situation report on "Computer Techniques in Settlement Science". The Commission had already endorsed the report at its meeting in December, 1973, and accepted at its meeting in October, 1974 recommendations on the subject, to be submitted to higher authorities. The commission thought the recommendation on engineers' training to be especially important, agreeing that the possibilities offered by computerized information systems and by the quantitative methods of analysis and decision making could be put to full use only if engineers are prepared for their reception and application already at the university.

**Rechentechnik in der Siedlungswissenschaft.** Bei ihrer Erneuerungssitzung i. J. 1973 setzte sich die Siedlungswissenschaftliche Kommission die Ausarbeitung des Situationsberichtes »Rechentechnik in der Siedlungswissenschaft« zum Ziel. Die Kommission stimmte dem Situationsbericht schon bei der Dezembersitzung 1973 zu, um dann bei ihrer Sitzung im Oktober 1974 — zwecks Vorlage an höhere Stellen — im Zusammenhang mit diesem Themenkreis Empfehlungen anzunehmen. Für besonders wichtig erachtete die Kommission die auf die Ingenieurausbildung bezügliche Empfehlung, da sie einstimmig der Meinung war, daß die durch die rechentechnischen Informationssysteme und die quantitativen Methoden der Analyse und Entscheidungsfällung gebotenen Möglichkeiten nur dann ausgenützt werden können, wenn die Ingenieure schon auf der Universität für deren Empfang und Anwendung ausgebildet werden.

# EGYMÁSSAL ÉRINTKEZŐ FELÜLETPÁROKON MEGVALÓSULÓ KÉNYSZERRENDSZEREK KINEMATIKAI VIZSGÁLATA

KIRÁLY BÉLA\*

A MŰSZ. TUD. KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1974. december 15-én]

A holonom rendszerek műszaki szempontból egyik legfontosabb típusánál a kényszerek a merevnek tekinthető testeken kialakított, egymással érintkező felülepárok útján valósulnak meg. A dolgozat az ilyen kényszerrendszerek kinematikai vizsgálatával foglalkozik. Bevezeti először az egyetlen felülepáron megvalósuló felületi kényszer és az egyetlen érintkezési ponthoz tartozó elemi kényszer fogalmát, majd a kényszerrendszert az elemi kényszereknek olyan rendszerével helyettesíti, amelyben az egyes felületi kényszereknek egymástól lineárisan független elemi kényszerek felelnek meg. Ilyen módon a holonom rendszer sebességállapotára vonatkozó kényszeregyenlet-rendszer — általános térbeli esetekben is — tömör, további vizsgálatokra alkalmas, mátrix formában írható fel.

## Jelölések

<b>a</b>	az elemi kényszer $a$ jelű hatásvonalán felvett irányvektor
<b>b</b>	az elemi kényszer $a$ jelű hatásvonalához kötött $a$ vektor nyomatéka az önkényesen választott $A$ vonatkoztatási pontra
$\xi_a, \xi_i$	az elemi kényszer 6 méretű Plücker vektora (*-gal: sorvektorként felírva)
<b>G</b>	felületi kényszer mátrixa
<b>H</b>	a kényszerrendszer geometriai jellemzője
<b>N</b>	a rendszerhez tartozó ismeretlen sebességállapotú merev testek száma
$\mathbf{p}_j$	a $j$ -ik merev test sebességállapot-vektora
$T_j$	a $j$ -ik merev test jele
<b>u</b>	a kényszerrendszer kinematikai jellemzője
$v_j$	a $T_j$ -hez kötött $A$ pont sebessége
$V_{aj}$	a $j$ -ik merev testnek az $a$ jelű elemi kényszer (irányított) hatásvonalához tartozó vetületi sebessége
<b>w</b>	az ismeretlen sebességállapotú merev testek sebességállapot-vektora
<b><math>\Gamma</math></b>	a felületi kényszerhez tartozó elemi kényszerek Plücker vektoraiból felépített mátrix
$\rho$	a $\Gamma$ , ill. a $G$ mátrix rangja
$\omega_j$	a $j$ -ik merev test szögsebesség-vektora

## 1. Bevezetés

Számos olyan műszaki szerkezet ismeretes, melyben különböző rendeltetésű szilárd testek a rajtuk kialakított felületek érintkezése révén kényszerkapcsolatban vannak egymással. Egy-egy ilyen kapcsolat — a felületek kialakításától függően — a legkülönbözőbb korlátozást jelentheti a testek viszony-

\* Dr. Király Béla, 3529 Miskolc, Csabai kapu 34.

lagos mozgására. Ezeknek különösen a mozgó szerkezetek (mechanizmusok) kialakításában és működésében van igen jelentős szerepük, de fontosak sok nyugalomban levő szerkezet felépítésében is.

Az ilyen kényszerkapcsolatok kinematikai vizsgálatánál először az egyes, egymással érintkező felülepároknak a megfelelő két test relatív mozgására kifejtett korlátozó hatását kell tisztázni, majd ezután következhet az egész kényszerrendszer vizsgálata. A műszaki alkalmazások terén sokszor olyan speciálisan kialakított felülepárok (síkok, körhengerek, gömbök, csavarfelületek) valósítják meg a kényszereket, melyeknél a szóban forgó két test relatív mozgására, illetve a kényszer korlátozó hatására közvetlenül a szemlélet alapján is következtetni lehet. Valószínűleg éppen ez az egyik oka annak, hogy az ilyen témával foglalkozó munkák (pl. [1–5]) a kényszerrendszereket elsősorban ilyen speciális kapcsolatokból (speciális kinematikai párokból) építik fel, s ezek további felbontási lehetőségeit nem vizsgálják. Az összetettebb, térbeli problémák könnyebb kezelhetősége érdekében mégis célszerű a két test között fellépő kényszer törvényszerűségeit kissé behatóbban, más oldalról is megvizsgálni.

A dolgozat bevezeti az elemi kényszer fogalmát, majd olyan módszert ismertet, amely a kényszerrendszert elemi kényszerekből építi fel, s segítségével a sebességállapotra vonatkozó kényszeregyenletek úgy írhatók, hogy azokból mind a kényszerrendszerek egyenértékűségére, mind a rendszer kinematikai határozottsági viszonyaira (illetve szabadságfokára) — általános térbeli esetekben is — egyértelműen következtetni lehessen [6].

A vizsgálatoknál az alábbi feltételezésekből indulunk ki:

a) a vizsgálandó szerkezetet véges számú, tökéletesen merev testből álló modellel helyettesítjük;

b) a merev testekből álló rendszer elemei között olyan holonom kényszerkapcsolat van, amely e testeken kialakított, egymással érintkező felülepárok útján valósul meg;

c) az érintkező felülepárok minden egyes érintkezési pontjához csak egy közös felületi normális tartozik;

d) a kényszerrendszerre vonatkozó kinematikai vizsgálatokat a rendszernek egy lehetséges helyzetében, a pillanatnyi sebességállapotra vonatkozóan végezzük el;

e) a kényszerek kétoldalúak, vagy a szóban forgó helyzetben (pillanatban) figyelembe veendő egyoldalú kényszerek.

Az egyetlen felülepáron megvalósuló [b] és c) feltételt kielégítő] kényszer *felületi kényszernek* nevezzük.

Végül célszerű megemlíteni, hogy a következő kinematikai vizsgálatok kiterjeszthetők a sebességkoordinátákra nézve lineáris anholonom kényszerkapcsolatokra is.



### 2. Két merev test között megvalósuló felületi kényszer

Két merev testen kialakított felületpár érintkezhet egymással egyetlen pontban, vagy egynél több — de véges számú — pontban, vagy végtelen sok pontban, például vonal-, vagy felületdarab mentén.

2.1 A legegyszerűbb esetben az érintkezés egyetlen pontban (az 1. ábrán  $P$ ) történik. Az ilyen felületi kényszeret *elemi kényszernek* nevezzük. A  $P$  érintkezési ponton átmenő közös felületi normális az *elemi kényszer hatásvonala* ( $a$ ). Ez valamely derékszögű, egységbázisú  $xyz$  koordinátarendszerben a hozzátartozó Plücker-koordinátákból alkotott hatméretű

$$g_a^* = [a^*; b^*] = [a_x, a_y, a_z, b_x, b_y, b_z] \quad (1)$$

sorvektor ( $g_a^*$  a  $g_a$  oszlopvektor transzponáltja) segítségével adható meg, ahol

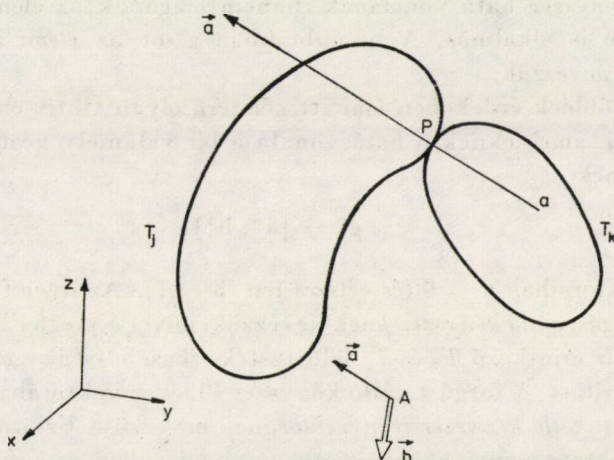
$a = a_x i + a_y j + a_z k$  az  $a$  hatásvonal irányvektora (általában előnyös, ha  $|a| = 1$ );  $i, j, k$  az  $xyz$  koordinátarendszer egységvektorait jelenti;  
 $b = b_x i + b_y j + b_z k$  az  $a$  hatásvonalhoz kötött a vektornak egy önkényesen választott  $A$  pontra számított nyomatéka (ez  $r_{AP} \times a$  alakban is felírható, ha  $r_{AP}$  az  $A$  pontból a  $P$  pontba mutató helyvektor).

Egy ilyen elemi kényszer esetén a sebességállapotra vonatkozó kényszer-egyenlet (az ún. elemi kényszer-egyenlet) azt fejezi ki, hogy a  $T_j$  és  $T_k$  jelű testek érintkező pontjának (és egyben az elemi kényszer hatásvonalába eső bármely pontjának) az elemi kényszer  $a$  hatásvonalába eső  $V_{aj}$  és  $V_{ak}$  vetületi sebességei egyenlőek, vagyis

$$V_{aj} = V_{ak}. \quad (2)$$

Feltételezve, hogy  $|a| = 1$ ,

$$V_{aj} = a^* v_{PJ} = a^* (v_{AJ} + \omega_j \times r_{AP}) = a^* v_{AJ} + b^* \omega_j, \quad (3)$$



1. ábra

ahol

$v_{Pj}$  a  $T_j$  jelű test  $P$  érintkezési pontjának a pillanatnyi sebessége;  
 $v_{Aj} = v_j$  a  $T_j$  jelű test  $A$  ponttal összeeső pontjának a pillanatnyi sebessége;  
 $\omega_j$  a  $T_j$  jelű test pillanatnyi szögsebessége.

Ez utóbbi mennyiségek segítségével vezessük most be a  $T_j$  jelű test hatméretű oszlopvektor formájában felírt

$$p_j = \begin{bmatrix} v_j \\ \omega_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{jx} \\ v_{jy} \\ \vdots \\ \omega_{jz} \end{bmatrix} \quad (4)$$

sebességállapot vektorát, majd analóg módon a  $T_k$  jelű testre a  $p_k$  vektort. Így a (2) egyenlet (1), (3) és (4) felhasználásával

$$g_a^* p_j = g_a^* p_k, \quad (5)$$

vagy egy oldalra rendezve

$$g_{aj}^* p_j + g_{ak}^* p_k = 0 \quad (g_{aj}^* = -g_{ak}^* = g_a^*) \quad (6)$$

alakba írható.

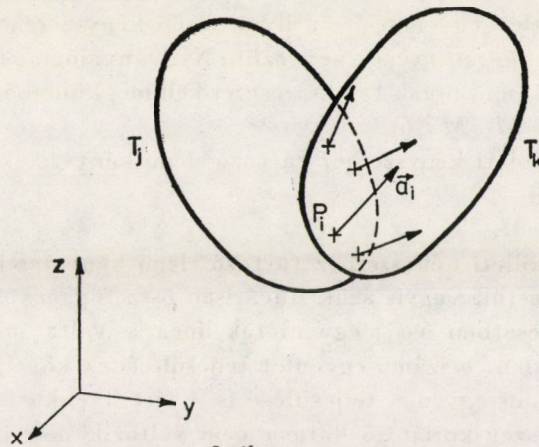
$p_j$ ,  $p_k$  és  $g_a^*$  ugyanarra, az egyébként tetszőlegesen választható  $A$  pontra vonatkoznak, vagyis ugyanabba az  $A$  pontba redukált vektorkettősöket jelentenek.

Azok az elemi kényszerek, amelyeknek közös hatásvonaluk van, a sebességállapotra nézve ugyanolyan korlátozást jelentenek (a  $P$  érintkezési pont ezen bárhol is helyezkedjen el). Ezért a  $g_a^*$  hatméretű sorvektor nemcsak az elemi kényszer hatásvonalának, hanem magának az elemi kényszernek a jellemzésére is alkalmas. A továbbiakban  $g_a^*$ -ot az *elemi kényszer Plücker vektorának* nevezzük.

A későbbiek érdekében már itt célszerű olyan fiktív elemi kényszereket is bevezetni, amelyeknek a hatásvonala a tér valamely végtelen távoli egyenese. Ezeknek a

$$g_b^* = [a^*; b^*]$$

Plücker vektoraiban  $a = 0$  (és célszerűen  $|b| = 1$ ). Az ilyen fiktív elemi kényszereket *forgást gátló kényszereknek* nevezzük, mivel a megfelelő kényszeregyenletek csak az érintkező  $T_j$  és  $T_k$  jelű testek szögsebességkoordinátáira jelentenek megszorítást. A forgást gátló kényszer Plücker vektorában szereplő  $b$  vektort a *forgást gátló kényszer irányvektorának* nevezzük. Ez azoknak a síkoknak a normálvektora, amelyeknek végtelen távoli egyenese a szóban forgó elemi kényszer hatásvonala.



2. ábra

2.2 Vizsgáljuk meg most azt az esetet, amikor a felülepár két eleme véges számú (egynél több) pontban (a 2. ábrán  $P_1, P_2, \dots, P_M$ ) érintkezik egymással. Ilyenkor minden egyes  $P_i$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ ) érintkezési pontban a  $T_j$  és  $T_k$  jelű testekhez tartozó és az  $a_i$  hatásvonalra vonatkozó vetületi sebességeknek egyenlőeknek kell lenniük, vagyis a  $P_i$  pontok mindegyikére felírható egy-egy elemi kényszer egyenlet. Így az ilyen felületi kényszer  $M$  darab elemi kényszerből álló rendszernek tekinthető. A kényszert kifejező egyenletrendszer (5), ill. (6) alapján

$$\mathbf{g}^i \mathbf{p}_j = \mathbf{g}^i \mathbf{p}_k, \quad \text{ill.} \quad \mathbf{g}_{ij}^i \mathbf{p}_j + \mathbf{g}_{ik}^i \mathbf{p}_k = 0 \quad (i = 1, \dots, M) \quad (7)$$

alakú, ami egyetlen

$$\mathbf{\Gamma} \mathbf{p}_j = \mathbf{\Gamma} \mathbf{p}_k, \quad \text{ill.} \quad \mathbf{\Gamma} \mathbf{p}_j + (-\mathbf{\Gamma}) \mathbf{p}_k = 0 \quad (8)$$

mátrixegyenletbe is összefoglalható.

A (8) jelű egyenletekben szereplő

$$\mathbf{\Gamma} = \begin{bmatrix} \mathbf{g}_1^* \\ \mathbf{g}_2^* \\ \vdots \\ \mathbf{g}_M^* \end{bmatrix}$$

mátrix  $M \times 6$  típusú, vagyis  $M$  sora és 6 oszlopa van. Mint ismeretes, egy mátrix  $\rho$  rangja egymástól lineárisan független sorainak (ill. oszlopainak) a legnagyobb számát jelenti. A  $\mathbf{\Gamma}$  mátrix felépítéséből következik, hogy ennek  $\rho = \rho(\mathbf{\Gamma})$  rangja egyben a szóban forgó felületi kényszerhez tartozó azon elemi kényszerek legnagyobb számát is adja, amelyeknek hatásvonalai egymástól

lineárisan független egyenesek. Az ilyen elemi kényszereket magukat is *egymástól lineárisan függetleneknek* nevezzük. Nyilvánvalóan  $\varrho$  nem lehet nagyobb sem  $M$  értékénél, sem 6-nál. Így két esetet kell megkülönböztetni:

a) ha  $\varrho = M$  ( $M \leq 6$ ),

akkor a felületi kényszerhez tartozó elemi kényszerek lineárisan függetlenek egymástól;

b) ha  $\varrho < M$ ,

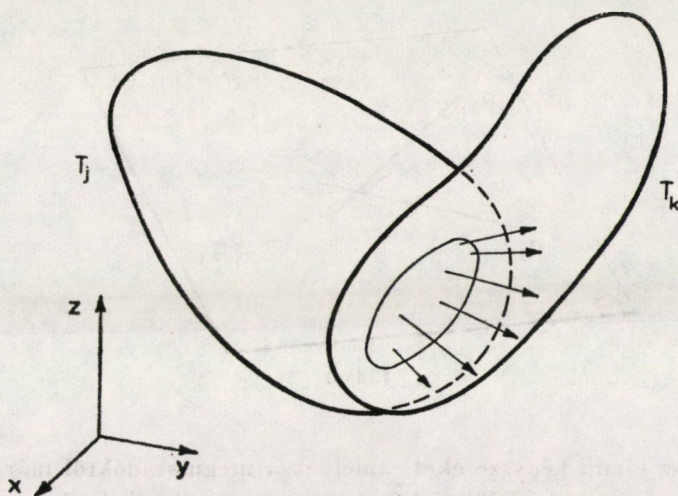
akkor a felületi kényszerhez tartozó elemi kényszerek nem függetlenek lineárisan egymástól, vagyis azok lineárisan összefüggőek.

Ez utóbbi esetben a (7) egyenletek lineáris volta miatt az egymástól lineárisan független,  $\varrho$  számú egyenlet teljesülésének következménye a hátra levő  $M - \varrho$  számú egyenlet teljesülése is. Ezért ilyenkor a sebességállapotra vonatkozó kényszer korlátozó hatása nem változik meg az említett  $M - \varrho$  számú egyenletnek, ill. az ezeknek megfelelő elemi kényszereknek az elhagyásával sem. Így a b) esetben az eredeti felületi kényszer jellemzésére a továbbiakban a  $\Gamma$  mátrix helyett azt a

$$G = \begin{bmatrix} g_1^* \\ \vdots \\ g_e^* \end{bmatrix} \quad (9)$$

mátrixot használjuk, amely soraiban a legnagyobb számú — egymástól lineárisan független — elemi kényszer Plücker-vektorait tartalmazza. Mivel egy felületi kényszerhez tartozó elemi kényszerek közül legfeljebb hat lehet lineárisan független egymástól, így a  $G$  mátrixnak sem lehet hatnál több sora. (Természetesen az a) esetben  $G = \Gamma$ .) A  $G$  mátrixot a *felületi kényszer mátrixának* nevezzük.

2.3 A harmadik esetben a két merev testen kialakított felületpár végtelen sok pontban — többnyire egy vonal-, vagy felületdarab mentén (3. ábra) — érintkezik egymással. Ilyenkor is minden érintkező ponthoz egy — a felületi normálissal egybeeső hatásvonalú — elemi kényszer tartozik. Így a szóban forgó felületi kényszer végtelen sok elemi kényszer rendszerének tekinthető. Ezek az elemi kényszerek mindig lineárisan összefüggőek. A 2.2 pont b) esetéhez hasonlóan, itt is elegendő a végtelen sok elemi kényszer közül kiválasztani az elemi kényszereknek egy olyan csoportját, amely a lehető legnagyobb  $\varrho$  számú — egymástól lineárisan független — elemi kényszert tartalmazza. Ez egyben azt is jelenti, hogy valamennyi további elemi kényszer már lineárisan függ a kiválasztott csoporthoz tartozó elemi kényszerektől. Ennek a  $\varrho$  számú elemi kényszernek a Plücker vektoraiból írható fel a szóban forgó felületi kényszer jellemzésére alkalmas, (9) alakú  $G$  mátrix, amit itt is a felületi kényszer mátrixának nevezünk.



3. ábra

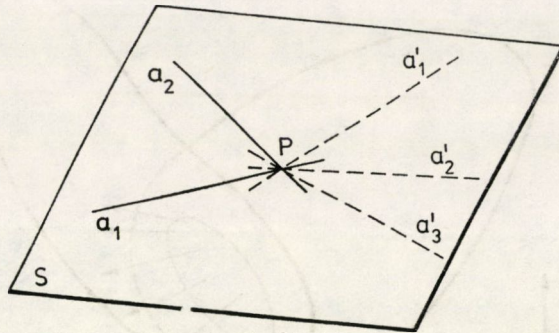
### 3. Felületi kényszerek egyenértékűsége

A felületi kényszerek — az érintkező felületek kialakításától függően — igen sokfélék lehetnek. A könnyebb áttekintés és kezelhetőség érdekében ezek több szempontból is összehasonlíthatók. A következőkben abból a szempontból kívánjuk összehasonlítani a különböző felületi kényszereket, hogy melyek jelentenek a kapcsolódó két merev test viszonylagos sebességállapotára nézve azonos korlátozást. Ezt az összehasonlítást az elemi kényszerek bevezetése megkönnyíti, jelentősen áttekinthetőbbé teszi.

Ugyanarra a két merev testre vonatkozó, két különböző felületi kényszert akkor nevezünk egymással egyenértékűnek, ha ezek a két merev test viszonylagos sebességállapotára azonos korlátozást jelentenek, vagyis, ha a megfelelő (sebességállapotra vonatkozó) kényszeregyenletrendszerek egyenértékűek. Ez akkor áll fenn, ha — kölcsönösen — az egyik felületi kényszernak megfelelő egyenletrendszer valamennyi megoldása a másikhoz tartozó kényszeregyenletrendszert is kielégíti.

A 2. pontban láttuk már, hogy a felületi kényszerek attól függően, hogy az érintkezés egy, vagy több pontban történik, egyetlen elemi kényszer Plücker vektorával, vagy több (de legfeljebb hat) elemi kényszer Plücker vektoraiból felépített mátrixszal (a felületi kényszer mátrixával) jellemezhetők. A fenti meghatározás alapján tehát azt is mondhatjuk, hogy bármely felületi kényszer egyenértékű legfeljebb hat — egymástól lineárisan független — elemi kényszerrel.

Amikor két különböző felületi kényszerről kívánjuk megállapítani, hogy azok egyenértékűek-e, vagy sem, akkor ezt a vizsgálatot a következő lépésekben célszerű elvégezni. Először az eredeti felületi kényszereket a hozzájuk tartozó elemi kényszerek rendszerével helyettesítjük, majd ebből elhagyjuk



4. ábra

mindazokat az elemi kényszereket, amelyek a megmaradóktól már lineárisan függenek. Ezzel az egyes felületi kényszereket egymástól lineárisan független elemi kényszerekkel helyettesítjük. A következő lépésben az elemi kényszerek így kapott két rendszerét kell összevetni. Ugyanarra a két merev testre vonatkozó két felületi kényszer akkor és csak akkor egyenértékű egymással, ha kölcsönösen az egyik felületi kényszerhez tartozó bármely elemi kényszer lineárisan függ a másik felületi kényszerhez tartozó elemi kényszerektől. Ezzel a felületi kényszerek egyenértékűségének a vizsgálatát a lineárisan összefüggő egyenesek problémájára vezettük vissza, ami már könnyebben áttekinthető. Ez a kényszeregyenlet felírásánál is nagy segítséget jelent, s így áttekintést nyerhetünk arról is, hogy az egyes felületi kényszerek jellemzésére bevezetett  $G$  mátrix helyett milyen további mátrixok használhatók, illetve, hogy milyen módon juthatunk a legegyszerűbb kifejezésekhez.

Az alábbiakban — az egyszerű bizonyítást mellőzve — néhány különleges esetet sorolunk fel példaként elemi kényszerekből álló rendszerek, illetve felületi kényszerek egyenértékűségére.

a) Közös  $P$  ponton metsződő (és közös  $S$  síkban fekvő) hatásvonalú két különböző elemi kényszer ( $a_1, a_2$ ) egyenértékű

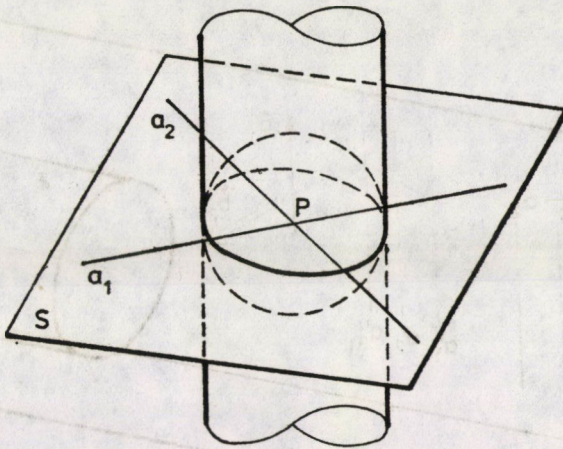
— bármely két különböző, vagy ennél több, akárhány olyan elemi kényszerrel, amelyeknek a hatásvonalai (pl.  $a'_1, a'_2, a'_3$ ) illeszkednek a  $P$  pontra és az  $S$  síkra (4. ábra);

— egy körvonal mentén érintkező — körhengerből és gömbből álló — felülepárral rendelkező felületi kényszerrel, ha a körvonal középpontja  $P$ , és síkja  $S$  (5. ábra).

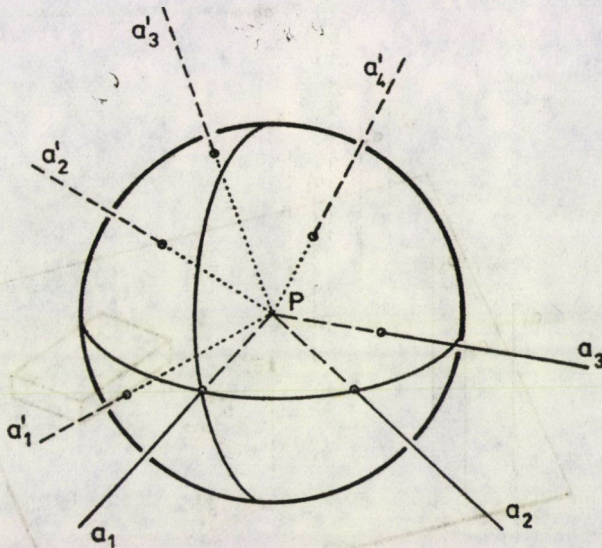
b) Közös  $P$  ponton metsződő, nem közös síkban fekvő hatásvonalú három elemi kényszer (6. ábrán  $a_1, a_2, a_3$ ) egyenértékű

— bármely három, vagy ennél több, akárhány olyan elemi kényszerrel, amelyeknek a hatásvonalai illeszkednek a  $P$  pontra és nem komplanárisak (pl.  $a'_1, a'_2, a'_3, a'_4$ );

— egy gömbcsukló felületi kényszerével, ha a gömb középpontja  $P$ .



5. ábra

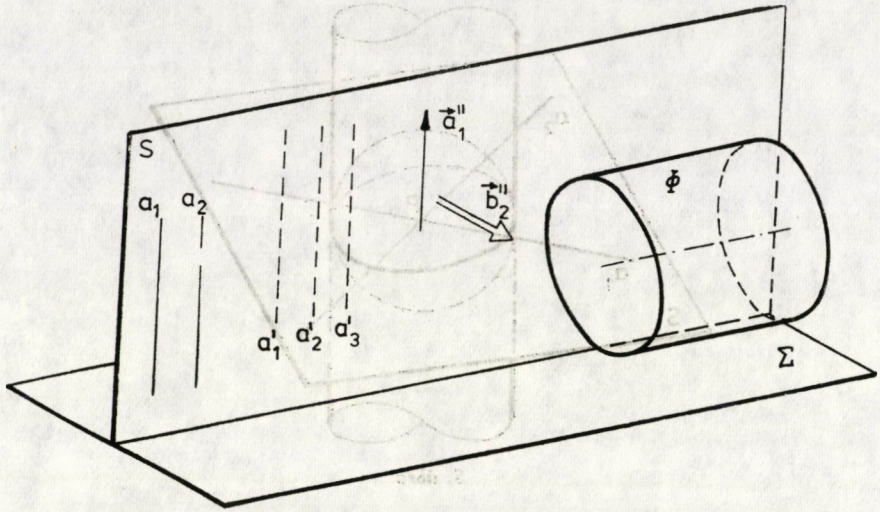


6. ábra

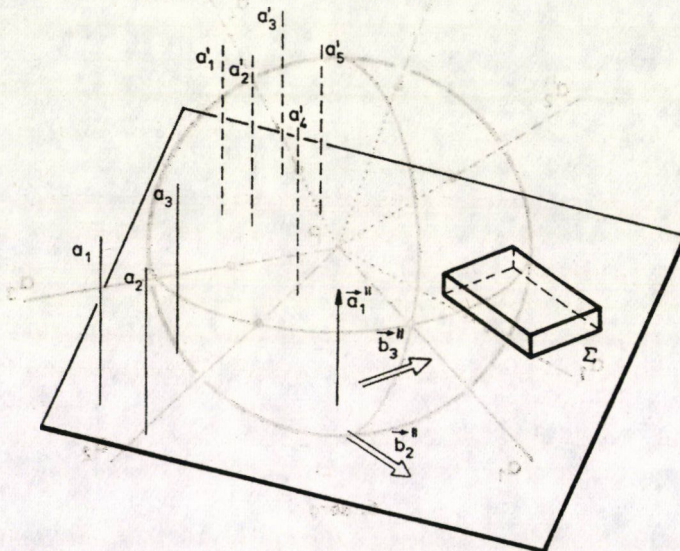
c) Az  $S$  síkot meghatározó két párhuzamos hatásvonalú elemi kényszer (7. ábrán  $a_1, a_2$ ) egyenértékű

– bármely két különböző, vagy ennél több, akárhány olyan elemi kényszerrel, amelyeknek a hatásvonalai az  $S$  síkra illeszkednek és az eredeti két elemi kényszer hatásvonalával párhuzamosak (pl.  $a'_1, a'_2, a'_3$ );

– egy elemi kényszerrel ( $a''_1$ ) és egy forgást gátló kényszerrel ( $b''_2$ ), feltéve, hogy az elemi kényszer hatásvonalára illeszkedik az  $S$  síkra és párhuzamos az eredeti elemi kényszerek hatásvonalával, a forgást gátló kényszer irányvektora pedig merőleges az  $S$  síkra;



7. ábra



8. ábra

— egy egyenes vonaldarab mentén érintkező —  $\Sigma$  síkból és  $\Phi$  hengerből (vagy kúpából) álló — felülepárral rendelkező felületi kényszerrel, ha az egyenes vonaldarab illeszkedik az  $S$  síkra, és a  $\Sigma$  sík merőleges az eredeti elemi kényszerek hatásvonalaira.

d) Három párhuzamos, nem közös síkban fekvő hatásvonalú elemi kényszer (8. ábrán  $a_1, a_2, a_3$ ) egyenértékű



— bármely három, vagy ennél több, akárhány olyan elemi kényszerrel, amelyeknek a hatásvonalai az eredeti elemi kényszerek hatásvonalalaival párhuzamosak és nem komplanárisak (pl.  $a_1', a_2', a_3', a_4', a_5'$ );

— egy elemi kényszerrel ( $a_1''$ ) és két forgást gátló kényszerrel ( $b_2'', b_3''$ ), ha az elemi kényszer hatásvonala párhuzamos az eredeti elemi kényszerek hatásvonalalaival, a forgást gátló kényszerek két különböző irányvektora pedig merőleges ezekre;

— egy sík felületdarab ( $\Sigma$ ) mentén érintkező felületpárral rendelkező felületi kényszerrel, ha a sík felület merőleges az eredeti elemi kényszerek hatásvonalaira.

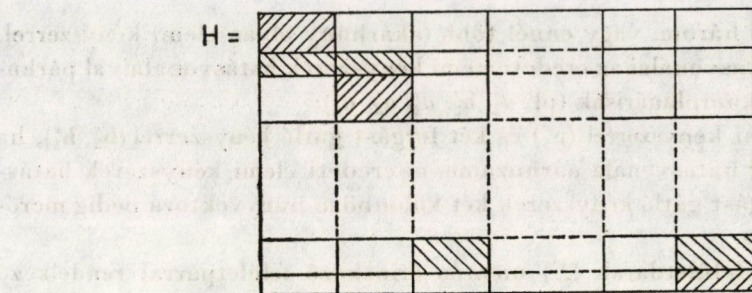
#### 4. Egymással érintkező felületpárokon megvalósuló kényszerrendszer jellemzői, a kényszerrendszer mátrixegyenlete

Minden olyan — merev testekből álló — holonom rendszer, amelyben a kényszerek a merev testeken kialakított felületpárok érintkezése következtében valósulnak meg, felületi kényszerek rendszereként vizsgálható. Egy ilyen kényszerrendszer jellemzése, matematikai leírása az egyes felületi kényszerek (9) felépítésű mátrixainak (2.2. pont) egyetlen mátrixba való összefoglalása útján történhet. Ettől a mátrixtól megkívánjuk azonban azt is, hogy segítségével a kényszerrendszer mátrixegyenlete közvetlenül felírható legyen.

Merev testekből álló rendszerrel modellezett mozgó szerkezetek (mechanizmusok) esetében a sebességállapotra vonatkozó kényszeregyenletek felírásához általában a testeket két csoportra célszerű felosztani aszerint, hogy azok sebességállapota ismeretlen (keresett), vagy ismert (előírt). Az előírt sebességállapotokról fel kell természetesen tételeznünk, hogy azok nincsenek ellentmondásban a közöttük meglévő felületi kényszerekkel (ez szükség esetén le is ellenőrizhető). A nyugvó szerkezeteknek — elsősorban a kinematikai határozottság kérdésének a tisztázására irányuló — vizsgálatainál többnyire csak annak az egyetlen nyugalomban levő testnek a sebességállapota tekinthető ismertnek, amelyhez a koordinátarendszert kötjük, a többié pedig ismeretlenek.

Jelöljük  $N$ -nel a rendszerhez tartozó ismeretlen sebességállapotú merev testek számát. Ezeknek a testeknek a sebességállapota valamely  $xyz$  koordinátarendszerben összesen  $6N$  sebesség-, ill. szögsebesség koordinátával adható meg, ami egyetlen  $6N$  méretű oszlopvektor formájában is felírható. Ezt az ismeretlen sebességállapot-vektort  $w$ -vel jelölve,

$$w = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_N \end{bmatrix},$$



9. ábra

ahol  $p_j$  a  $j$ -ik test (4) szerinti sebességállapot-vektora ( $j = 1, 2, \dots, N$ ). Végül a  $w$ -re vonatkozó kényszer egyenlet mindig a

$$Hw = u \quad (10)$$

mátrixegyenletbe írható, ahol a  $H$  mátrix a kényszerrendszer geometriai jellemzője,  $u$  pedig a kényszerrendszer kinematikai jellemzője.

A fentiekből következik, hogy a  $H$  mátrixban szerepelni kell valamennyi olyan felületi kényszer geometriai mátrixának, amely ismeretlen sebességállapotú testtel kapcsolatos. Célszerű a  $H$  mátrixot oly módon particionálva felírni, hogy annak minden blokk-sora egy-egy felületi kényszernek, minden blokkoszlopa pedig egy-egy ismeretlen sebességállapotú testnek feleljen meg (9. ábra). Így az  $i$ -ik blokk-sorban található valamennyi ( $N$  darab) blokk  $\varrho_i \times 6$  típusú, ha  $\varrho_i$  az  $i$ -ik felületi kényszerhez tartozó, egymástól lineárisan független elemi kényszerek legnagyobb száma (ami sohasem lehet nagyobb hatnál). Mivel egy felületi kényszer mindig két testhez tartozik,  $H$  minden olyan blokk-sorában két zérustól különböző blokk áll, amely két ismeretlen sebességállapotú test között fellépő felületi kényszernek felel meg (a többi zérusblokk). Ezzel szemben az egy ismert és egy ismeretlen sebességállapotú test közötti felületi kényszer blokk-sorában csak egy zérustól különböző blokk áll. A zérustól különböző blokkok a megfelelő felületi kényszerek mátrixaival egyeznek meg. Ha egy sorban két ilyen áll, ezek — (7)-nek megfelelően — csak előjelben különböznek egymástól.

Ezek után térjünk rá az  $u$  oszlopvektor jelentésére, a kényszerrendszer kinematikai jellemzőjének a meghatározására. Az ismeretlen sebességállapotú testek  $w$  sebességállapot-vektorához hasonlóan foglaljuk össze a  $w_0$  oszlopvektorba azoknak az ismert (előírt) sebességállapotú testeknek a sebességállapotvektorát, amelyeknek közvetlen felületi kényszer formájában megvalósuló kapcsolatuk van az ismeretlen sebességállapotú testekkel. Az így értelmezett  $w_0$  segítségével a kényszerrendszer  $u$  kinematikai jellemzője az

$$u = H_0 w_0$$

mátrixegyenletből számítható, ahol  $H_0$  a  $H$  mátrixhoz hasonló felépítésű;  $H_0$  blokk-sorai rendre ugyanazokhoz a felületi kényszerekhez tartoznak, mint

$H$  megfelelő blokk sorai,  $H_0$  blokkoszlopai viszont az ismert sebességállapotú testeknek felelnek meg. Minden olyan blokk sorban, amelyben  $H$  csak egy zérustól különböző blokkot tartalmaz,  $H_0$  is csak egyet, mégpedig az előbbivel megegyezőt. Azokban a blokk sorokban viszont, amelyekben  $H$  két-két zérustól különböző blokkot tartalmaz,  $H_0$  egyet sem (vagyis csak zérusblokkokat). Így az  $u$  oszlopvektorba összefoglalt mennyiségek — rendre — az ismert sebességállapotú testeknek a megfelelő felületi kényszerekhez tartozó, egymástól lineárisan független elemi kényszerek hatásvonalaíra vonatkozó vetületi sebességeit jelentik.

Az egymással érintkező felülepárokon megvalósuló bármely kényszerrendszer kinematikai vizsgálata a fentiek szerint tehát mindig visszavezethető elemi kényszerek olyan rendszerének a vizsgálatára, amelynél az egyes felületi kényszerekhez egymástól lineárisan független elemi kényszerek tartoznak. Egy ilyen kényszerrendszer (10) alakú mátrixegyenletének — a lineáris egyenletrendszerek elméletére támaszkodó — további vizsgálata alapján egyértelmű feltételek nyerhetők a megoldás létezésére és egyértelműségére is.

#### IRODALOM

1. Autorenkollektiv: Getriebetechnik, VEB Verlag Technik, Berlin 1968
2. KOLCSIN, N. I.: *Mechanika masin* I. Izd. Masinosztroenie, Leningrad 1971
3. KOZSEVNIKOV, Sz. N.: *Teorija mehanizmov i masin*. Izd. Masinosztroenie, Moszkva 1973
4. PRENTIS, J. M.: *Dynamics of Mechanical Systems*, Longman Group Ltd., London 1970
5. WALDRON, K. J.: A Study of Overconstrained Linkage Geometry by Solution of Closure Equations. Part I. Method of Study. *Mechanism and Machine Theory*, 8 (1973) No. 1, 95—104
6. KIRÁLY B.: Merev testekből álló holonom rendszer sebességállapota, kényszerrendszere és kinematikai határozottsága (kandidátusi értekezés, 1972)

#### **Kinematic Examination of Constraint Systems Realized on Pairs of Surfaces in Contact.**

From technical point of view at one of the most important types of holonomic systems the constraints are realized on pairs of surfaces in contact which are formed on rigid bodies. This paper deals with the kinematic examination of such constraint systems. Firstly it initiates the idea of surface constraint which is realized on a single pair of surfaces and the idea of elementary constraint belonging to one contact point, and then it replaces the constraint system by a system of elementary constraints in which each surface constraint corresponds to elementary constraints linearly independent of each other. In this way the set of constraint equations concerning the speed state of a holonomic system — also in general space cases — can be expressed in a concise matrix form which is suitable for further examinations.

**Kinematische Untersuchung der an den sich berührenden Flächenpaaren verwirklichten Zwangssysteme.** Bei einem der in technischer Hinsicht wichtigsten Typen der holonomen Systeme verwirklichen sich die Zwänge durch sich berührende Flächenpaare, die an den starr zu betrachtenden Körpern ausgestaltet sind. Die Arbeit beschäftigt sich mit der kinematischen Untersuchung solcher Zwangssysteme. Zuerst führt sie den Begriff des auf einem einzigen Flächenpaar verwirklichten, sogenannten oberflächlichen Zwanges und des zum einzigen Berührungspunkt gehörenden Elementarzwanges ein, dann ersetzt sie das Zwangssystem durch ein solches System der Elementarzwänge, in dem die einzelnen oberflächlichen Zwänge den voneinander linear unabhängigen Elementarzwängen entsprechen. So kann man das auf den Geschwindigkeitszustand des holonomen Systems bezügliche Zwangsgleichungssystem — auch in allgemeinen räumlichen Fällen — in gedrängter, für die weiteren Untersuchungen geeigneter Matrizenform aufschreiben.

1. The first part of the document discusses the importance of maintaining accurate records of all transactions and activities. It emphasizes that proper record-keeping is essential for ensuring transparency and accountability in financial reporting.

2. The second part of the document outlines the various methods and techniques used to collect and analyze data. It highlights the need for a systematic approach to data collection and the importance of using reliable sources of information.

3. The third part of the document focuses on the analysis and interpretation of the collected data. It discusses the various statistical and analytical tools used to identify trends, patterns, and relationships within the data set.

4. The fourth part of the document provides a detailed overview of the findings and conclusions drawn from the analysis. It discusses the implications of the results and offers recommendations for future research and practice.

5. The fifth part of the document discusses the limitations of the study and the potential for future research. It acknowledges the constraints of the data and the methods used and suggests areas for further exploration.

6. The final part of the document provides a summary of the key findings and conclusions, along with a list of references and a list of figures and tables.

# VÁLTOZÓ KERESZTMETSZETŰ, EGYENES RUDAKBÓL ÁLLÓ TÉRBELI RÚDSZERKEZET REZGÉSI SAJÁTFREKVENCIAIÁNAK JAVÍTHATÓ KÖZREFOGÁSA

## I. RÉSZ

BOSZNAY ÁDÁM\*

A MŰSZ. TUD. KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1975. május 19.]

A három részből álló dolgozat jelen első része kitűzi a címbeli feladatot, felállítja a megfelelő operátoros sajátértékfeladatot, megvizsgálja a szereplő operátorok sajátosságait. A Poincaré—Pólya-féle minimax elvre támaszkodva megszerkeszt egy ún. alsó, és egy ún. felső alaprúdszerkezetet, amelyeknek sajátfrekvenciái ismert módszerrel kellő pontossággal számíthatók, és amelyek közrefogják a vizsgált rúdszerkezet rezgési sajátfrekvenciáit, majd bevezeti az így kapott durva közrefogás javítására szolgáló közbenső operátoros módszerhez szükséges operátorokat. Az ún. lényeges mellékfeltételek megkeresésének módszerét a Függelék részletezi.

### 1. Bevezetés

Kontinuumnak való modellezéssel a szerkezetek valósághoz hívebb leírása, így pontosabb sajátfrekvenciák is várhatók. Sajnos azonban ennek a modellezésnek — pl. sajátfrekvencia számítás esetében — már kissé összetettebb szerkezetnél az a hátránya, hogy a frekvencia-egyenlet még burkolt formában sem állítható fel a szokásos tabellált függvényekkel. Más módszer szükséges tehát a sajátfrekvenciák approximálására.

Előírt számú sajátfrekvenciára javítható felső korlátot viszonylag egyszerűen számíthatunk viszonylag bonyolult kontinuum esetében is a jól ismert Poincaré—Rayleigh—Ritz-féle eljárással, vagy annak egy változatával, a véges elem módszerrel.

A felső korlát számításában elkövetett hiba becslése céljából javítható alsó korlátok számítása látszik jelenleg a legkedvezőbbnek. A címbeli feladat esetére a közbenső operátoros módszer alkalmazásával tudomásunk szerint az [1] előadás adott elsőként megoldást, egyúttal azt is javasolva, hogy a javítható alsó korlátokat adó programot alkalmazzuk csekély változtatásokkal javítható felső korlátok számítására is.

A jelen dolgozat célja az említett előadásban vázoltak részletesebb ismertetése, illetve kiegészítése.

\* Prof. Dr. Bosznay Ádám, 1123 Budapest, Györi u. 12

## 2. A vizsgált modell

A dolgozat tárgyát képező alakzat  $n$  számú rúdból, továbbá a rudakat összekapcsoló, valamint a peremfeltételeket létrehozó szerkezetből áll. Az  $i$ -edik rúd mozgásegyenletrendszerül az alábbi választjuk:

$$\begin{aligned}
 -\frac{\partial}{\partial x_i} \left( G_i I_i \frac{\partial \varphi_{i0}}{\partial x_i} \right) &= -\Theta_i \frac{\partial^2 \varphi_{i0}}{\partial t^2}, \\
 -\frac{\partial}{\partial x_i} \left( E_i A_i \frac{\partial \xi_{i0}}{\partial x_i} \right) &= -\varrho_i A_i \frac{\partial^2 \xi_{i0}}{\partial t^2}, \\
 \frac{\partial^2}{\partial x_i^2} \left( E_i I_{\zeta_i} \frac{\partial^2 \eta_{i0}}{\partial x_i^2} \right) &= -\varrho_i A_i \frac{\partial^2 \eta_{i0}}{\partial t^2}, \\
 \frac{\partial^2}{\partial x_i^2} \left( E_i I_{\eta_i} \frac{\partial^2 \zeta_{i0}}{\partial x_i^2} \right) &= -\varrho_i A_i \frac{\partial^2 \zeta_{i0}}{\partial t^2}.
 \end{aligned} \tag{1}$$

A fenti négy egyenlet az  $i$ -edik rúd — egymástól függetlenül egyszerre végbemenőnek feltételezett — csavaró, hosszirányú, az egyik és a másik fősíkban végbemenő hajlító lengéseit írja le.

A betűk jelentése:

$G_i = G_i(x_i)$	a csúsztató rugalmassági modulus,
$G_i I_i = G_i I_i(x_i)$	a csavarómerevség,
$\theta_i = \theta_i(x_i)$	a rúdnak az elcsavarodás tengelyére számított (a tengelyirányú méret tekintetében) fajlagos tehetetlenségi nyomatéka,
$E_i = E_i(x_i)$	a Young-féle modulus,
$A_i = A_i(x_i)$	a keresztmetszeti idom területe,
$\varrho_i = \varrho_i(x_i)$	a rúdanyag sűrűsége,
$I_{\zeta_i} = I_{\zeta_i}(x_i)$	a keresztmetszeti síkidomnak az egyik,
$I_{\eta_i} = I_{\eta_i}(x_i)$	pedig a másik súlyponti főtengetlyére számított másodrendű nyomatéka,
$\varphi_{i0}(x, t)$	az elcsavarodási szög,
$\xi_{i0}(x, t)$	a hosszirányú eltolódás,
$\eta_{i0}(x, t)$	a rúdtengelynek az egyik,
$\zeta_{i0}(x, t)$	pedig a másik fősíkjában mutatkozó tranzverzális elmozdulás,
$x_i, y_i, z_i$	descartes-i jobbsodrású koordinátarendszerben mért koordináták; az origót az $i$ -edik rúd egyik végső keresztmetszete súlypontjának nyugalmi helyzetével ejtsük egybe; az $x_i$ tengely essék egybe a nyugalmi állapotban levő, alakváltozásmentes $i$ -edik rúd súlyponti tengelyével, és mutasson a másik rúdvég felé; az $y_i$ és $z_i$ tengelyek essenek egybe a nyugalmi állapotban az origót tartalmazó keresztmetszeti síkidom nyugalmi helyzetben levő súlyponti főtengetlyeivel. Az így definiált koordinátarendszer neve: az $i$ -edik rúd saját koordinátarendszere.

A rudak egymáshoz, illetve a peremszerkezetekhez való kapcsolódását kifejező perem- és illesztési feltételek — a továbbiakban összefoglalóan: mellékfeltételek — felírhatóságához szükség van még egy ún. közös koordinátarendszer felvételére.

Feltesszük, hogy a mellékfeltételek olyanok, hogy megfelelő kezdeti feltételek (megfelelő indítás) esetében lehetséges

$$\begin{aligned}\varphi_{i0} &= \varphi_i(x_i) \sin \alpha t, \\ \xi_{i0} &= \xi_i(x_i) \sin \alpha t, \\ \eta_{i0} &= \eta_i(x_i) \sin \alpha t, \\ \zeta_{i0} &= \zeta_i(x_i) \sin \alpha t, \quad i = 1, \dots, n\end{aligned}\quad (2)$$

alakú megoldás. E megoldást (1)-be behelyettesítve, a nem azonosan zérus  $\sin \alpha t$ -vel egyszerűsítve, és az  $x_i$  szerinti differenciálást ' -vel jelölve a

$$\begin{aligned}- (G_i I_i \varphi_i)' &= \alpha^2 \theta_i \varphi_i, \\ - (E_i A_i \xi_i)' &= \alpha^2 \rho_i A_i \xi_i, \\ (E_i I_i \eta_i)'' &= \alpha^2 \rho_i A_i \eta_i, \\ (E_i I_i \zeta_i)'' &= \alpha^2 \rho_i A_i \zeta_i, \quad i = 1, \dots, n\end{aligned}\quad (1a)$$

differenciálegyenletrendszerre jutunk.

A továbbiakban a mellékfeltételeknek már a  $\sin \alpha t$ -vel való egyszerűsítése után nyert alakját vesszük tekintetbe, s az  $i$ -edik rúd hosszát  $l_i$ -vel jelöljük:

$$\begin{aligned}& a_{11}^1 \varphi_1|_0 + a_{12}^1 \varphi_1'|_0 + a_{13}^1 \xi_1|_0 + a_{14}^1 \xi_1'|_0 + \\ & + a_{15}^1 \eta_1|_0 + a_{16}^1 \eta_1'|_0 + a_{17}^1 \eta_1''|_0 + a_{18}^1 \eta_1'''|_0 + \\ & + a_{19}^1 \zeta_1|_0 + a_{1,10}^1 \zeta_1'|_0 + a_{1,11}^1 \zeta_1''|_0 + a_{1,12}^1 \zeta_1'''|_0 + \\ & + b_{11}^1 \varphi_1|_{l_1} + \dots + b_{1,12}^1 \zeta_1'''|_{l_1} + a_{11}^2 \varphi_2|_0 + \dots + \\ & + b_{1,12}^2 \zeta_2'''|_{l_1} + \dots + b_{1,12}^n \zeta_n'''|_{l_n} = 0, \\ & a_{21}^1 \varphi_1|_0 + \dots + b_{2,12}^n \zeta_n'''|_{l_n} = 0, \\ & \dots \\ & a_{n1}^1 \varphi_1|_0 + \dots + b_{n,12}^n \zeta_n'''|_{l_n} = 0.\end{aligned}\quad (3)$$

(3)-ban a háromindexes  $a$  és  $b$  mennyiségek állandók.

Feltesszük, hogy a (3) egyenletrendszer egyenletei lineárisan függetlenek egymástól, azaz az együtthatómátrix rangja  $12n$ .

(1a) és (3) rövidebb alakba írhatók az alábbiakban definiált differenciáloperátorok, oszlop mátrixok, hiper oszlop mátrixok, mátrix és hipermátrix differenciáloperátorok, mátrixok és hipermátrixok bevezetésével; a ki nem írt

elemek zérusok;  $\doteq$  a definiáló egyenlőség jele,  $\langle \rangle$  pedig diagonálmátrixot jelent:

$$L_{li} \varphi_i \doteq (G_i I_i \varphi_i)',$$

$$L_{li} \xi_i \doteq (E_i A_i \xi_i)',$$

$$L_{\eta i} \eta_i \doteq (E_i L_{\zeta i} \eta_i)''',$$

$$L_{\zeta i} \zeta_i \doteq (E_i I_{\eta i} \zeta_i)''',$$

$$\mathbf{A}_i \doteq \begin{bmatrix} -L_{li} & & & \\ & -L_{li} & & \\ & & L_{\eta i} & \\ & & & L_{\zeta i} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{B}_i \doteq \begin{bmatrix} \theta_i & & & \\ & \varrho_i A_i & & \\ & & \varrho_i A_i & \\ & & & \varrho_i A_i \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{u}_i \doteq \begin{bmatrix} \varphi_i \\ \xi_i \\ \eta_i \\ \zeta_i \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, n;$$

$$\mathbf{A} \doteq \langle \mathbf{A}_1, \dots, \mathbf{A}_n \rangle, \quad \mathbf{B} \doteq \langle \mathbf{B}_1, \dots, \mathbf{B}_n \rangle,$$

$$\mathbf{u} \doteq \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

E jelölésekkel (1a) az

$$\mathbf{A} \mathbf{u} - \alpha^2 \mathbf{B} \mathbf{u} = \mathbf{0} \quad (1b)$$

alakba írható; a jobb oldalon  $4n$  elemű zérus oszlop mátrix áll. Megfelelő  $\mathbf{K}$  operáció bevezetésével (3)

$$\mathbf{K} \mathbf{u} = \mathbf{0} \quad (3a)$$

alakot kaphat. (3a) jobb oldalán  $12n$  elemű zérus oszlop mátrix áll.

A továbbiakban  $\mathbf{A}$ -t rugalmassági operátornak,  $\mathbf{B}$ -t tömeg operátornak,  $\mathbf{K}$ -t mellékfeltételoperációnak,  $\mathbf{u}$ -t amplitudó oszlop mátrixnak fogjuk nevezni.

A rúdszerkezet  $\alpha$  sajátkörfrekvenciáinak, illetve  $\alpha^2$  sajátértékeinek a meghatározása egyenértékű az (1b) és (3a) által kijelölt sajátértékfeladat megoldásával.



### 3. Az A, B és K operátorok ill. operáció tulajdonságai

Definíciójuk alapján közvetlenül belátható, hogy mind A, mind B, mind K lineárisak. A hipermátrix differenciáloperátor, és értelmezéséhez hozzákapcsoljuk a (3a) mellékfeltételeket; B hipermátrix szorzó operátor.

Vezessük be az amplitúdó eloszlás oszlopvektorok Hilbert terét az alábbi módon: a tér elemei legyenek rendezett függvény  $n$ -esek, ahol az  $i$ -edik függvény a

$$0 \leq x_i \leq l_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

intervallumon értelmezett, tetszőleges valós, négyzetesen integrálható függvény; a tér  $u$  és  $v$  elemének skalárszorzatát jelöljük  $(u, v)$ -vel, s definiáljuk így:

$$(u, v) \doteq \sum_{i=1}^n (u_i, v_i) = \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} u_i^* v_i dx_i. \quad (5)$$

Az integrandusban a \* a transzponálás jele, s az ott kijelölt szorzás a mátrixokra értelmezett skaláris szorzás.

Az (5)-beli  $v$ -t (4) értelemszerű alkalmazásával felépítő  $v_i$ -k elemeit jelöljük

$$v_i = \begin{bmatrix} \Phi_i \\ \Xi_i \\ H_i \\ Z_i \end{bmatrix}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

-el. Ezzel (5) jobb oldala így írható:

$$\sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} u_i^* v_i dx_i = \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} (\varphi_i \Phi_i + \xi_i \Xi_i + \eta_i H_i + \zeta_i Z_i) dx_i. \quad (5a)$$

Az alábbiakban megvizsgáljuk, hogy mi a feltétele az A operátorra vonatkozóan, hogy a vizsgált sajátértékfeladat önadjungált legyen, azaz hogy a fent definiált Hilbert térbeli, elegendő sokszor differenciálható és a mellékfeltételeket kielégítő  $u$ - és  $v$ -re

$$(Au, v) = (Av, u) \quad (7)$$

legyen. Erre a vizsgálatra azért van szükség, mert a továbbiakhoz a sajátértékfeladat önadjungáltsága szükséges.

A vizsgálat céljából kiszámítjuk (7) mindkét oldalát (4) és (5a) felhasználásával. A bal oldal az integrandus egyes tagjainak egyszeri, más tagjainak

kétszeri parciális integrálása után:

$$\begin{aligned}
 (\mathbf{A} u, v) &= \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} v_i^* \mathbf{A}_i u_i dx_i = \\
 &= \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} [-\Phi_i (G_i I_i \varphi_i)' - \Xi_i (E_i A_i \xi_i)' + \\
 &+ H_i (E_i I_{\zeta i} \eta_i'') + Z_i (E_i I_{\eta i} \zeta_i'')] dx_i = \\
 &= \sum_{i=1}^n \left\{ [-\Phi_i G_i I_i \varphi_i' - \Xi_i E_i A_i \xi_i' + H_i (E_i I_{\zeta i} \eta_i'')]_0^{l_i} - \right. \\
 &- H_i' E_i I_{\zeta i} \eta_i'' + Z_i (E_i I_{\eta i} \zeta_i'')' - Z_i' E_i I_{\eta i} \zeta_i'' \Big|_0^{l_i} + \\
 &+ \int_0^{l_i} (\Phi_i' G_i I_i \varphi_i + \Xi_i' E_i A_i \xi_i + H_i' E_i I_{\zeta i} \eta_i'' + \\
 &\left. + Z_i' E_i I_{\eta i} \zeta_i'') dx_i \right\}. \tag{7a}
 \end{aligned}$$

(7) jobb oldala a fent kirészletezett (7a) bal oldalából  $u_i$  és  $v_i$  elemeinek felcserélésével adódik; a felcserélés nem befolyásolja a (7a)-beli integrált, csupán az ún. peremtagokat.

( $\mathbf{A}v, u$ ) számítása során a peremtagok az alábbiak lesznek:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n [-\varphi_i G_i I_i \Phi_i' - \xi_i E_i A_i \Xi_i' + \eta_i (E_i I_{\zeta i} H_i')' - \\
 - \eta_i' E_i I_{\zeta i} H_i'' + \zeta_i (E_i I_{\eta i} Z_i')' - \zeta_i' E_i I_{\eta i} Z_i'']_0^{l_i}. \tag{7b}
 \end{aligned}$$

A (7) kirészletezésével nyert egyenlet két oldalán tehát az integrálok azonosak, a peremtagok azonban nem. Kiindulásunk szerint  $u$  és  $v$  kielégítik a mellékfeltételeket; ezekben  $\varphi_i, \varphi_i', \xi_i, \xi_i', \eta_i, \eta_i', \eta_i'', \eta_i''', \zeta_i, \zeta_i', \zeta_i'', \zeta_i'''$ , továbbá  $\Phi_i, \Phi_i', \Xi_i, \Xi_i', H_i, H_i', H_i'', H_i''', Z_i, Z_i', Z_i'', Z_i'''$   $x_i = 0$  és  $x_i = l_i$  helyeken felvett értékei szerepelnek. Ugyanezek a mennyiségek találhatók a peremtagokban is; a mellékfeltételekre tehát azt a többletfeltételt kell még kiróni, hogy azok a most vizsgált peremtagok egyenlőségét biztosító egyetlen egyenletet azonosan elégítsék ki.

Feltesszük, hogy mellékfeltételeink eleget tesznek ennek a többletkikötésnek, tehát az  $\mathbf{A}$  operátor kívánt tulajdonságát biztosítottuk.

Érdekes annak megvizsgálása, hogy mit jelent fizikailag az említett többletkikötés. E célból először (7) két oldalának mechanikai jelentését fogjuk tisztázni. A mechanikai jelentés felismeréséhez úgy jutunk, hogy feltesszük: a rúdszerkezet  $u + v$  által leírt amplitúdóeloszlásnak megfelelően leng szinuszo-

san  $\alpha$  körfrekvenciával. Részletesebb vizsgálattal kiderül, hogy az  $(Au, v)$ -beli, (7a) alatti peremtag — a —  $\alpha \sin \alpha t \cos \alpha t$  tényező híján — a rúdszerkezet egyes rúdvégei által a mellékfeltételeket létrehozó szerkezetekre kifejtett, az  $u$  amplitúdóeloszlásból származó erőhatásoknak a  $v$  amplitúdóeloszlásnak megfelelő mozgásnál kifejtett összteljesítménye. Hasonló a jelentése az  $(Av, u)$  számításánál fellépő (7b) szerinti peremtagnak, csupán  $u$  és  $v$  szerepet cserélnek.

A két peremtag tehát — a —  $\alpha \sin \alpha t \cos \alpha t$  tényező híján — éppen az a két ún. vegyes teljesítmény, amely a mellékfeltételeket létrehozó szerkezetekből álló rendszerre felírt Betti—Rayleigh-féle reciprocitási tételben ([2], 173. o.) szerepel. A tétel szerint ez a két teljesítmény egyenlő egymással, ha az imént említett szerkezetnek van rugalmas potenciálja.

A sajátértékfeladat önadjungálttá tétele érdekében a mellékfeltételekre kirótt többletfeltétel tehát fizikailag azt jelenti, hogy az azokat létrehozó szerkezeteknek: a csomóponti- és peremszerkezeteknek konzervatív rendszert kell alkotniuk.

A továbbiakban szükség lesz  $(Au, u)$  mechanikai jelentésének felfedésére is. Igazolható, hogy  $(Au, u) \sin^2 \alpha t / 2$  az egyes rudakban a  $(0, t)$  időtartam alatti szinuszos lengés során felhalmozott belső energiák összege  $(U^{(0 \rightarrow t)})$  mínusz a rúdvégeket a perem- és illesztő szerkezetek által támadó erőhatások ugyanazalatt végzett munkájának összege  $(W^{(0 \rightarrow t)})$ , vagyis

$$\frac{1}{2} \sin^2 \alpha t (Au, u) = U^{(0 \rightarrow t)} - W^{(0 \rightarrow t)}. \quad (8)$$

$(Au, u)$  e jelentésére támaszkodva megmutatjuk, hogy  $A$  szigorúan pozitív operátor, azaz a szerkezetnek az alapul vett Hilbert-térbe eső, s a  $Ku = 0$  feltételt kielégítő, zérussal nem azonosan egyenlő, egyébként tetszőleges  $u$  amplitúdóeloszlásával számolva  $(Au, u) > 0$ .

A bizonyításhoz a csomóponti- és peremszerkezetek által alkotott rendszerre felírjuk a  $(0, t)$  időtartamra vonatkozó energiatételt. (Azért nem a csomóponti- és peremszerkezetektől megfosztottnak gondolt rúdszerkezetre, mert így csak a mozgásegyenletrendszernek is eleget tevő  $u$ -kra kapnánk állítást.) Az említett energiatétel szerint

$$W_{\text{kin},s}(t) - W_{\text{kin},s}(0) = W_s^{(0 \rightarrow t)} - U_s^{(0 \rightarrow t)}; \quad (9)$$

itt  $W_{\text{kin},s}$  a teljes csomóponti- és peremszerkezet rendszer kinetikai energiája,  $W_s^{(0 \rightarrow t)}$  a rúdvégek által a csomóponti- és peremszerkezeteknek átadott erőhatások  $(0, t)$  alatt végzett munkája,  $U_s^{(0 \rightarrow t)}$  pedig a  $(0, t)$  időtartam alatt a csomóponti- és peremszerkezetekben felhalmozott belső energia.

Állapodjunk meg abban, hogy a csomóponti- és peremszerkezetek tömegeit (tehetetlenségi nyomatékait) az oda kapcsolódó rudakba vesszük bele;

ezzel  $W_{\text{kin } s}(t) = 0$ ,  $W_{\text{kin } s}(0) = 0$ , és így (8) bal oldala zérus, ebből pedig

$$W_s^{(0 \rightarrow t)} = U_s^{(0 \rightarrow t)}. \quad (10)$$

Az egyes rúdvégek a csomóponti- és peremszerkezetekbe úgy kapcsolódnak, hogy minden egyes kapcsolódási ponton a kapcsolódó rúdvégnek és a csomóponti- illetve peremszerkezet hozzákapcsolódó pontjának ugyanaz az eltolódása és elfordulása. Ebből, továbbá az akció–reakció elvből következik, hogy

$$W_s^{(0 \rightarrow t)} = W^{(0 \rightarrow t)}. \quad (11)$$

(10) és (11) felhasználásával (8) így alakul:

$$\frac{1}{2} \sin^2 \alpha t (\mathbf{A} u, u) = U^{(0 \rightarrow t)} + U_s^{(0 \rightarrow t)}, \quad (8a)$$

és mivel a rugalmas testek belső energiája negatív nem lehet,  $s(\mathbf{A} u, u)$  szorzója sem lehet negatív,  $(\mathbf{A} u, u) > 0$ , ha  $u \neq 0$ , amit bizonyítani kellett.

A  $\mathbf{B}$  operátor vizsgálatára térve közvetlenül világos, hogy ez az operátor szimmetrikus, azaz  $(\mathbf{B} u, v) = (\mathbf{B} v, u)$ , ugyanis (5) szerint

$$(\mathbf{B} u, v) = \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} v_i^* \mathbf{B}_i u_i dx_i,$$

továbbá

$$(\mathbf{B} v, u) = \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} u_i^* \mathbf{B}_i v_i dx_i,$$

viszont a  $\mathbf{B}$  hipermátrix (4) alatti definíciója szerint ez a hipermátrix szimmetrikus, tehát  $v_i^* \mathbf{B}_i u_i = u_i^* \mathbf{B}_i v_i$  minden  $i$ -re, amivel a  $\mathbf{B}$  operátor szimmetrikus volta is igazolást nyert.

$(\mathbf{B} u, u)$  mechanikai jelentésének vizsgálatára térve, azt kapjuk, hogy

$$(\mathbf{B} u, u) = \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} [\theta_i \varphi_i^2 + \rho_i A_i (\xi_i^2 + \eta_i^2 + \zeta_i^2)] dx_i,$$

amiből látjuk, hogy  $u \neq 0$ -ra  $(\mathbf{B} u, u) > 0$ , azaz  $\mathbf{B}$  is szigorúan pozitív operátor, továbbá az is kitűnik, hogy

$$\frac{1}{2} \alpha^2 \cos \alpha t (\mathbf{B} u, u) = W_{\text{kin}}(t).$$

Az  $A$  és  $B$  operátorok fent igazolt tulajdonságai alapján az (1b)–(3a) sajátértékfeladat önadjungált és teljes definit, továbbá (4)-ből láthatóan valós együtthatójú. Ebből következően megszámlálhatóan végtelen sok, valós pozitív  $\alpha_j^2$  sajátértéke van; a szokás szerint úgy indexezzük őket, hogy

$$\alpha_1^2 \leq \alpha_2^2 \leq \dots \leq \alpha_\nu^2 \leq \dots \quad (12)$$

legyen. Ezek a keresett sajátértékek.

A többszörös sajátértékek e sorozatban annyiszor szerepelnek, ahányszorosak.

A feladat önadjungáltóságának következtében a különböző  $\alpha_i^2 \neq \alpha_j^2$  sajátértékekhez tartozó  $u_i$  és  $u_j$  sajátvektorokra fennáll, hogy

$$(A u_i, u_j) = 0 \quad \text{és} \quad (B u_i, u_j) = 0.$$

Lehetséges továbbá a sajátvektorokat úgy normálni, hogy

$$(B u_i, u_i) = 1$$

legyen.

A sajátvektorok rendszere a  $0 \leq x_i \leq l_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  értelmezési tartományban lineárisan független.

#### 4. Durva alsó és felső korlátok a sajátértékekre

A jelen munka tárgyát képező javítható közrefogás elméletében és numerikus realizálásában fontos szerepe van a sajátértékekre viszonylag egyszerű számítással megadható alsó és felső korlátoknak, még akkor is, ha ezek esetleg durvák.

A vizsgált feladattípus sajátértékeire vonatkozó Poincaré—Pólya-féle minimax elvre [3] támaszkodva lehetséges az eredeti rúdszerkezethez két olyan rudanként állandó keresztmetszetű ún. alsó és felső alaprúdszerkezetet hozzárendelni, amelyeknek elegendő sok lengési sajátértéke viszonylag könnyen számítható kellő pontossággal, és ugyanakkor e két sajátértékhalmoz a kívánt alsó és felső korlátokat szolgáltatja.

A Poincaré—Pólya-féle minimax elv szerint az (1b)–(3a) sajátértékfeladat (12) szerinti indexezéssel vett  $\nu$ -edik sajátértékére fennáll:

$$\alpha_\nu^2 = \min_{T, \subset \theta_A} \left( \max_{u \in T, \nu} \frac{(A u, u)}{(B u, u)} \right). \quad (13)$$

Az  $(Au, u)/(Bu, u)$  funkcionál (Rayleigh-féle hányados) fent  $\vartheta_A$ -val jelölt értelmezési tartományát azok az  $u$  vektorok jelölik ki, amelyek az alábbi tulajdonságú  $\varphi_i(x_i)$ -,  $\xi_i(x_i)$ -,  $\eta_i(x_i)$ -,  $\zeta_i(x_i)$ -kből épülnek fel:

$\varphi_i$ - és  $\xi_i$ -nek az első,  $\eta_i$ - és  $\zeta_i$ -nek a második deriváltja szakaszonként folytonos, továbbá kielégítik a mellékfeltételekből leszarmasztatható ún. lényeges mellékfeltételeket.

(A lényeges mellékfeltételek definíciójára vonatkozóan lásd: [4], 4. oldal. A lényeges mellékfeltételek megkeresésének gyakorlati alkalmazásra előkészítetten kirészletezett módszerét e dolgozat Függeléke mutatja be.)

(13) szavakban így szól: az (1b)–(3a) sajátértékfeladat  $\nu$ -edik sajátértékét úgy kapjuk, hogy sorba vesszük a Rayleigh-féle hányados maximumait, miközben  $u$ -t sorban  $\vartheta_A$ -nak minden lehetséges  $\nu$  dimenziós alterén változtatjuk, majd kikeressük e maximumok minimumát.

(13) alapján az alábbi ún. összehasonlító tétellel kifejezett elégséges feltétel adható meg az (1b)–(3a) feladattal megegyező típusú

$$A_1 u - \alpha_1^2 B_1 u = 0, \quad K_1 u = 0$$

és

$$A_2 u - \alpha_2^2 B_2 u = 0, \quad K_2 u = 0$$

két sajátértékfeladat  $\alpha_{1\nu}^2$  és  $\alpha_{2\nu}^2$  ( $\nu = 1, 2, \dots$ ) sajátértékei között fennálló egyenlőtlenségre:

$$\alpha_{1\nu}^2 \leq \alpha_{2\nu}^2, \quad \nu = 1, 2, \dots,$$

ha

$$(A_1 u, u) \leq (A_2 u, u), \quad u \in \vartheta_{A_2},$$

$$\vartheta_{A_1} \supseteq \vartheta_{A_2},$$

és

$$(B_1 u, u) \geq (B_2 u, u).$$

A fentiekben a  $\vartheta_{A_1}$  illetve  $\vartheta_{A_2}$  tartományok definíciója értelemszerűen ugyanaz, mint a (13) kapcsán megadott  $\vartheta_A$ -é.

Válasszuk meg az  $l$  indexszel jelölt alsó alaprúdszerkezetet úgy, hogy a rudanként állandó, s  $(GI)_{li}$ -,  $(EA)_{li}$ -,  $(EI_\zeta)_{li}$ -,  $(EI_\eta)_{li}$ -,  $\theta_{li}$ -,  $(\rho A)_{li}$ -, ( $i = 1, 2, \dots, n$ )-vel jelölt rúd jellemzőkre a

$$\begin{aligned} (GI)_{li} &\leq \min [G_i(x_i) I_i(x_i)], \\ (EA)_{li} &\leq \min [E_i(x_i) A_i(x_i)], \\ (EI_\zeta)_{li} &\leq \min [E_i(x_i) I_{\zeta i}(x_i)], \\ (EI_\eta)_{li} &\leq \min [E_i(x_i) I_{\eta i}(x_i)], \\ \theta_{li} &\geq \max [\theta_i(x_i)], \\ (\rho A)_{li} &\geq \max [\rho_i(x_i) A_i(x_i)], \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \tag{161}$$

egyenlőtlenségek teljesüljenek, s az alsó alaprúdszerkezet ugyanazt a  $0 \leq x_i \leq l_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  tartományt foglalja el, mint az eredeti, továbbá legyenek ugyanazok a mellékfeltételeket biztosító szerkezetek, mint az eredetिनél. Az így megszerkesztett rúdszerkezet mellékfeltételei nem lesznek feltétlenül azonosak az eredeti szerkezetivel; jelöljük az  $l$  rúdszerkezet mellékfeltételeit a

$$\mathbf{K}_l u = 0 \quad (17l)$$

egyenlettel. Részletesebb vizsgálattal belátható, hogy az eredeti és az  $l$  szerkezetre vonatkozó lényeges mellékfeltételek azonosak. Jelöljük az  $l$  rúdszerkezet sajátértékeit  $\alpha_{li}^2$ -el,  $\nu = 1, 2, \dots$ .

Azonosítsuk a (14) feladatok közül az 1 indexűt az  $l$  rúdszerkezetre vonatkozóval, és a 2 indexűt az eredeti rúdszerkezetre vonatkozóval. (16l), továbbá (4), valamint az előző bekezdés végén mondottak alapján közvetlenül belátható, hogy

$$(\mathbf{B}_l u, u) \geq (\mathbf{B} u, u), \quad (18l)$$

és

$$\vartheta_{A_l} = \vartheta_A. \quad (19l)$$

Bebizonyítjuk még (8) és (8a) segítségével, hogy

$$(\mathbf{A}_l u, u) \leq (\mathbf{A} u, u). \quad (20l)$$

A helyébe (8a)-ban  $A_l$ -et téve, és a jobb oldali mennyiségeket is  $l$ -el indexezve, azt kapjuk, hogy

$$\frac{1}{2} \sin^2 \alpha t (\mathbf{A}_l u, u) = U_l^{(0 \rightarrow t)} + U_{sl}^{(0 \rightarrow t)}. \quad (8b)$$

(16l) szerint  $U_l^{(0 \rightarrow t)} \leq U^{(0 \rightarrow t)}$ , viszont a csomóponti és peremszerkezetek ugyanazok maradtak, úgy hogy  $U_{sl}^{(0 \rightarrow t)} = U_s^{(0 \rightarrow t)}$ , amiből (8b)-t (8a)-val összevetve a kívánt  $(\mathbf{A}_l u, u) \leq (\mathbf{A} u, u)$  adódik.

A mondottak szerint meg kell még választani az ún. felső alaprúdszerkezetet; ezt és jellemzőit  $u$  indexszel fogjuk jelölni. Legyenek a rudanként állandó jellemzők  $(GI)_{ui}$ ,  $(EA)_{ui}$ ,  $(EI_t)_{ui}$ ,  $(EI_\eta)_{ui}$ ,  $\theta_{ui}$ ,  $(\varrho A)_{ui}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), s válasszuk őket úgy, hogy a

$$\begin{aligned} (GI)_{ui} &\geq \max [G_i(x_i) I_i(x_i)], \\ (EA)_{ui} &\geq \max [E_i(x_i) A_i(x_i)], \\ (EI_t)_{ui} &\geq \max [E_i(x_i) I_{ti}(x_i)], \\ (EI_\eta)_{ui} &\geq \max [E_i(x_i) I_{\eta i}(x_i)], \\ \theta_{ui} &\leq \min [\theta_i(x_i)], \\ (\varrho A)_{ui} &\leq \min [\varrho_i(x_i) A_i(x_i)] \end{aligned} \quad (16u)$$

egyenlőtlenségek teljesüljenek, továbbá, hogy a felső alaprúdszerkezet ugyanazt a  $0 \leq x_i \leq l_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  tartományt foglalja el, mint az eredeti, továbbá legyenek ugyanazok a mellékfeltételeket megvalósító szerkezetek, mint az eredeti rúdszerkezetnél.

Az így kialakított rúdszerkezet mellékfeltételeit leíró egyenletet jelöljük így:

$$\mathbf{K}_u u = 0. \quad (17u)$$

Részletesebb vizsgálattal igazolható, hogy az eredeti és az  $u$  szerkezetre vonatkozó lényeges mellékfeltételek azonosak. Jelöljük az  $u$  rúdszerkezet sajátértékeit  $\alpha_{uv}^2$ -el,  $v = 1, 2, \dots$

Tekintsük a (14) feladatok közül a 2 indexűt az  $u$  rúdszerkezetre vonatkozó feladattal azonosnak, az 1 indexűt pedig az eredeti rúdszerkezettel azonosnak vegyük. (16u), továbbá (4) és az előző bekezdés végén írtak alapján belátható, hogy

$$(\mathbf{B}_u u, u) \leq (\mathbf{B} u, u), \quad (18u)$$

$$\vartheta_{A_u} = \vartheta_A. \quad (19u)$$

Ugyanazzal a módszerrel, amellyel (20l)-et bizonyítottuk, bebizonyítható, hogy

$$(\mathbf{A}_u u, u) \geq (\mathbf{A} u, u). \quad (20u)$$

(18l), (19l), (20l), (18u), (19u), (20u) alapján a (15) összehasonlító tételre hivatkozva fennáll, hogy

$$\alpha_{lv}^2 \leq \alpha_v^2 \leq \alpha_{uv}^2, \quad v = 1, 2, \dots, \quad (21)$$

azaz az  $l$  és  $u$  szerkezet sajátértékei közrefogják az eredeti szerkezet sajátértékeit.

A (21) korlátok általában durvák.

Nem okoz elvi nehézséget az  $\alpha_{lv}^2$ - és az  $\alpha_{uv}^2$ -eket ( $v = 1, 2, \dots$ ) szolgáltató transzcendens frekvenciadeterminánsok előállítását. Példaképpen csupán az  $l$  szerkezettel kapcsolatos determináns felállítását vázoljuk.

A valamelyik  $\alpha_{lv}$  sajátkörfrekvenciával szabadon lengő  $l$  szerkezet  $i$ -edik rúdjának amplitúdóeloszlás vektora ilyen alakú lesz:

$$u_{li} = \begin{bmatrix} \varphi_{li} \\ \xi_{li} \\ \eta_{li} \\ \zeta_{li} \end{bmatrix},$$



ahol a

$$\sqrt{\frac{\Theta_{li}}{(GI)_{li}}} \doteq a_{li}, \quad \sqrt{\frac{(\varrho A)_{li}}{(EA)_{li}}} \doteq b_{li},$$

$$\sqrt[4]{\frac{(\varrho A)_{li}}{(EI_c)_{li}}} \doteq c_{li}, \quad \sqrt[4]{\frac{(\varrho A)_{li}}{(EI_\eta)_{li}}} \doteq d_{li}$$

jelölésekkel:

$$\varphi_{li} = F_{1i} \cos \alpha_{lv} a_{li} x_i + F_{2i} \sin \alpha_{lv} a_{li} x_i,$$

$$\xi_{li} = K_{1i} \cos \alpha_{lv} b_{li} x_i + K_{2i} \sin \alpha_{lv} b_{li} x_i,$$

$$\eta_{li} = H_{1i} \cos \alpha_{lv} c_{li} x_i + H_{2i} \sin \alpha_{lv} c_{li} x_i + H_{3i} \operatorname{ch} \alpha_{lv} c_{li} x_i + H_{4i} \operatorname{sh} \alpha_{lv} c_{li} x_i,$$

$$\zeta_{li} = Z_{1i} \cos \alpha_{lv} d_{li} x_i + Z_{2i} \sin \alpha_{lv} d_{li} x_i + Z_{3i} \operatorname{ch} \alpha_{lv} d_{li} x_i + Z_{4i} \operatorname{sh} \alpha_{lv} d_{li} x_i;$$

a fentiekben szereplő együtthatók egyelőre ismeretlen állandók.

Az  $u_{li}$ -kből felépített

$$u_l = \begin{bmatrix} u_{l1} \\ u_{l2} \\ \vdots \\ u_{ln} \end{bmatrix}$$

vektort betesszük  $u$  helyébe a (171) alatti mellékfeltételi egyenletbe, s azt az  $F_{1i}$ -,  $F_{2i}$ -,  $K_{1i}$ -,  $K_{2i}$ -,  $H_{1i}$ -,  $H_{2i}$ -,  $H_{3i}$ -,  $H_{4i}$ -,  $Z_{1i}$ -,  $Z_{2i}$ -,  $Z_{3i}$ -,  $Z_{4i}$ -kre felírt egyenletrendszernek tekintjük. Az egyenletrendszer homogén, lineáris, s kvadratikus együtthatómátrixában  $\alpha_{lv}$  ismeretlen. Az ismeretlenekre a csupa zérustól különböző megoldást követelve az együtthatókból álló determináns eltűnését kell kívánnunk. Ennek előírt számú  $\alpha_{lv}$  gyökét számítógéppel, pl. léptetési technikával előírt pontossággal meghatározhatjuk.

A szóban forgó rúdszerkezettel kapcsolatos determináns képzésére általános algoritmust dolgozott ki CZEGLÉDI Gyula [5].

A már ismert  $\alpha_{lv}$ -khöz, illetve  $\alpha_{lv}$ -khöz tartozó  $u_{lv}$ -vel, illetve  $u_{lv}$ -vel jelölt sajátvektor az ismeretes módszerekkel numerikusan ugyancsak meghatározható.

A továbbiakban feltesszük, hogy az  $l$  és  $u$  feladat elegendő sok sajátértéke és sajátvektora numerikusan rendelkezésünkre áll.

## 5. A sajátérték korlátok finomítása

A finomításra a WEINSTEIN által bevezetett, és később, de valószínűleg tőle függetlenül MICHLIN és SZVIRSZKIJ által is felfedezett, WEINSTEIN és ARONSAJN, továbbá BAZLEY és FOX által továbbfejlesztett közbenső operá-

toros módszert fogjuk alkalmazni. A módszer kifejlesztésének történetére vonatkozóan kitűnő, tömör összefoglalást ad [6].

Rugalmas szerkezetek mechanikai rezgései sajátkörfrekvenciáinak közrefogására az elméletet — a fellépő nehézségek miatt — eddig egyetlen, mindkét végén szabad, vagy egyik végén befogott, egyfajta (vagy csak torziós, vagy csak longitudinális, vagy csak egy fősíkbeli hajlító) rezgést végző egyenes rúdra, egyszerű peremgörbájű sík lemezre, illetve membránra sikerült alkalmazni.

A jelen dolgozatban vizsgált feladat az imént említettekhez képest annyiban összetettebb, hogy

- 1<sup>o</sup> a jelen feladat több rúdból tetszőlegesen felépített térbeli rúdszerkezettel kapcsolatos,
- 2<sup>o</sup> a mellékfeltételek éppen emiatt jelentősen általánosabbak,
- 3<sup>o</sup> az egyes rudak egyszerre végezhetnek torziós, longitudinális, s mindkét fősíkbeli hajlító lengést,
- 4<sup>o</sup> dolgozatunk a javított felső korlátok számítására is a közbenső operátoros módszert kívánja alkalmazni.

A közbenső operátoros eljárás esetünkre való kiterjesztésének előkészítése céljából definiáljuk a  $C_l$ ,  $M_l$ ,  $C_u$  és  $M_u$  operátorokat az alábbi egyenlőségekkel:

$$\begin{aligned} A &= A_l + (A - A_l) \doteq A_l + C_l, \\ B &= B_l - (B_l - B) \doteq B_l - M_l, \\ A &= A_u - (A_u - A) \doteq A_u - C_u, \\ B &= B_u + (B - B_u) \doteq B_u + M_u. \end{aligned} \tag{22}$$

$A$ ,  $B$ ,  $A_l$ ,  $B_l$ ,  $A_u$  és  $B_u$  szimmetriájából illetve önadjungáltságából következik, hogy a (22)-vel definiált új operátorok is szimmetrikusak, illetve önadjungáltak. (18l), (20l), (18u) és (20u) következtében mind a négy új operátor pozitív.

A bevezetett négy új operátor helyett kisebb operátorokat kell szerkeszteni, pl.  $C_l$ -en illusztrálva olyan  $C_{k_1l}$ -et, hogy  $u \in \vartheta_A$ -ra

$$(C_{k_1l} u, u) \leq (C_l u, u) \tag{23}$$

legyen. A másik három operátorból szerkesztendő csökkentett operátort  $M_{k_2l}$ -,  $C_{k_3u}$ -,  $M_{k_4u}$ -val fogjuk jelölni.

Az így előálló

$$\begin{aligned} (A_l + C_{k_1l})u - \alpha^2 (B_l - M_{k_2l})u &= 0, \\ K_l u &= 0 \end{aligned} \tag{24}$$

és

$$\begin{aligned}
 (\mathbf{A}_u - \mathbf{C}_{k_{3u}})u - \alpha^2(\mathbf{B}_u + \mathbf{M}_{k_{4u}})u &= \mathbf{O}, \\
 \mathbf{K}_u u &= \mathbf{O}
 \end{aligned} \tag{24u}$$

sajátértékfeladatokra illetve a bennük szereplő operátorokra definíciójuk alapján fennáll:

$$\begin{aligned}
 (\mathbf{A}_l u, u) &\leq ((\mathbf{A}_l + \mathbf{C}_{k_{1l}})u, u) \leq (\mathbf{A}u, u), \\
 (\mathbf{B}_l u, u) &\geq ((\mathbf{B}_l - \mathbf{M}_{k_{2l}})u, u) \geq (\mathbf{B}u, u), \\
 u &\in \mathcal{D}_{A_l}; \\
 (\mathbf{A}_u u, u) &\geq ((\mathbf{A}_u - \mathbf{C}_{k_{3u}})u, u) \geq (\mathbf{A}u, u), \\
 (\mathbf{B}_u u, u) &\leq ((\mathbf{B}_u + \mathbf{M}_{k_{4u}})u, u) \leq (\mathbf{B}u, u), \\
 u &\in \mathcal{D}_{A_u}.
 \end{aligned}$$

Így azután (15) szerint az  $\alpha_{k_1 k_{1v}}^2$ - és  $\alpha_{k_2 k_{2v}}^2$ -vel jelölt sajátértékeire érvényes:

$$\alpha_{lv}^2 \leq \alpha_{k_1 k_{1v}}^2 \leq \alpha_v^2 \leq \alpha_{k_2 k_{2v}}^2 \leq \alpha_{uv}^2, \quad v = 1, 2, \dots, \tag{25}$$

azaz az  $l$  és  $u$  szerkezet sajátértékeihez képest szorosabban közrefoghatják a keresett sajátértékeket.

(24l)-et alsó, (24u)-t felső közbenső sajátértékfeladatnak nevezhetjük. Egy-egy rúdszerkezet egyenleteként is értelmezhetjük a feladatokat, s így alsó és felső közbenső rúdszerkezetekről is beszélhetünk. E szerkezetek jellemzőinek részletes megadására a továbbiak szempontjából nincsen szükség.

A (25) egyenlőtlenségek gyakorlati kihasználhatósága végett a  $\mathbf{C}_{k_{1l}}$ ,  $\mathbf{M}_{k_{2l}}$ ,  $\mathbf{C}_{k_{3u}}$ ,  $\mathbf{C}_{k_{4u}}$  operátorokat úgy kell megválasztani, hogy egyrészt a (24l) és (24u) feladatok numerikusan kedvezően megoldhatók legyenek, másrészt pedig mód legyen a (25) szerinti közrefogás finomítására is. A legkedvezőbbnek az utóbbi négy operátor olyan megválasztása tűnik, hogy a (24l) és (24u) feladatok sajátértékei a már amúgy is rendelkezésre álló  $\alpha_{lv}$ - és  $\alpha_{uv}$ -k felhasználásával, de algebrai sajátértékfeladatból adódjanak.

A közbenső operátoros módszer egy változata — a Bazley-féle „special choice” elve [7] — a fenti szempont szerinti megválasztásra elvi lehetőséget ad. Az e pont második bekezdésében említett nehézségek azonban épp ennek az elvnek a megvalósítása során mutatkoznak. Az esetünkre vonatkozó megoldás egy lehetséges változatát e dolgozatnak ugyanebben a folyóiratban megjelenő második része tartalmazza.

## FÜGGELÉK

A gyakorlati felhasználhatóság előmozdítása céljából részletesebben bemutatjuk a lényeges mellékfeltételek megkeresésének módszerét.

Tekintsük egyszerűség kedvéért az egyetlen egyenes rúd szabad szinusos hajlító lengése amplitúdó eloszlására vonatkozó negyedrendű differenciálegyenletével kapcsolatban felmerülő alábbi mellékfeltételi egyenleteket; a keresett amplitúdó eloszlás függvényét jelöljük  $u(x)$ -el, a rúd hosszát  $l$ -el; az  $x = 0$  és  $x = l$  helyeken felvett értéket a megfelelő mennyiség mellé tett 0 illetve  $l$  indexszel jelöljük:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & b_{21} & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & b_{31} & b_{32} & b_{33} & b_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & b_{41} & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0 \\ u'_0 \\ u''_0 \\ u'''_0 \\ u_l \\ u'_l \\ u''_l \\ u'''_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (A1)$$

(A1) együtthatómátrixának rangja legyen 4.

A mellékfeltételeknek „lényegesekre” („geometriaiakra”) és „elhagyhatókra” („dinamikaiakra”) való szétbontása csak páros  $r$  rendszámú differenciálegyenlet(rendszer) esetén lehetséges. Mind a dolgozatban, mind e Függelékben tárgyalt eset ilyen.

Lényegeseknek a legfeljebb  $(r/2 - 1)$ -edik deriváltakat tartalmazó mellékfeltételt nevezik. Esetünkben  $r = 4$ , így  $r/2 - 1 = 1$ .

Egyszerűbb esetben — jelen-példánkat tekintve akkor, ha elegendő sok  $a_{ij}$  és  $b_{ij}$  együttható zérus — további számítás nélkül, közvetlen szemrevételezéssel elkülöníthetők a lényeges mellékfeltételi egyenletek.

Általános esetben a szétbontás így történhetik. Az (A1) egyenletekből a  $A_1, A_2, A_3, A_4$  ismeretlen állandókkal lineáris kombinációval négy másikat állítunk elő, majd az  $A_i$  állandókat úgy igyekszünk megválasztani, hogy az így kapott egyenletrendszerből az 1-nél nagyobb rendszámú deriváltak együttműködői tűnjenek el. A kívánt együtthatók eltűnését kifejező egyenletrendszer:

$$\begin{aligned} A_1 a_{13} + A_2 a_{23} + A_3 a_{33} + A_4 a_{43} &= 0, \\ A_1 a_{14} + A_2 a_{24} + A_3 a_{34} + A_4 a_{44} &= 0, \\ A_1 b_{13} + A_2 b_{23} + A_3 b_{33} + A_4 b_{43} &= 0, \\ A_1 b_{14} + A_2 b_{24} + A_3 b_{34} + A_4 b_{44} &= 0. \end{aligned} \quad (A2)$$

(A2)-nek akkor létezik  $A_i \neq 0$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ , megoldása, ha

$$\begin{bmatrix} a_{13} & a_{23} & a_{33} & a_{43} \\ a_{14} & a_{24} & a_{34} & a_{44} \\ b_{13} & b_{23} & b_{33} & b_{43} \\ b_{14} & b_{24} & b_{34} & b_{44} \end{bmatrix} = 0. \quad (\text{A3})$$

Az  $a_{ij}$  és  $b_{ij}$  együtthatók adottak, lehetséges tehát, hogy (A3) nem elégül ki. Ebben az esetben nincsenek lényegesek a mellékfeltételek között, valamennyi mellékfeltétel ún. elhagyható.

Ha (A3) fennáll — ez nem mond ellent annak a kikötésnek, hogy (A1) együtthatómátrixának rangja 4 — akkor vannak a mellékfeltételek között lényegesek. Az (A3) bal oldalán álló determináns rangjától függ, hogy hány lineárisan független  $A_i$  rendszer létezik, azaz hogy mennyi a (lineárisan független) lényeges mellékfeltételek száma. Esetünkben három lehetőség van: vagy egy, vagy kettő, vagy három ez a szám.

A lineárisan független  $A_i$  számrendszerek mindegyikével előállítunk egy-egy lineáris kombinációt (A1) egyenleteiből. Ezek lesznek a lényeges mellékfeltételi egyenletek. Tegyük fel, hogy számuk  $e$ .

Az „elhagyható” mellékfeltételi egyenletekhez úgy jutunk, hogy az (A1) egyenletekből olyan  $(4 - e)$  számút választunk ki, amelyek a lényeges mellékfeltételi egyenletekkel együtt 4 rangszámú együttható mátrixszal bírnak.

#### IRODALOM

1. BOSZNAY, Á.: Algebraic Eigenvalue Problems Bracketing Eigenfrequencies of Structures Consisting of Rods of Varying Cross Sections. Lecture 13th Congress IUTAM Moscow 1972
2. LOVE, A. E. H.: A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity, 4th Ed. Cambridge University Press, Cambridge 1952
3. PÓLYA, G.: Estimates for Eigenvalues, Studies in Mathematics and Mechanics (presented to R. von MISES), Academic Press, New York 1954, 200—207
4. COLLATZ, L.: The Numerical Treatment of Differential Equations, Third Ed. Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg. 1960
5. CZEGLÉDI, GY.: Näherungsverfahren zur Bestimmung der Eigenkreisfrequenzen von Stabwerken, *Periodica Polytechnica, Electrical Engineering* 18 (1974), 191—202
6. STENGER, W.: Intermediate Problems for Eigenvalues, *International Journal of Quantum Chemistry*, 8 (1974), 623—625. [Prof. STENGER szíves küldeménye.]
7. BAZLEY, N.—FOX, D. W.: Methods for Lower Bounds to Frequencies of Continuous Elastic Systems, *Zeitschrift für angewandte Mathematik und Physik*, 17 (1966), 1—37

**Improvable Bracketing of the Eigenfrequencies of a Space Frame Structure Consisting of Rods with Varying Cross Section. Part I.** The paper consists of three parts; the first one poses the problem according to the title, establishes the corresponding operator eigenwert problems and examines the particularities of the operators involved. Based on the Poincaré-Pólya minimax principle a so-called lower and a so-called upper basic framework are constructed, the eigenfrequencies of which can be calculated with due accuracy by known methods. They bracket the vibration eigenfrequency of the examined framework. Subsequently the operators required for improving the rough approximation by the intermediate operator method are introduced. In the appendix the method for finding the so-called essential secondary conditions are described in detail.

**Verbesserungsfähige Einschließung der Eigenfrequenzen der Schwingungen von räumlichen Fachwerken aus geraden Stäben mit veränderlichem Querschnitt. I. Teil.** Der vorliegende erste Teil der dreiteiligen Arbeit stellt die in der Überschrift genannte Aufgabe, setzt das entsprechende Operatoreigenwert-Problem und untersucht die Eigenheiten der auftretenden Operatoren. Gestützt auf das Poincaré-Pólyasche Minimaxprinzip wird ein sogenanntes unteres und ein sogenanntes oberes Basisstabwerk konstruiert, deren Eigenfrequenzen nach bekannten Methoden entsprechend genau berechnet werden können, und welche die Eigenfrequenzen der Schwingungen des untersuchten Fachwerks einschließen. Dann werden für die zur Verbesserung der so erhaltenen groben Einschließung dienende intermediäre Operatorrechnung benötigten Operatoren eingeführt. Im Anhang wird die Methode zur Aufsuchung der sogenannten wesentlichen Nebenbedingungen eingehend beschrieben.

# KÖNYVISMERTETÉS

Botka Imre — Erney György:

## FOGASKERÉKPÁROK MÉRETEZÉSE

2. FERDE FOGAZAT

Akadémiai Kiadó, Budapest 1974

A szerzőknek a *ferde fogazatot* tárgyaló jelen könyve az *egyenes fogazat* kérdéseit felőlelő könyv után háromnegyed évvel jelent meg. Felépítése hasonlít az 1. kötetéhez, azaz a jelölések összefoglaló mutatója után a táblázati mű felépítéséről van szó, majd a ferdefogú hengereskerékpárok méretezése következik néhány számpéldával. Mindez — a hivatkozott irodalom jegyzékével — 38 oldalnyi terjedelmű. A többi 360 oldal mind táblázat, mégpedig  $10^\circ$ ,  $20^\circ$  és  $30^\circ$  foghajlásszögre vonatkozó főtblázat, a hozzájuk tartozó segédtblázatokkal és fogalak-tényező-táblázatokkal.

Az 1. kötethez hasonlóan ennek a kötetnek a táblázatai is az ún. Ganz — Botka-fogazatot, vagyis a körevolvens fogazatra érvényes hőkiegyenlített általános fogazat adatait tartalmazzák  $20^\circ$ -os alapprofilszögre. A szerzők a táblázatok fogszámösszegeit és fogszámviszonyait az egész számú kapcsolószögekkel együtt olyan sűrűséggel választották meg, hogy közbülső értékek esetében gyakorlatilag felesleges az interpoláció. Csak nagyobb pontosságra törekedve kell két szomszédos, egész számú kapcsolószög között interpolálni.

A táblázatok tartományhatárait a fogtőinterferencia, a profilkapcsolószám (régie elnevezéssel homlok-kapcsolószám) 1-re zsugorodása és az alámetszés szolgáztatja (olykor még a fogkihegyesedés is).

A táblázatok a legkedvezőbb fogasléces megmunkálásra készültek, úgyhogy metszőkeres gyártás a tartományhatárokat az interferencia szempontjából szűkíti.

A hőkiegyenlítés számításakor a szerzők feltételként elfogadták a vonalnyomásnak a kapcsolóvonalmenti Niemann — Richter-féle koszinusos közelítését.

A könyv táblázatai szerint az esetek túlnyomó többségében a hőkiegyenlített fogazat megegyezik az ún. AE-fogazattal, amikor tehát a hőkiegyenlítésnek a kapcsolóhossz  $A$  és  $E$  határpontjaiban nemcsak a Blok-féle hőmérsékletsúcsok, hanem a kéttényező  $Almen$ -szorzatok (a Hertz-feszültség és a csúszósebesség szorzatai) és a relatív csúszások is kiegyenlítették (az ún. hármaskiegyenlítés esete áll fenn). A könyv azonban megmutatja azokat az eseteket is, amikor az AE kapcsolóhossz CE szakaszán ( $C$  a főpont jele) az  $E$  ponthoz viszonyítva egy beljebb fekvő  $P$  pontban lép fel a hőmérsékletsúcs (ez az ún. AP-fogazat), amikor is a hőkiegyenlített fogazat eltér az AE-fogazattól.

A táblázatok feltételezik, hogy a kapcsolódás során a súrlódási tényező állandó, mint ahogyan ezt egyelőre a világ szakirodalma is elfogadja egyszerűsítésként.

E feltételekkel a főtblázatok megadják a fogszámösszegekre, a fogszámviszonyokra, a kapcsolószögekre és a foghajlásszögekre a fejmagasságoknak az ún. a közös fogmagasságra vonatkoztatott elosztószámait, a kiskerék profiletolástényezőit, az egységnyi modulusra vonatkoztatott közös fogmagasságokat és a teljes fogmagasságokat, végül a profiletolástényezőösszegeit.

A segédtblázatok tartalmazzák a profilkapcsolószámokat; a vonalnyomás ún. főponti tényezőit, arra az esetre, amikor az átfedés (régiebbi elnevezés szerint axiális kapcsolószám) egész szám; az  $A$  ponti Hertz-feszültség tényezőit; a kapcsolóhossz  $M$  felezőpontjához tartozó Hertz-feszültség tényezőit; és a kiskeréknek az egységnyi modulusra vonatkozó fejszalagvastagságát.

A fogalak-tényező-táblázatokból a szakirodalomban található többféle fogalak-tényező (Niemann-féle és az ISO-féle) értékei olvashatók ki.

A könyvnek külön értéke „A ferdefogú hengereskerékpárok méretezése” c. fejezet, amely a magyar nyelvű szakirodalom ez idő szerinti legkorszerűbb ily tárgyú összefoglalása.

A könyv szerzői mindketten a Ganz-MÁVAG Mozdony-, Vagon- és Gépgyár (ill. Ganzgyári jogelődje) gépészmérnökei voltak. Mindketten a gyár mindennapi konkrét feladatai (számítási, tervezési és gyártási problémákra adandó válaszok) közben építették ki mindazt,

amit azután tudományos módszerrel általánosíthatnak, és adhattak most közre minden fogaskerekekkel foglalkozó szakember számára.

BOTKA Imre legfőbb érdeme a Ganz—Botka-fogazat megalkotása és az általános fogazat előnyeinek bizonyítása a ferdefogú hengerespárookra is. ERNEY György viszont a fogazattartományokat vizsgálta meg teljes szabattossággal. A hazai fogaskerék-szakirodalom nagy szerencséje, hogy a szerzőpár megírta e két kötetet; hogy a Ganz-MÁVAG-gyár elektronikus számítógépén e táblázatok elkészülhettek; és hogy az Akadémiai Kiadó a Gépszerkezettani Akadémiai Bizottság ajánlására e két könyvet ízléses alakban, bámulatosan gyors átfutási idővel kiadta.

Sajnos, BOTKA Imre nem érthette meg e 2. kötet megjelenését. 1974. július 1-én hosszú betegség után Budapesten elhunyt. Illő ez alkalommal e könyvismertetést e kiváló magyar gépészmérnök életrajzának rövid összefoglalásával kiegészíteni.

BOTKA Imre 1906. október 1-én Bácsföldváron született. 1931-ben szerzett a Budapesti Műszaki Egyetem jogelődjén *kitűnő* minősítésű gépészmérnöki oklevelet. 1932—58 között a Ganz Vagon- és Gépgyárnak volt a mérnöke, ahol tanácsosi, főtanácsosi, osztályvezetői, majd főkonstruktóri beosztásokban dolgozott. Általában hajtóművek tervezésével foglalkozott. Tudományos vizsgálatait a felszabadulás után kezdte meg. Célja a fogaskerékpárok méretezésének egyszerűsítése, és a növekvő teljesítményeknek is megfelelő hajtóművek tervezése volt. 1949-ben az általános evolvensfogazatra olyan megoldást dolgozott ki, amely sokkal egyszerűbb volt az előzőeknél. Ehhez egész sereg problémát kellett megoldania. Így dolgozta ki saját fogazatrendszerét, amely később *Ganz—Botka-féle fogazatrendszer* néven került be a hazai és a nemzetközi szakirodalomba, és kapott itthon és a külföldön szabadalmi védelmet.

Három irodalmi műve emelhető ki, amely alkotásait a legjobban összefoglalja. Ezek a következők:

1. Interference of General Involute Gearing [*Acta Techn. Hung.* 3 (1951), p. 99/120];  
2. Egységes magyar homlokkerék fogazási rendszer. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest 1953;

3. Fogaskerékméretezés kiegyenlített kontakthőmérsékletre [*Gép* 16 (1964), p. 425/430].  
Munkásságának eredményeként lényegében két elismerésre méltó eredmény született:  
a) Az általános evolvensfogazat interferenciája;  
b) A Ganz—Botka-féle fogazatrendszer megalkotása.

Az *interferencia* metszőkerékes gyártásra ismert volt. A régebbi felfogás szerint azonban fésűskéses megmunkálás esetében interferencia nem lép fel. BOTKA Imre érdeme volt, hogy kimutatta, mely szerszámelőállításoknál fésűskéses gyártáskor is adódhatik interferencia; kimutatta továbbá azt is, hogy e jelenség köszörüléskor is bekövetkezhetik, ha a köszörűkő profilszöge eltér a gyártott kerekek alapprofilcsögétől. Az erről írt angol nyelvű tanulmányát a nemzetközi szakirodalom elismeri és idézi.

A Ganz—Botka-féle fogazatrendszer kidolgozásának időpontjában a nemzetközi szakirodalomhoz viszonyítva új, korszerű és könnyen áttekinthető volt. Egyik érdeme a — már említett — *hármaskiegyenlítés* bizonyítása volt, amellyel megelőzött külföldi szerzőket (pl. *Bergsträssert*). Nagy előnye volt továbbá, hogy összekapcsolta a kinematikai, geometriai és a szilárdsági számítását.

BOTKA Imre alapító tagja volt a Gépipari Tudományos Egyesületnek, hosszú időn át tagja (egy időszakon át titkára) volt a Gépszerkezettani Akadémiai Bizottságnak (ill. jogelődjének a Fogaskerék Szakbizottságnak). Tagja volt az MTA Emlékbizottságának.

BOTKA Imre a nagy teljesítményű hengeres és evolvensfogazatú fogaskerékpárok elméleti továbbfejlesztésében és gyakorlati megvalósításában hazánkban és nemzetközileg is (pl. *Niemann* professzor is hivatkozik rá nevezetes könyvében) kiemelkedőt és maradandót alkotott. Így neve méltán sorolható azok közé a magyar fogaskerék szakemberek közé, akik — mint VIDÉKY Emil és SZENICZEI Lajos — a század első évtizedétől kezdve folyamatosan megoldották a gépipar által napirendre tűzött feladatokat, és tudományos kutatómunkájukkal hozzájárultak e fontos gépelem elméleti kérdéseinek tisztázásához.

Dr. Terplán Zénó



*A. Hofmann:*

DAS ELEKTROMAGNETISCHE FELD

THEORIE UND GRUNDLEGENDE ANWENDUNGEN

Springer-Verlag, Wien, New York 1974, 518 oldal, 284 ábra

„Az elektrodinamika minden villamosmérnök és a fizikusok nagy része szakképzésének alapját képezi” írja a szerző könyve előszavában. Ezzel azt hiszem mindenki egyetérthet. Ez magyarázza azt a tényét, hogy a klasszikus elektrodinamika születésének századik évfordulóján újra és újra érdeklődésre számottartó könyvek jelennek meg a klasszikus elektromágneses térről. Ennek oka legtöbbször az, hogy a szerzők egy-egy meghatározott oktatási rendszerbe — jól definiált előtanulmányok után —, tehát meghatározott matematikai szinten adott célkitűzéssel — építik be mondanivalójukat. Egy másik újdonság abban állhat, hogy a klasszikus elektrodinamika még nem teljesen tisztázott, így ma is élő problémáit részletesebben vagy új megvilágításban találják, ill. oldják meg. Ismét lehetséges többlet a számítógépek adta lehetőséggel élve az új kvantitatív megoldási módszerek hangsúlyozása. Esetleg a klasszikus tér-elmélet és a modern kvantumtérelmélet kapcsolataira való utalás — minthogy ennek is vannak gyakorlati vonatkozásai. Újat tehát szint és struktúra, vagyis lényegében pedagógiai vonatkozásban, de tartalmi téren is lehet nyújtani.

A jelen könyv mindkét téren nyújt újat. Felépítése egyszerű és áttekinthető. 4 részből áll: 1. Az elektrosztatikus tér; 2. A stacionárius áramlási tér; 3. A stacionárius mágneses tér; 4. A nemstacionárius elektromágneses tér. Ez a leegyszerűsített beosztás előnyei mellett buktatókat is rejt. A stacionárius áramlási tér elemi hálózatelméletet jelent érdemileg. Terjedelme 84 oldal (a galvánelem maga 3 oldalt foglal el). Ugyanakkor a 4. részben az elektromágneses hullámokkal foglalkozó rész mindössze 39 oldal. Az energia és erőhatások tárgyalásának érdekessége és újszerűsége is jobban érvényesült volna egyetlen külön részben, mint így elszórva.

Mint szakmai újdonságot meg kell említenünk — mint ahogy a szerző is aláhúzza —, a mágneses anyagok befolyásának tárgyalását az elektromágneses térre. A szerző itt mind a mágneses momentum, mind a molekuláris áramkör modell alapján tárgyalja a jelenségeket. Az erő és nyomaték viszonyok kifejtése mintaszerű. Kár, hogy a gyorsan változó terekben nem szerepel már ez a témakör, holott igen szépen lehetett volna ebbe a keretbe illeszteni az elektromágneses tér impulzusmomentumát is. A matematikai eszközök felhasználásának szempontjából, de elvi szempontból is ezek a részek a könyv általános szintje fölött vannak és így az egész könyv némileg heterogén jelleget kap. Célszerű lenne nyomdatechnikailag — petit szedéssel, vagy csillag megjelöléssel — egy új kiadásban a folyó szövegtől elkülöníteni.

Mindent összevéve, a könyv világos érvelésével, áttekinthető elrendezésével, sok, átgondolt ábrájával és gyakorlati példájával alkalmas arra, hogy olvasója az elektromágneses tér alaptörvényeivel megismerkedjék, egyes részeiben pedig a ma problémáival is találkozzék.

*Dr. Szendy Károly*

*Kenneth L. Johnson:*

OPERATIONS RESEARCH

VDI-Taschenbücher, T 27, VDI-Verlag, Düsseldorf 1973, 196 o.

Az *operációkutatás* néven elterjedt és kifejlődött tudományos irányzat vizsgálódásának tárgya a meghatározott céllal szervezett és irányított, integrált (ember-gép) rendszerek struktúrája és jellegzetes viselkedése, vagyis a konkrét szituációban megkívánt eredmény eléréséhez szükséges (tervezett vagy várható) és egymástól kölcsönösen függő ténykedéseknek (aktusoknak) összessége. Éppen ez utóbbit, vagyis az ember-gép rendszernek egy meghatározott és ismétlődhető feladat elvégzésére irányuló cselekvésmódját nevezik itt *operációnak*. Az operációkutatás célja a döntéshozatal segítése, tudatosabbá tétele, a szervezett rendszer operációinak többnyire szimbolikus *modellben* való elemzése, optimum-meghatározása, vagy (számítógépes) szimulációja útján. Azonban az „operációkutatás”, mint kulcsszó, nemcsak az ilyen irányú cselekvést fémjelzi, hanem ezt a címet használják a *döntési, irányítási* problémák megoldását szolgáló sajátos matematikai modellek, módszerek, diszciplínák (a lineáris és a nem-lineáris programozás; az egészértékű programozás; a sorrend-programozás; a játék-

elmélet; a dinamikus programozás és a folyamatirányítási elmélet; a gráfelmélet és a hálózati áramlások elmélete; a szervezési hálózatok, hálós irányítási rendszerek elemzése; a sztochasztikus folyamatok elmélete; a tömegkiszolgálási elmélet; a készletgazdálkodás; valamint — mindezekre kiterjedően — heurisztikus módszerek és rendszerszimulációk, stb.) gyűjtőneveként is.

Bár az „operációkutatás” kifejezés már az egész világon elterjedt, egyik nyelvben sem szerencsés. Ugyanis az operációt (ill. a döntéseket és az irányítási stratégiákat) a ma megszokott szóhasználat szerint itt nem annyira kutatják, mint inkább — a döntési, irányítási helyzetnek elemzésen alapuló ismertetésére és a beavatkozások következményeinek *előrelátására* támaszkodva — *tervezik*. Ezért e fogalom megjelölésére magában az angol nyelvű irodalomban is több szinonimát használnak. A nyugatnémet szakirodalom (és az operációkutatási társaság) a korábbi „Unternehmensforschung” elnevezés helyett néhány éve az amerikai kifejezést használja. Innen a VDI kötet angol címe.

K. L. JOHNSON könyve az iparvállalati vezetők számára tartott szemináriumi előadásainak anyagából született meg.

Az 1. fejezetben bevezetésként az operációkutatás és a rendszerelmélet kapcsolatára, helyesebben az operációkutatás rendszermegközelítésére utal. Jól érzékelteti ez a fejezet, hogy itt nem a matematikának egy új ágáról, hanem egy — részben az automatizált adatfeldolgozással, ill. a számításgépesítéssel együtt fejlődő — műszaki, ill. műszaki-gazdasági szakterületről van szó.

A 2. fejezet szemléltethető két-változós feladatok segítségével ismerteti a *lineáris optimalítás* (más néven *lineáris programozás*) problémáját, majd röviden figyelmeztet az olyan további lehetőségekre, mint az egészértékű, a paraméteres, a sztochasztikus, valamint a nemlineáris optimalítás, és rámutat a lineáris programozás saját korlátaira. Ezután tömören jellemzi a nevezetes feladattípusokat, így az elosztási, a kiszabási, a szállítási, a körjárat-tervezési és a kijelölési problémát.

A 3. fejezet a *dinamikus optimalítás* kérdésével foglalkozik. Itt az előbbi lineáris (és egyéb matematikai) optimalítás kiegészül az idővel. Ez nélkülözhetetlen az olyan helyzetekben, amelyekben az egyes időszakaszokra vonatkozó döntések hatással vannak a következő időszakaszok döntéseire. Lényeges fogalmak itt a tervezési időhorizont, az állapottér, amely magába foglalja a rendszer lehetséges állapotait az egyes időszakaszokban, az egyes rendszerállapotok valószínűsége és az optimális politika. A Markov-lánc alkalmazására is láthatunk egy egyszerű példát.

A 4. fejezet a *hálótechnika* leglényegesebb elemeit és szempontjait ismerteti.

Az 5. fejezet témája a *digitális szimuláció* és ezen belül a véletlen számok előállítása. Az elemzésnek, kísérletezésnek ezt az eszközt egy egyszerű tömegkiszolgálási példán, egy kis javító részleg kapacitásának elemzésén keresztül mutatja be.

A 6. fejezet bepillantást enged a *játékelméletbe*, amelynek gyakorlatilag kezelhető modelljében azonban valóságos operációkutatási problémát egyelőre csak ritkábban sikerül megfogalmazni.

A 7. fejezet viszonylag részletesebben és nagyon korszerűen foglalkozik az *időfüggvényekkel*. Nagyon hasznos, sőt gyakran nélkülözhetetlen ismeretek ezek az operációkutatásban, főleg a szimulációban és a prognosztikában, de mint diszciplína a statisztikához tartozik, ezért így kiemelten nem is szokták az operációkutatás tananyagába foglalni.

A 8. fejezet megismerteti a *készletgazdálkodás*, vagyis a készletnagyság, az utánrendelési időpontok és a rendelési mennyiségek összefüggő problémájával.

A 9. fejezet bemutatja a *sorrendtervezés* egyszerűbb, könnyen kezelhető feladattípusait, majd a 10. fejezetben a jól sikerült összeállítás a *várakozási sorok* elméletének (más néven a tömegkiszolgálási elméletnek) és egy így kezelhető kis problémának a bemutatásával zárul.

Dicséret illeti a mérnökök nyugatnémet egyesülésének a kiadóját, hogy a szakmai körökben kedvelt könyvsorozatában e kötetével felhívta a mérnökök figyelmét az operációkutatás lehetőségeire.

Dr. Jándy Géza

*Dr. Kubinszky Mihály:*

UNGARISCHE LOKOMOTIVEN UND TRIEBWAGEN

Akadémiai Kiadó, Budapest – Birkhäuser – Basel – Stuttgart 1975. 343 oldal

A vasúttörténet G. Stephenson ismeri el a vasútépítés úttörőjének, az első üzemképes gőzmozdony feltalálójának. A találmány időpontja: 1814, és az első gőzmozdony ma is látható az angliai Newcastle upon Tyne város múzeumában.

Az elmúlt másfél évszázad történetében a magyar gőzmozdonygyártás a maga közel száz esztendejével 1959-ig időben is, színvonalban is, mennyiségben is kivette részét. Nemcsak hazai szükségletre, hanem exportra is termelt. De ugyanúgy élen járt a magyar motorvonat és Diesel-mozdony gyártás is (1903-tól), valamint a magyar vasútvillamosítás és villanymozdony gyártás is (1897-től).

Jól határozott tehát a Magyar Tudományos Akadémia Technikatörténeti Bizottsága, amikor évekkel ezelőtt elhatározta, hogy meg kell örökíteni a magyar mozdony- és motorvonat gyártásának fejlődését, történetét.

A könyv négy fejezetből áll:

I. A magyar vasutak történeti fejlődése és földrajzi helyzete (szerző: KUBINSZKY Mihály);

II. A gőzmozdonyokról (szerző: VARJU Béla);

III. Motorvonatok és Diesel-mozdonyok (szerző: KOPASZ Károly);

IV. Villamos mozdonyok (szerző: néhai MANNDOERFF Béla).

E fejezetek előszó és függelék egészíti ki. A függelékben a magyar mozdonygyártás kiemelkedő személyiségeinek felsorolása és rövid életrajza, a könyvben előforduló helységek többnyelvű felsorolása; a MÁV mozdonyszámozási rendszere; a mozdonytípusok áttekinthető táblázata; a mozdony-gyártó cégek, vállalatok felsorolása; szakirodalom és fénykép-források találhatóak.

A Kubinszky Mihály által jól szerkesztett könyv könnyen áttekinthető, tömör fogalmazású, élvezetes olvasmány.

Jól szerkesztett, mert a vasúttársaságok kialakulásakor ezek sorrendjében, később a szinte egyetlen hazai állami vasúttársaság, a MÁV-on belül írja le a gyártás sorrendjében az egyes mozdonyfajtákat, a leglényegesebb műszaki adataikkal, a gyártó vállalatok megnevezésével, kitérve kiemelhető sajtóságaira, a változások okaira, esetleges külföldi mintákra.

Az áttekinthetést a már említett előnyös szerkesztés mellett a részletes tartalomjegyzék és a függelékbeli táblázatok szolgálják.

A tömör fogalmazás azt jelenti, hogy nem megy túl a szükséges mondanivalón. Az érdekesebb részleteket apróbetűs lábjegyzetekben foglalja össze.

Élvezetes olvasmány, hiszen a magyar vasút hőskorának néhány mozdonytípusától eltekintve, olyan mozdonyokat láthatunk képekben, rajzokban, amelyek vagy még ma is láthatók a MÁV fő- és mellékvonalain, vagy néhány évtizeddel ezelőtt voltak vasúti utazásaink főszereplői.

Kandó Kálmán első világsikere az olasz Valtellina-vasútvonal villamosítása és az első villanymozdonyok tervezés-gyártása volt. Erről az 1897–1904 közötti időszakról a könyv alig emlékezik meg, pedig ez a vasútvillamosítás teljesen magyar szellemi és ipari termék volt, és ez a vasútvillamosítás alapozta meg a mai Ganz Villamossági Gyárat. Egyben felveti Cserhádi Jenőnek, Kandó Kálmán munkatársának, a Ganz-gyár villamossági részlege akkori igazgatójának kiemelkedő szerepét, amelyről a hazai technikatörténeti irodalom eddig alig emlékezett meg.

Cserhádi (Hechtl) Jenő (1855–1910) a zürichi ETH-n szerezte gépészmérnöki oklevelét 1876-ban. Először az osztrák StEG, majd a magyar államvasutak mérnöke. 1890-től Baross Gábor kereskedelemügyi miniszter meghívására vasúti és hajózási biztos, majd főfelügyelő. 1893-tól a Fegyver- és Gépgyár igazgatója, 1895-től Mechwart András meghívására a Ganz és Társa Vagon- és Gépgyárnak 10 éven át igazgatója, az elektroyárrészleg vezetője. A Kandó-féle első villamos mozdonyok gyártását ő szervezte. Az ő vezetése alatt épült a mai Ganz Villamossági Gyár 1896-ban. 1905 és 1910 között a Budapesti Műszaki Egyetem jogelődjén professzor, a Gépelemek Tanszékének vezetője. Több tanulmányt írt a lokomotívok vezérlőműveiről, a vonatsebességmérőkről, az elektromos és a gőzvonatás gazdaságossági összehasonlításáról, ő írta meg a valtellini vasútvillamosítás és az első magyar gyártású villamos mozdonygyártás részleteit magyarul és világnyelveken.

Meg lehetett volna továbbá említeni azoknak a volt vasúti gépészmérnököknek a nevét (Herrmann Miksától Szabó Gusztávon át Csanádi Györgyig, csak néhányat emelve ki), akik

későbbi egyetemi tanári pályafutásuk alatt is sokat tettek a hazai mozdonytervezés és -gyártás fejlesztéséért, a hazai gőz-, gáz- és villamos vontatás nemzetközi színvonaláért.

E kiegészítő megjegyzések nem csökkentik ennek az izléses nyomással készült, kiemelkedően szép és fényképekkel és szerkezeti rajzokkal ellátott tartalmas műszaki történeti könyvnek értékét, élvezetes olvasását és tanulmányozását.

*Dr. Terlán Zénó*

### *Makhult Mihály:*

#### GÉPÁGYAZÁSOK REZGÉSTANI MÉRLETEZÉSE

Akadémiai Kiadó, Budapest 1974, 126 oldal, 98 ábra, 21 táblázat, 10 nomogram

A könyv elsősorban gépészmérnökök részére készült, hogy általános áttekintést adjon a gépek ágyazási problémáinak a megoldására, és segítséget nyújtson főleg olyan gépágyazások megtervezéséhez, amelyek rugalmas alátétekkel, lehetőleg alaptömbök elkerülésével kerülnek kivitelre. Az ilyen alátámasztások megtervezése főleg gépészeti feladat, amelynek elméleti alapismeretei általában szerepelnek a gépészmérnöki oktatásban, anélkül azonban, hogy a feladatok gyakorlati megoldásához rendszerezett módszereket nyújtana. Az ilyen feladatok megoldásakor a tervező építőmérnökkel való szoros kapcsolat is igen kívánatos annak a megítélésére, hogy — eltekintve a kisebb gépek ágyazási problémáitól — egy adott feladat megoldásánál elégséges-e a tisztán gépészmérnöki szempontok figyelembevétele. A helyes gépágyazások feltételeinek az ismerete már a gépek megtervezésekor is hozzásegítheti a gépészmérnököt a jobb és gazdaságosabb megoldások kialakításához.

Célkitűzésének megfelelően a szerző a gyakorlati céloknak jól megfelelő egyszerű számításokat illetve végképleteket ismertet szemléltető módon anélkül, hogy — amint előszavában kiemeli — az olvasót bonyolult levezetésekkel és differenciálegyenletekkel terhelné. Így jól áttekinthető, kiválóan rendszerezett módon kapja kézhez az olvasó azokat a rezgés technikai alapismereteket, amelyek a kitűzött gyakorlati feladatok megoldását lehetővé teszik. Különös súllyal tárgyalja a szerző a rugalmas alátámasztás rugóelemeinek, az acél- és gumirugóknak a tervezéshez szükséges adatait és számos olyan adatot, amelyek a helyes tervezéshez — az építőmérnökök részére is — elengedhetetlenül szükségesek.

Amint erre a szerző is rámutat, a gépek rugalmas alátámasztása alaptömbök nélkül elsősorban nagy fordulatszámú merev gépek eseteire ajánlatos, amelyeknél a gerjesztőerők nagysága kicsi.

A kitűzött cél elérésére a könyv a következő főfejezeteket tartalmazza: I. A gépágyazásokra vonatkozó általános ismeretek. II. Rezgéstani alapismeretek. III. Segédszámítások. IV. Gépágyazások tervezése. V. Nomogramok.

Az utolsó fejezetben szereplő Dr. VARGA rendszere szerint kidolgozott színes nomogramok igen alkalmasak arra is, hogy egyes alternatív megoldásokat a gazdaságosság figyelembevételével egybevevhessünk.

Az alaposan és gondosan megírt munka először a KGM Műszaki Tájékoztató és Propaganda Intézet kiadásában 1962-ben jelent meg. Javított és bővített német nyelvű változata az Akadémiai Kiadó gondozásában 1970-ben került kiadásra és elnyerte az Akadémiai Kiadó dívját. Ez az újabb kiadás a rugalmasan alátámasztott tömeg önrezgéseinek a számítására vonatkozó és az előző kiadáshoz képest még részletesebben kidolgozott tervezési segédlettel is kiegészült.

A szerző — számos értékes számpéldával kiegészített — kitűnő könyve a gépek ágyazásával és az említett típusú gépek alapozásával foglalkozó szakemberek részére igen értékes segítséget nyújt, és így melegen ajánlható.

*Dr. Major Sándor*

*Reményi Károly:*

THE THEORY OF GRINDABILITY AND THE COMMINATION  
OF BINARY MIXTURES

Akadémiai Kiadó, Budapest 1974, 144 oldal, 75 ábra

Az őrlhetőség fogalma magától értetődőnek tűnik, mégsem sikerült azt mindig egyértelműen definiálni, még kevésbé vizsgálatára általánosan elfogadható módszert kidolgozni. De még ha el is fogadunk bizonyos többé-kevésbé elterjedt eljárásokkal megállapított őrlhetőségi jelzőszámokat, ezek is csak homogén anyagokra jellemzők.

Anyagkeverékek őrlése esetében — és az ipari gyakorlatban jórészt ilyenekkel találkozunk — az anyagok egymásra kölcsönhatást gyakorolnak, hol segítik, hol nehezítik az őrlést, sokszor a keverési arány függvényében átcsapva a segítségből a nehezítésbe.

A szerző ennek a témának viszonylag szűk és ellentmondásos irodalmát dolgozta fel, bőven kiegészítve saját kísérleti eredményeivel és azok mélyenszántó elemzésével.

Modellkísérleteit két jól definiált és az őrleményben vízben való oldással elkülöníthető anyaggal, kőszóval és mészkővel végezte.

Magára a munkára hazai különböző eredetű szenekkel ellátott erőműveink szénporőrlési problémái adták az indítékot, és a munka az egyszerűbb esetekből kiindulva módszeresen közelíti meg célkitűzését.

A monográfia főbb fejezeteinek tárgya a) az őrlemények szemcseméret-eloszlására vonatkozó elterjedten használt képletek elemzése; b) e képletek alkalmazhatósága őrleménykeverékekre; c) az őrlés energiaigénye; d) az őrlhetőség megállapítására szolgáló különféle készülékek és módszerek sehol másutt nem található teljességű kritikai leírása; e) a kőso-mészkő keverékek őrlési kísérletei és azok értékelése; f) a szénkeverékek őrlési kísérletei és azok értékelése.

A kísérletek értékelése során többek között megállapítja, hogy az egyes összetevők szemcseméret-eloszlása a keverékben is követi az ismert törvényszerűségeket, amiből következőleg a keverékre a törvényszerűség elveszti érvényességét. Megállapítja továbbá, hogy az egyes szemcseméret-osztályokban a keverési arány más és más, erre matematikai elemzést ad és szélsőértéket közöl. Végül igazolja, hogy a komponensekre eső őrlési energia megoszlása a folyamat során változik.

Minden, az őrléssel foglalkozó szakember haszonnal forgathatja a könyvet és még a témában tájékozott is fog benne új gondolatokat és megállapításokat találni.

*Dr. Beke Béla*

*Dr. Sitkei György:*

HEAT TRANSFER AND THERMAL LOADING IN INTERNAL COMBUSTION

Akadémiai Kiadó, Budapest 1974, 267 oldal, 231 ábra

Szerző műve jelentősen gazdagítja a belsőégésű dugattyús motorok szakirodalmát. A dugattyús motorokkal foglalkozó szakemberek régóta várták olyan tudományos igényeket is kielégítő könyv megjelenését, amely a dugattyús motorokban lejátszódó hőátadási és az ezzel kapcsolatos hőterhelési folyamatokat az alapismeretektől kezdve a legújabb kutatási eredményekig szigorú rendszerességgel tárgyalja.

A mű első két fejezete a belsőégésű motorokban bekövetkező hőátadás, hővezetés és sugárzás elméleti és fizikai alapjait ismerteti. A szerző különös figyelmet fordít az égési folyamat alatti sugárzási problémák szabatos és pontos tárgyalására, mivel az eddigi ilyen irányú kutatásokban a sugárzási folyamatokat nem elemezték eléggé mélyrehatóan. A következő fejezetek a dugattyú, a henger-persely, a hengerfej, szelepek hőállapota és hőterhelése meghatározásának lehetőségeit tárgyalják. A szerző a téma átfogó tárgyalása mellett saját kutatási eredményeit is ismerteti. Különösen értékesek a hőátadás és sugárzás, valamint a legfontosabb alkatrészek (dugattyú, hengerperselyek, előkamra, ill. égéstér) hőmérsékleteloszlása területén, elsősorban a Csepel dieselmotorok vonatkozásában kimunkált elméleti és kísérleti eredmények.

Az utolsó fejezet a belsőégésű motorokban a hőtermelés hatására keletkező hőfeszültség problémáival foglalkozik. Mivel az időben változó hőfeszültség az anyag kifáradását okozza, a szerző röviden összefoglalja a dugattyús motorok alkatrészeivel kapcsolatos kifáradási ismereteket.

reinket, különös tekintettel a kifáradás szempontjából még nem teljesen tisztázott alumínium-ötvözetekre, amelyek a belsőégésű motorok egyre fontosabb szerkezeti anyagai. A hőfeszültségek számítására a szerző kétféle módszert ismertet: a speciális esetekre jól használható, immár klasszikusnak számító, differenciál-egyenlet megoldásán alapuló eljárást és a tetszőleges esetek, aszimmetrikus formák számítására is alkalmas korszerű eljárást, a véges elemek módszerét. Ez utóbbi az elektronikus számítógépek elterjedésének időszakában különös jelentőségű, és lényegében egyetlen módszer az általános esetek tetszőleges pontosságú számítására. Külön érdeme a szerzőnek, hogy az általános érdeklődésre számot tartó véges elemek módszerét olyan mélységig ismerteti, hogy a számítás annak alapján ténylegesen végre is hajtható.

A befejező részben az olvasó a feszültség-analízis kísérleti módszereinek elemeivel ismerkedhetik meg. A függelékben a belsőégésű motorok szerkezeti anyagainak legfontosabb anyagjellemzői, valamint az ismertetett számítások egyes elemeinek gyors elvégzéséhez szükséges függvénytáblázatok találhatók. A művet gazdag, a mű megjelenésének időpontja szempontjából legújabb irodalmi adatokat is tartalmazó irodalomjegyzék egészíti ki.

*Dr. Pásztor Endre*

*Dr. Széchy Károly*

### THE ART OF TUNNELLING

Második — átdolgozott és bővített — angol kiadás. Akadémiai Kiadó. Budapest 1973, 1097 oldal, 740 ábra, számos táblázat

Az alagútépítés korunkban a közlekedés, tárolás, parkolás, földalatti üzemek telepítése, stb. által támasztott igények miatt új lendületet kapott. Különösen jelentős a városi tömegközlekedés korszerű kielégítéséhez szükséges földalatti vasutak építése. Az alagútépítés rendkívül széles körű, komplex feladat, a tervezés, a kivitelezés és az üzemeltetés, ill. fenntartás igen sokrétű, alapos ismeretet kíván meg a szakemberektől, sőt még az építetötől is. Ennek ellenére kevés az olyan, a teljes áttekintés igényével írott könyv, mint dr. SZÉCHY Károlyé, a Budapesti Műszaki Egyetem 1972-ben váratlanul elhunyt tudós professzoráé. Már az 1961-ben megjelent első magyar kiadás is széles körű érdeklődést váltott ki, ezt 1966-ban az első angol kiadás követte (1967-ben és 1970-ben ennek változatlan utányomása is volt), majd 1969-ben németül, 1970-ben franciául, 1972-ben japánul adták ki a rendkívül sikeresnek bizonyult művet. A siker titka az volt, hogy SZÉCHY professzor úgyszólván minden újabb kiadást felülvizsgált, átdolgozott, eredetileg is gazdag anyagát szakadatlanul korszerűsítette és bővítette. Így ez az angol kiadás az eddigi legteljesebb változat, amelyben a korábbi kiadások — egyébként általában igen kedvező — kritikáinak eredményei is tükröződnek.

A 28 oldal terjedelmű 1. fejezetben bevezető után az alagútépítés célja, az alagutak csoportosítása található, amelyet rövid történeti visszapillantás követ és a világ nagy alagútjainak főbb adatait összefoglaló táblázat zár le.

A 2. fejezet az előtanulmányoké, ide értve az alagútépítés gazdaságosságának elemzését, a geológiai és kőzetani felderítést, az alagút legkedvezőbb helyének, hossz- és keresztmetszelvevényének kiválasztását is. A 95 oldal terjedelmű fejezetben számos elkészült alagút adatai szolgálnak példákkal.

A 3. fejezet 161 oldalon az alagutakra, földalatti szerkezetekre ható terhelésekkel foglalkozik. Ezt a fejezetet szokatlanul részletes feszültség-analízis vezeti be, majd egyrészt a hagyományos, ez után az újabb megfigyeléseken alapuló hegy-, illetve kőzetnyomási elméletek következnek, kiegészülve a víznyomás, az oldalnyomás, a talpnyomás és a mozgó terhek kérdéseivel. Különös érdeklődésre tarthat számot néhány európai nagyváros földalatti vasútjának terhelési szabályzata. A fejezetből kitűnik, hogy SZÉCHY professzor nagy jelentőséget tulajdonított a helyszíni méréseknek, hangsúlyozva, hogy a valóságos körülmények változottságát aligha lehet kellően megbízható elmélettel leírni. Ezért található a fejezetben oly sok mérési módszer és műszer a kőzetnyomás meghatározására.

A 4. fejezetben 261 oldal tartalmazza az alagutak tervezésének főbb elemeit: a falazat szükséges és elégséges méreteinek meghatározását, a hagyományos patkó alak, a kör és a négyyszög metszetekre egyaránt. Itt érezhető, hogy a szerző a bőség zavarával küzdött, a kevésbé használatos, kevésbé célszerű módszerek kiszűrésével határozottabban irányíthatta volna az olvasó gondolatait, a rendkívül részletes matematikai tárgyalás helyett pedig talán jobb lett volna az eredményeket tükröző nomogramok közlése. Ebben a fejezetben kerül ismertetésre az alagutak víztelenítése és vízszigetelése, a korrózió elleni védelem, az alagutak szellőztetése, világítása, zajvédelme, valamint kapuzatainak és melléklétesítményeinek néhány részletkérdése.

Az 5. fejezet 43 oldalon ismerteti az alagutakkal kapcsolatos kitűzési, felmérési és geodéziai irányító tevékenységet, általában a „hagyományos” műszerezettségét véve alapul, de röviden kitér a lézer-irányítás alapelveire is.

A 6. fejezet a könyv legterjedelmesebb része, 386 oldalon az alagutak építését ismerteti. Szándékosan szűkre fogottan a hagyományos, ún. bányászati módszereket, hogy annál részletesebben lehessen egyrészt az állékony sziklában, megtámasztás nélkül végzett építés leírása, a fűtecsavározás ismertetése, majd aprólékos gonddal a vízdús, laza kőzetekben, talajokban való építés legfőbb módszere: a pajszos építés következik. Ugyanekkor elegendő helyet biztosít a felszínről indított építésnek, a résfalak alkalmazásának, a különböző injektálásoknak, talajszilárdításnak és az úsztatott szekrényekkel való építésnek. E fejezetben található meg a viszonylag kisebb méretű csövek, közműalagutak átsajtolásának leírása is. Jelentős terjedelemben foglalkozik a földalatti vasutak állomásainak építészeti kialakításával és az építést beindító függőleges és ferde aknákkal is. A fejezetet egészségvédelmi és biztonsági előírások ismertetése zárja.

A 7. fejezet 95 oldalon ismerteti az alagutak üzemeltetésével, fenntartásával és felújításával kapcsolatos kérdéseket.

Az egyes fejezetek végén — majd az egész kötet végén külön is — szokatlanul bőséges irodalomjegyzék szolgálja a további részletkérdések iránt érdeklődők tájékozódását, a könyvben való eligazodást pedig név- és címszójegyzék könnyíti meg.

Ez a kitűnő könyv kétségtelenül eléri a már az első magyar kiadásban is kitűzött célt: korszerű áttekintést ad az alagútépítés mai állásáról, hasznos kézikönyve az egyetemi hallgatónak, a tervezőnek, építőnek és beruházónak egyaránt. Külön elismerést érdemel az Akadémiai Kiadó mintaszerűen szép munkája is.

*Dr. Varga László*

*Dr. Varga László—Dr. Kaliszky Sándor :*

#### GRÜNDUNGEN TURMARTIGER BAUWERKE

Gemeinschaftsausgabe des Akadémiai Kiadó Budapest und Bauverlag GmbH. Wiesbaden und Berlin 1974, 253 oldal

A könyv a tornyok centrális alapjainak szerkezeti kialakításával és azok statikai méretezésével foglalkozik. A toronyszerű híradástechnikai épületek gazdag irodalma az alapozási kérdéseket csak mellékesen tárgyalja és főleg építési és funkcionális kérdésekkel foglalkozik. Ezért volt indokolt és aktuális a tornyok alapozásával foglalkozó monográfia kiadása.

A gyorsan változó nagy széltehernek kitett tornyok alapjainak bonyolult igénybevételei csak a szokásosnál bonyolultabb talajmechanikai számításokkal és a terhek pontosabb analízisével határozhatók meg. E vizsgálatokat a szerzők világosan és jól érthető módon tárgyalják.

A könyv főleg ismert irodalmi anyagot foglal össze, célja nem új tudományos eredmények vagy kutatási beszámolók ismertetése, hanem a toronyalapok tervezési problémáinak a gyakorlatát igényeihez szabott segédkönyv alakjában való tárgyalása. Számos grafikon és táblázat közlésével leegyszerűsíti a tervezést, és így elsősorban a tervezési gyakorlat igényeit szolgálja. Nem tartalmaz az alaptudományi monográfiákra jellemző mélyebb elméleti megalapozást; a szakirodalomból átvett képletek legnagyobb részét levezetés nélkül közli, de azok fizikai tartalmát mindig értelmezi. A gyakorlati méretezésre vonatkozó rész viszont minden részletkérdésre kitér és részletesen közli a méretezéshez szükséges adatokat. Ezért a könyv használata nem igényel különleges statikai vagy talajmechanikai előismereteket, és a toronyalapok méretezésére más művek használata nélkül alkalmas.

A szerzők a szakirodalomban szétszórt terjedelmes anyagot szerencsésen foglalták össze, kiemelve és leegyszerűsítve a tervezés számára szükséges ismereteket és ezzel egy kitűnő tervezési segédkönyvet alkottak. A terhekkel és az alapok talajmechanikai méretezésével Dr. VARGA által írt fejezetek, míg az alaptestek szilárdsági méretezésével Dr. KALISZKY fejezete foglalkozik. A méretezési eljárások figyelembe veszik a statika újabb eredményeit is a kockázatra való méretezés és a képlékeny alakváltozások figyelembevételével való méretezés alkalmazásával.

Külön ki kell emelni a szélteherrel foglalkozó rész alaposságát és részletességét, amely a szélteherrel foglalkozó nemzetközi szabályzatok magyarázatát és indoklását képezi. Ezzel kapcsolatban a statikai méretezés mellett foglalkozik a tornyok dinamikai méretezésével is.

A toronyalapok méretezésénél használt terhelési és talajmechanikai adatok értéke bizonytalan, és ezért a méretezés csak durva közelítés lehet. Ezt a tényt a könyv nyomtatékosan

kiemeli, hangsúlyozva, hogy nagy pontosságú számítás az alapadatok bizonytalansága miatt illuzorikus. A számítás elkerülhetetlen pontatlanságát a könyv úgy csökkenti, hogy a tárgyalt kérdésekről több szerző véleményét és empirikus adatait közli, és így módot nyújt az olvasónak arra, hogy alternatív megoldások közül válasszon.

Az alaptettek méretezésével foglalkozó utolsó fejezet a szimmetrikusan és antimetrikusan terhelt kör és körgyűrűalapok, valamint a kúpalapok rugalmas és képlékeny méretezésével foglalkozik.

A könyv egyes fejezeteit bőséges irodalomjegyzék egészíti ki.

A fordítás nyelve szakszerű és szabatos. MAROSSZÉKI Miklós, a fordító ezúttal is jó munkát végzett.

Összefoglalva, a könyv kiváló munka, amely a toronyalapozások sokrétű problémakörének jól érthető és világos tárgyalásával, elsősorban a tervezési gyakorlat számára nyújt értékes segítséget.

*Dr. Szmodius Kázmér*

*Dr. Vörös Imre;*

### GÉPRAJZ

8. átdolgozott kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest 1974. 506 oldal, 742 ábra, 26 táblázat és 55 melléklet

Vörös professzor 1940-ben vette át a budapesti műegyetem II. Gépszerkeztetani Tanszékének vezetését. A négy gépszerkeztetani tanszék közül a II. számú a Gépelemek c. tantárgyat oktatta, amelyhez éppen Vörös professzor kinevezésekor a Géprajz c. tantárgyat is hozzá csatolták. Nem telt el 2–3 év, és már a hallgatók rendelkezésére állt Vörös professzor „Géprajz” c. egyetemi jegyzete. Ez egyben azt is jelentette, hogy a magyar nyelvű szakirodalomban a Magyar Szabványügyi Iroda által 1941-ben kis példányszámban kiadott LECHNER Egon: Géprajz rövid foglalata c. könyve mellett végre a műszaki felsőoktatás is rendelkezett színvonalas tanulási segédlettel. Vörös professzor e saját kiadású jegyzeteit évről évre átdolgozta a géprajzi szabványváltozásoknak megfelelően, és gazdag anyagát, tapasztalatait érlelte 1954-ben tankönyvvé, amikor a „Géprajz” c. egyetemi tankönyv első kiadása megjelent.

Éppen 20 év telt el az első és a nyolcadik kiadás között. E példamutatóan sok kiadás közül az ötödik a megelőző kiadások változatlan utányomása után lényeges átdolgozással jelent meg. Erről a kiadásról az *MTA Műszaki Tudományok Osztálya Közleményeinek* 32 (1963) kötetében (a 473-ik oldalon) részletes ismertetés olvasható, amely természetesen érvényes a hatodik és hetedik változatlan kiadásokra is.

Mi tette az újabb (sorrendben tehát második) átdolgozást szükségessé? A géprajzi konvenciók érdekes módon gyorsan módosulnak, változnak. Magának az ISO-nak az ajánlásai révén is sok új megállapodás jött létre. Ugyanakkor az elmúlt évtizedben a KGST ajánlásokra is sor került. Mindez — a szocialista iparosodás elősegítésére — a magyar szabványok átdolgozását is maga után vonta. Természetes szükségesség tehát, hogy az új gépészmérnökök számára készülő tankönyv tartalmazza ezeket a változásokat.

Az átdolgozás kiterjedt először is a szorosan vett géprajzi ábrázolási módok változására, amelynek következménye volt szinte az összes ábrák kisebb-nagyobb módosítása. Lényegesen változtak a felületi érdekességgel, az érdekességi jelekkel, a megmunkálási előírásokkal foglalkozó részek. Új menetprofilokat kellett ismertetni, megváltozott a bordástengelyek jelképes ábrázolása is. A könyv kitér a méretmegadások használható egyszerűsített jelölési módokra. Megváltozott a szögtűrések, az alak- és helyzetűrések jelölési módja is. De lényegesen módosultak a kurrensebb szerkezeti anyagok jelölései, és szükségessé vált a ma már nélkülözhetetlen műanyagok ismertetése is. Habár a függelékbeli mellékletek száma csak eggyel több ebben a kiadásban mint az előzőkben, de az új szabványok miatt teljesen új táblázatokat kellett összeállítani. Így tehát lényegében az átdolgozás gyakorlatilag egy új könyv megírásával egyenértékű.

Megváltozott a könyv szerkezeti felépítése is, amennyiben a régebbi kettő helyett hat részre tagozódik:

- I. Alaki és mértani ábrázolási szabályok;
- II. A szerkezeti anyagtól és gyártási technológiától függő géprajzi szabályok;
- III. Kötő gépelemek és jelképes ábrázolások;
- IV. Felületi érdekesség és tűrések;
- V. Összefoglaló rajzoló szabályok;
- VI. Függelék.



Mindezt kiegészíti a szerző Előszava és a Bevezetés, továbbá a függelékbeli melléletek, a könyvben idézett szabványok jegyzéke és (végre először!) a tárgymutató.

A könyv a még megszokottabb műszaki mértékrendszert alkalmazza, de a Bevezetés végén átszámítási kulcsot ad a jövő egységes világ-mértékrendszerére, az SI-re.

„A géprajz közvetítő nyelv a tervező mérnök és a műszaki tervezetet megvalósító dolgozók között” — írja Vörös professzor e könyv első kiadásának előszavában. E sajtósági nyelv közvetítő célja semmit sem változott az elmúlt évtizedekben. Ez a nyolcadik kiadás is ennek a közvetítő nyelvnek az elsajátításához nyújt segítséget a leendő gépészmérnököknek, de — gyakorlati jellege miatt — egyben az olvasók sokkal tágabb körének is.

Ma, amikor az információk szerzése, tárolása, átadása annyira napi szükséggé vált, a géprajznak, mint a gépészettel kapcsolatos egyik legfontosabb információ-képzési módnak a fontossága még jelentősebbé vált. Ennek elsajátításához kiváló tankönyvet nyújt át az olvasónak Dr. Vörös Imre Kossuth-díjas professzor, a műszaki tudományok doktora.

*Dr. Terplán Zénó*

## HELYESBÍTÉS

A Műszaki Tudomány 50. 1975. számában a 101—120. oldalon Lévai Andrásról megjelent cikk címe a nyomtatásban tévesen „*A műszaki tudományok osztálya szerepe és jelentősége a Magyar Tudományos Akadémia életében*” szöveggel szerepel. A helyes cím: „*A műszaki tudományok szerepe és jelentősége a Magyar Tudományos Akadémia életében*”.

Ugyanezen cikk 105. oldalán az első bekezdés ötödik sora: „...*A Műgyetem 1871-ben kapta meg a doktorrá avatás jogát és ekkor emelkedett egyetemi rangra...*” helyesbítendő: „*A Műgyetem 1871-ben emelkedett egyetemi rangra, amidőn élére választott rektor került és 5 szakosztállyal (Karral) kezdte működését, 1901-ben kapta meg a mérnök-doktorrá avatás jogát...*”

*A Szerkesztőség*

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója

Műszaki szerkesztő: Agócs András

A kézirat nyomdába érkezett: 1975. IX. 19. — Terjedelem: 17,5 (A/5) ív

---

76.2329 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György

## TARTALOMJEGYZÉK

Benedikt Ottó	1897 – 1975 .....	277
Dékány Sándor	1904 – 1974 .....	281
Kator Lajos	1932 – 1974 .....	283

### BESZÁMOLÓ

A Műszaki Tudományok Osztályának 1974. évi tevékenységéről .....	285
--	-----

### TANULMÁNYOK

<i>Lévai András</i> : A magenergia hasznosítás néhány időszerű kérdése .....	303
<i>Petrasovits Géza</i> : Vert cölöpök süllyedésének elméleti vizsgálata .....	329
<i>Ter-Stepanian, G.</i> : Az anyag kúszása nyíróigénybevétel hatására .....	339
<i>Csonka Pál</i> : Csillaghéjak tervezése totális teherre .....	365
<i>Singer Dénes</i> és munkatársai: Hatékony számítógépes eljárás gázhálózat optimális üzemi meghatározására .....	381
<i>Kalló Péter</i> : Algoritmus a triplet automatikus tervezéséhez .....	397
<i>Reményi Károly – Vörös László</i> : Szénportüzelés fluidizációs módszerrel .....	415
<i>Jándy Géza</i> és munkatársai: Számítástechnika a településtudományban .....	423
<i>Király Béla</i> : Egymással érintkező felületpárokon megvalósuló kényszerrendszerek kinematikai vizsgálata .....	429
<i>Bosznay Ádám</i> : Változó keresztmetszetű, egyenes rudakból álló térbeli rúdszerkezet rezgési sajátfrekvenciáinak javítható közrefogása I. ....	443

### KÖNYVISMERTETÉS

<i>Botka I.</i>	– <i>Erney Gy.</i> : Fogaskerékpárok méretezése (Ferde fogazat) (Terplán Z.) ....	461
<i>Hofmann, A.</i> : Das elektromagnetische Feld. Theorie und grundlegende Anwendungen (Szendy K.) .....	463	
<i>Johnson, Kenneth L.</i> : Operations Research (Jándy G.) .....	463	
<i>Kubinszky, M.</i> : Ungarische Lokomotiven und Triebwagen (Terplán Z.) .....	465	
<i>Makhuli M.</i> : Gépágyazások rezgéstani méretezése (Major S.) .....	466	
<i>Reményi, K.</i> : The Theory of Grindability and the Comminution of Binary Mixtures (Beke B.) .....	467	
<i>Sitkei Gy.</i> : Hőátadás és hőterhelés belsőégésű motorokban (Pásztor E.) .....	467	
<i>Széchy, K.</i>	The Art of Tunnelling (Varga L.) .....	468
<i>Varga, L. – Kaliszky, S.</i> : Gründungen turmartiger Bauwerke (Szmodits K.) .....	469	
<i>Vörös I.</i> : Géprajz (Terplán Z.) .....	470	

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>Benedikt Ottó</b>	1897–1975 .....	277
<b>Dékány, S.</b>	(1904–1974) .....	281
<b>Kator, L.</b>	(1932–1974) .....	283

### BERICHT

Die Tätigkeit der Abteilung der Technischen Wissenschaften im Jahre 1974 .....	285
--	-----

### ABHANDLUNGEN

<i>Lévai, A.</i> : Einige zweckmäßige Fragen der Nutzung der Kernenergie .....	303
<i>Petrasovits, G.</i> : Theoretische Untersuchung der Setzung von Ramppfählen .....	329
<i>Ter-Stepanian, G.</i> : Über das Kriechen des Tons unter Schubbeanspruchung .....	339
<i>Csonka, P.</i> : Berechnung von Sternschalen für Totalbelastung .....	365
<i>Singer, D.</i> et. al.: Eine leistungsfähige Methode zur Bestimmung der optimalen Arbeitsverhältnisse von Gasnetzen .....	381
<i>Kalló, P.</i> : Ein Algorithmus für den automatischen Entwurf von Triplets .....	397
<i>Reményi, K.</i> — <i>Vörös, L.</i> : Kohlenstaubfeuerung nach dem Wirbelschicht-Verfahren .....	415
<i>Jándy, G.</i> et. al.; Rechentchnik in der Siedlungswissenschaft .....	423
<i>Király, B.</i> : Kinematische Untersuchung der an den sich berührenden Flächenpaaren verwirklichten Zwangssysteme .....	429
<i>Bosznay, Á.</i> : Verbesserungsfähige Einschließung der Eigenfrequenz der Schwingungen von räumlichen Fachwerken aus geraden Stäben mit veränderlichem Querschnitt I. Teil .....	443

### BUCHBESPRECHUNG

<b>Botka, I.</b>	— <i>Erney, Gy.</i> : Fogaskerékpárok méretezése (Ferde fogazat) (Terplán, Z.) ...	461
<i>Hofmann, A.</i> : Das elektromagnetische Feld. Theorie und grundlegende Anwendungen (Szendy, K.) .....	463	
<i>Johnson, Kenneth, L.</i> : Operations Research (Jándy, G.) .....	463	
<i>Kubinszky, M.</i> : Ungarische Lokomotiven und Triebwagen (Terplán, Z.) .....	465	
<i>Makhult, M.</i> : Gépjárművek rezgéstani méretezése (Major, S.) .....	466	
<i>Reményi, K.</i> : The Theory of Grindability and the Comminution of Binary Mixtures (Beke, B.) .....	467	
<i>Sitkei, Gy.</i> : Hőátadás és hőterhelés belsőégésű motorokban (Pásztor E.) .....	467	
<b>Széchy, K.</b>	The Art of Tunnelling (Varga, L.) .....	468
<i>Varga, L.</i> — <i>Kalishky, S.</i> : Gründungen turmartiger Bauwerke (Szmodits, K.) .....	469	
<i>Vörös, I.</i> : Géprajz (Terplán, Z.) .....	470	

## CONTENT

<b>Benedikt Ottó</b>	1897–1975 .....	277
<b>Dékány, S.</b>	1904–1974 .....	281
<b>Kator, L.</b>	1932–1974 .....	283

### REPORT

The Work of the Department of Technical Sciences in 1974 .....	285
--	-----

### PAPERS

<i>Lévai A.</i> : Some Actual Problems of Nuclear Energy Utilization .....	303
<i>Petrasovits, G.</i> : Settlement Analysis of Driven Piles .....	329
<i>Ter-Stepanian, G.</i> : Creep of Clay at Shear .....	339
<i>Csonka, P.</i> : Design of Star-Shells Subjected to Full Loads .....	365
<i>Singer, D. et al.</i> : An Efficient Computer Method for Optimal Working Conditions of Gas Networks .....	381
<i>Kalló, P.</i> : Algorithm for Automatic Triplet Design .....	397
<i>Reményi, K.—Vörös, L.</i> : Pulverized Coal Firing with Fluidization .....	415
<i>Jándy, G. et. al.</i> : Computer Techniques in Settlement Science .....	423
<i>Király, B.</i> : Examination of Constraint Systems Realized on Pairs of Surfaces in Contact .....	429
<i>Bosznay, A.</i> : Improvable Bracketing of the Eigenfrequency of a Space Frame Structure Consisting of Rods with Varying Cross Section .....	443

### BOOK REVIEW

<b>Botka, I.</b> — <i>Erney, Gy.</i> : Fogaskerékpárok méretezése (Ferde fogazat (Terplán, Z.) .....	461
<i>Hofmann, A.</i> : Das elektromagnetische Feld. Theorie und grundlegende Anwendungen (Szendy, K.) .....	463
<i>Johnson, Kenneth, L.</i> : Operations Research (Jándy, G.) .....	463
<i>Kubinszky, M.</i> : Ungarische Lokomotiven und Triebwagen (Terplán, Z.) .....	465
<i>Makhult, M.</i> : Gépágyazások rezgéstani méretezése (Major, S.) .....	466
<i>Reményi, K.</i> : The Theory of Grindability and the Comminution of Binary Mixtures (Beke, B.) .....	467
<i>Sütkei, Gy.</i> : Hőátadás és hőterhelés belsőégésű motorokban (Pásztor, E.) .....	467
<b>Széchy, K.</b> The Art of Tunnelling (Varga, L.) .....	468
<i>Varga, L.—Kaliszky, S.</i> : Gründungen turmartiger Bauwerke (Szmodits, K.) .....	469
<i>Vörös, I.</i> : Géprajz (Terplán, Z.) .....	470

## СОДЕРЖАНИЕ

Отто БЕНЕДИКТ	1897—1975	277
Шандор ДЕКАНЬ	1904—1974	281
Лайош КАТОР	1932—1974	283

### ОТЧЕТНЫЙ ДОКЛАД

О работе Отделения технических наук Академии наук Венгрии за 1974 г.	285
--	-----

### РАБОТЫ

<i>Андраш Леваи</i> : Некоторые актуальные вопросы использования ядерной энергии	303
<i>Геца Петрашович</i> : Теоретическое исследование погружения забитых свай	329
<i>Г. Тер-Степанян</i> : Крип материала под воздействием введения азота	339
<i>Пал Чонка</i> : Проектирование звездных оболочек для тотальных нагрузок	365
<i>Денеш Зингер</i> : Эффективный метод определения с помощью вычислительной машины оптимальных условий эксплуатации газовой сети	371
<i>Петер Калло</i> : Алгоритм для автоматического проектирования триплета	397
<i>Карой Ремени, Ласло Вереш</i> : Пылеугольная топка флюидизационным методом	415
<i>Геца Янди и сотр.</i> : Вычислительная техника в наука о поселении	423
<i>Бела Кирай</i> : Кинематический анализа принудительных систем, осуществляющихся на соприкасающихся друг с другом парах поверхностей	429
<i>Адам Боснаи</i> : Улучшаемый охват собственных частот колебаний пространственных стержневых конструкций, состоящих из прямых стержней переменного сечения, I	443

### ОБЗОР КНИГ

<i>И. Ботка</i>	<i>Д. Эрнеи</i> : Расчет зубатых пар (косозубое зацепление) (З. Терплан)	461
<i>А. Гоффман</i>	Электромагнитное поле. Теория с основные области применения (К. Сенди)	463
<i>Л. Джонсон Кенет</i>	Операционные исследования (Г. Янди)	463
<i>М. Кубински</i>	Венгерские локомотивы и моторные вагоны (З. Терплан)	465
<i>М. Макхульт</i>	Расчет по теории колебаний машинных фундаментов (Ш. Майор)	466
<i>К. Ремени</i>	The Theory of Grindability and the Comminution of Binary Mixtures (Б. Беке)	467
<i>Д. Ситкеи</i>	Теплопередача и тепловая нагрузка двигателей внутреннего сгорания (Е. Пастор)	467
<i>К. Сечи</i>	The Art of Tunnelling (Л. Варга)	468
<i>Л. Варга, Ш. Калиски</i>	Изготовление фундамента башнеобразных сооружений (К. Смодич)	469
<i>И. Вереш</i>	Техническое черчение в машиностроении (З. Терплан)	470

# PROBLEMS OF CONTROL AND INFORMATION THEORY

## ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ

### EDITORS

B. N. PETROV (Moscow)  
F. CSAKI (Budapest)

### DEPUTY EDITORS

V. S. PUGACHEV (Moscow)  
V. I. SIFOROV (Moscow)  
S. CSIBI (Budapest)

### COORDINATING EDITORS

S. V. EMELIANOV (Moscow)  
L. KALMÁR (Szeged)

M. A. GAVRILOV (Moscow)  
I. CSISZÁR (Budapest)

A. M. LETOV (Moscow)

A. PRÉKOPA (Budapest)

L. VARGA (Budapest)

E. D. TERYAEV (Moscow)  
J. KOCSIS (Budapest)

### РЕДАКТОРЫ ЖУРНАЛА

Б. Н. ПЕТРОВ (Москва)  
Ф. ЧАКИ (Будапешт)

### ЗАМЕСТИТЕЛИ РЕДАКТОРОВ

В. С. ПУГАЧЕВ (Москва)  
В. И. СИФОРОВ (Москва)  
Ш. ЧИБИ (Будапешт)

### ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

С. В. ЕМЕЛЬЯНОВ (Москва)  
Л. КАЛМАР (Сегед)

М. А. ГАВРИЛОВ (Москва)  
И. ЧИСАР (Будапешт)

A. M. LETOV (Москва)

A. ПРЕКОПА (Будапешт)

Л. ВАРГА (Будапешт)

Е. Д. ТЕРЯЕВ (Москва)  
Я. КОЧИШ (Будапешт)



AKADÉMIAI KIADÓ

PUBLISHING HOUSE OF THE HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES  
BUDAPEST

